

# Manutenção de Aeronaves em Célula

## Avançado II

**SEST SENAT**

Serviço Social do Transporte  
Serviço Nacional de  
Aprendizagem do Transporte

2016

## **Diretoria Executiva Nacional**

Coordenação de Projetos Especiais

## **Educação Presencial**

Manutenção de Aeronaves em Célula,  
em Grupo Moto-propulsor  
e em Aviônicos

## **Livro Técnico**

**Janeiro /2016**

## **Responsáveis técnicos**

Célio Prata da Silva

Claudio Haro Pinto

Jailton de Oliveira Ferreira

Jair Feliciano do Nascimento

Marcelo Cabral Nunes de Lima

Marcelo Giuliano Fernandes

Marcos Roberto Ribeiro

Commons.wikimidia: A *Wikimedia Foundation* não detém a posse de quase nenhum dos conteúdos existentes nos sites Wikimedia. No entanto, quase todo o conteúdo disponibilizado pelos projetos Wikimedia pode ser utilizado livremente sem ser necessária autorização individual, sob os termos da licença atribuída pelos autores ao conteúdo que disponibilizam nesses projetos: 1) *Creative Commons Attribution license* (CC-BY) - reutilizadores são livres para fazer trabalhos derivados, deverá ser dado crédito ao(s) autor(es); 2) *Creative Commons Attribution license* (CC-SA) - reutilizadores são livres para fazer trabalhos derivados, deverão ser mencionados os termos da licença; 3) *Creative Commons Attribution license* (CC-BY-SA) - reutilizadores são livres para fazer trabalhos derivados, deverá ser dado crédito ao(s) autor(es) e deverão ser mencionados os termos da licença.

Agência Brasil: Todo o conteúdo deste site está publicado sob a Licença *Creative Commons*.

FAB: A Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, prevê que os vídeos e fotos produzidos pela FAB e disponibilizados possam ser usados por todos por não se tratar de material comercial. Contudo, deve-se dar o devido crédito ao autor e ao proprietário do material.

As imagens não creditadas individualmente foram elaboradas exclusivamente para este livro e são de propriedade do SEST SENAT.

Todos os esforços foram feitos para creditar devidamente os detentores dos direitos das imagens utilizadas neste livro. Eventuais omissões de crédito e *copyright* não são intencionais e serão devidamente solucionadas nas próximas edições, bastando que seus proprietários contatem os editores.

Manutenção de Aeronaves em Célula - Avançado II / SEST SENAT.

-- Brasília: 2016. 624p. : il. ; 20,5 X 27,5 cm.

1. Revestimento de aeronaves
2. Sistema de água potável toaletes e galley
3. Sistemas de comunicação e de navegação
4. Sistemas de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo
5. Sistemas elétricos
6. Sistemas hidráulicos e de trens de pouso
7. Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio
8. Soldagem

Copyright © 2016 por SEST SENAT.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita do SEST SENAT.

# Apresentação

O SEST SENAT atua nas formações inicial, continuada e técnica de trabalhadores do transporte, de suas famílias e da comunidade, por meio de 149 unidades operacionais, distribuídas em todo o país. O programa educacional do SEST SENAT visa ao aperfeiçoamento e à atualização que permitem ao profissional lidar com as constantes mudanças e inovações do mundo do trabalho.

Os cursos são acompanhados de materiais didáticos, elaborados em formatos pedagógicos arrojados e inovadores, com metodologias criativas e linguagem adequada a cada público. Assim, possibilitam o desenvolvimento de competências profissionais que viabilizam a inserção no mercado de trabalho.

Para contribuir com as novas demandas que têm surgido no modo aéreo, o SEST SENAT se empenhou em desenvolver um conjunto de livros técnicos, atualizados e inovadores, tanto no que diz respeito ao setor quanto ao mercado educacional, a fim de oferecer um material de referência aos alunos do Curso Técnico de Mecânico de Manutenção de Aeronaves, ofertado em várias unidades do SEST SENAT.

Esses livros técnicos compreendem desde o que é exigido pela legislação vigente até temas atualizados. Ressalta-se que isso atende à demanda das empresas por profissionais altamente qualificados e adequados às novas tecnologias presentes no transporte aéreo no Brasil e no mundo.

As ilustrações e imagens são também um diferencial dos livros. Além da qualidade técnica, mostram diversas opções de aeronaves, peças, motores e situações para que o aluno do Curso Técnico de Mecânico de Manutenção de Aeronaves possa sentir-se apoiado em seus estudos teóricos e práticos.

Esperamos, dessa forma, que esses livros sejam instrumento motivador para uma aprendizagem de qualidade e que possam continuar sendo para você uma fonte de consulta no futuro, quando se tornar mecânico de manutenção de aeronaves.

**NICOLE GOULART**

Diretora Executiva Nacional do SEST SENAT



# Sumário

## Unidade 1

### Revestimento de aeronaves

<b>Capítulo 1 - Revestimento metálico .....</b>	<b>19</b>
1.1 Matéria-prima .....	19
1.2 Ligas metálicas .....	20
1.3 Inspeção de revestimento metálico.....	28
1.4 Reparo de revestimento metálico .....	32
<b>Capítulo 2 - Revestimento de material composto .....</b>	<b>35</b>
2.1 O material composto na aviação .....	35
2.2 Fibras de vidro, de aramida e de carbono.....	36
2.3 Inspeção em revestimentos de material composto.....	40
2.4 Reparo em revestimentos de material composto .....	41
<b>Capítulo 3 - Revestimentos de tecidos.....</b>	<b>43</b>
3.1 Tecidos para uso em revestimentos aeronáuticos .....	43
3.2 Miscelânea de materiais têxteis .....	45
3.3 Aplicação do revestimento de tecido.....	46
3.4 Inspeção de revestimento de tecido.....	49
3.5 Reparo de revestimento de tecido .....	49

## Unidade 2

### Sistema de água potável, toaletes e *galleys*

<b>Capítulo 1 - Sistema de água potável.....</b>	<b>53</b>
1.1 Descrição .....	53
1.2 Funcionamento.....	55
<b>Capítulo 2 - Toaletes .....</b>	<b>61</b>
2.1 Descrição .....	61
2.2 Funcionamento.....	63
<b>Capítulo 3 - <i>Galleys</i> .....</b>	<b>67</b>
3.1 Descrição .....	67
3.2 Funcionamento.....	70

# Unidade 3

## Sistemas de comunicação e navegação

<b>Capítulo 1 - Princípios básicos do rádio .....</b>	<b>77</b>
1.1 Equipamento de recepção e transmissão .....	77
1.2 Princípios de funcionamento .....	78
1.3 Faixas de frequência.....	79
<b>Capítulo 2 - Componentes básicos dos equipamentos rádios.....</b>	<b>81</b>
<b>Capítulo 3 - Sistemas de comunicação .....</b>	<b>87</b>
<b>Capítulo 4 - Equipamentos de navegação de bordo.....</b>	<b>91</b>
4.1 Sistema de navegação VOR/VHF.....	91
4.2 Sistema de pouso por instrumentos .....	92
4.3 Feixes balizadores .....	93
4.4 Equipamento de detecção de distância .....	93
4.5 Detector automático de direção .....	94
4.6 Sistema de controle de tráfego aéreo .....	94
4.7 Sistema de navegação <i>Doppler</i> .....	95
4.8 Sistema de navegação inercial .....	95
4.9 Sistema de radar meteorológico .....	96
4.10 Sistema radioaltímetro.....	96
4.11 Sistema de navegação por satélite .....	97
<b>Capítulo 5 - Transmissor localizador de emergência .....</b>	<b>99</b>
5.1 Operação do transmissor localizador .....	99
5.2 Localização da aeronave.....	100
5.3 Inspeção do ELT .....	100
<b>Capítulo 6 - Instalação de equipamentos de comunicação e de navegação .....</b>	<b>103</b>
6.1 Características da instalação.....	103
6.2 Arrefecimento e umidade .....	104
6.3 Isolamento da vibração.....	105
6.4 Redução da radiointerferência .....	105
6.5 Descarregadores de estática.....	106
6.6 Instalação de antenas na aeronave.....	107
6.7 Linhas de transmissão.....	108
<b>Capítulo 7 - Manutenção do equipamento rádio .....</b>	<b>111</b>
7.1 Rotina de manutenção .....	111
7.2 Procedimentos de manutenção .....	112

# Unidade 4

## Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

<b>Capítulo 1 - Sistema de proteção contra gelo .....</b>	<b>115</b>
1.1 Introdução .....	115
1.2 Efeitos da formação do gelo.....	117
1.3 Prevenção da formação do gelo.....	118
1.4 Degelo da aeronave no solo .....	118
<b>Capítulo 2 - Sistemas pneumáticos de degelo e antigelo.....</b>	<b>121</b>
2.1 Conceito e operação dos sistemas .....	121
2.2 Degeladores infláveis ( <i>boots</i> ) .....	123
2.3 Componentes do sistema de degelo .....	123
2.4 Manutenção do sistema pneumático de degelo .....	127
<b>Capítulo 3 - Sistemas térmicos antigelo .....</b>	<b>131</b>
3.1 Características dos sistemas térmicos de antigelo .....	131
3.2 Antigelo usando aquecedores a combustão .....	131
3.3 Antigelo usando aquecedores a gás de exaustão.....	132
3.4 Antigelo usando ar de sangria do motor .....	132
3.5 Antigelo por meio de resistência elétrica .....	134
<b>Capítulo 4 - Sistemas de controle do gelo do para-brisas .....</b>	<b>137</b>
4.1 Sistema de descongelamento de para-brisas .....	137
4.2 Funcionamento.....	137
4.3 Manutenção .....	138
4.4 Sistema de descongelamento das janelas .....	138
4.5 Sistemas de degelo a álcool nos para-brisas e no carburador.....	138
<b>Capítulo 5 - Sistemas de eliminação dos efeitos da chuva .....</b>	<b>141</b>
5.1 Sistemas elétricos limpadores de para-brisas.....	141
5.2 Sistemas hidráulicos de limpadores de para-brisas.....	142
5.3 Sistema pneumático de remoção de chuva.....	142
5.4 Repelente de chuva do para-brisas .....	142
5.5 Manutenção dos sistemas de eliminação dos efeitos da chuva .....	143
<b>Capítulo 6 - Sistemas de proteção contra fogo .....</b>	<b>145</b>
6.1 Características dos sistemas de proteção contra fogo .....	145
6.2 Métodos de detecção do fogo .....	146
6.3 Sistemas de detecção de fogo e de fumaça.....	147
6.4 Características dos agentes extintores.....	152
<b>Capítulo 7 - Sistemas de extinção de fogo .....</b>	<b>155</b>
7.1 Sistemas extintores de fogo, de CO <sub>2</sub> , dos motores convencionais.....	155
7.2 Sistema de proteção de fogo de turbojato .....	156

7.3 Sistema de extinção de fogo de motores a turbina.....	156
7.4 Proteção de fogo no solo dos motores a turbina.....	158
7.5 Práticas de manutenção dos sistemas de detecção de fogo .....	158
7.6 Pesquisa de panes do sistema de detecção de fogo .....	160
7.7 Práticas de manutenção do sistema extintor de fogo .....	160
7.8 Proteção e prevenção contra incêndios.....	162

## Unidade 5

### Sistemas elétricos

<b>Capítulo 1 - Fios e cabos condutores.....</b>	<b>167</b>
<b>Capítulo 2 - Ligação à massa.....</b>	<b>189</b>
<b>Capítulo 3 - Conectores .....</b>	<b>195</b>
3.1 Tipos de conectores .....	195
3.2 Identificação de conectores .....	196
3.3 Instalação de conectores .....	199
<b>Capítulo 4 - Conduítes .....</b>	<b>207</b>
4.1 Finalidade dos conduítes .....	207
4.2 Fixação, furos de drenagem .....	207
<b>Capítulo 5 - Instalação de equipamento elétrico .....</b>	<b>211</b>
5.1 Limites de carga elétrica .....	211
5.2 Controle ou monitoramento de carga elétrica.....	213
<b>Capítulo 6 - Dispositivos de proteção de circuitos .....</b>	<b>217</b>
6.1 Dispositivos de proteção.....	217
6.2 Interruptores .....	221
6.3 Relés .....	226
<b>Capítulo 7 - Sistema de iluminação de aeronaves .....</b>	<b>231</b>
7.1 Luzes internas .....	231
7.2 Luzes externas .....	235
7.3 Luzes de posição.....	236
7.4 Luzes de anticolisão.....	237
7.5 Luzes de pouso .....	239
7.6 Luzes de táxi.....	240
7.7 Luzes de inspeção das asas .....	240
7.8 Luzes de identificação.....	240
<b>Capítulo 8 - Inspeção e manutenção dos sistemas de iluminação.....</b>	<b>243</b>
8.1 Testes em lâmpadas .....	243
8.2 Verificação de fusíveis e disjuntores.....	244
8.3 Verificação de relés .....	244

8.4 Verificação de conectores .....	244
8.5 Verificação de fiação elétrica .....	245
8.6 Verificação de interruptores .....	245

## Unidade 6

### Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

<b>Capítulo 1 - Sistemas hidráulicos e de trens de pouso .....</b>	<b>249</b>
<b>Capítulo 2 - Tipos de fluidos hidráulicos .....</b>	<b>253</b>
2.1 Fluido hidráulico à base de vegetal .....	253
2.2 Fluido hidráulico à base de mineral .....	253
2.3 Fluido à base de éster fosfato .....	254
2.4 Mistura de fluidos .....	254
2.5 Compatibilidade com os materiais da aeronave .....	255
2.6 Efeitos na saúde causados pelo manuseio do fluido hidráulico .....	255
2.7 Contaminação sólida do fluido hidráulico .....	255
2.8 Verificação de contaminação .....	256
2.9 Controle da contaminação .....	256
<b>Capítulo 3 - Filtros.....</b>	<b>257</b>
3.1 Características dos filtros do sistema hidráulico .....	257
3.2 Filtro do tipo micrônico .....	258
3.3 Manutenção dos filtros.....	259
<b>Capítulo 4 - O sistema hidráulico básico .....</b>	<b>261</b>
4.1 Sistema operado por bomba manual.....	261
4.2 Sistema operado por bombas mecânicas .....	262
<b>Capítulo 5 - Componentes de um sistema hidráulico.....</b>	<b>271</b>
5.1 Reservatório de sistema hidráulico .....	271
5.2 Bomba manual de dupla ação.....	273
5.3 Bombas acionadas pelo motor .....	274
5.4 Regulagem da pressão.....	278
5.5 Acumuladores .....	280
5.6 Válvulas .....	281
5.7 Cilindros atuadores .....	283
<b>Capítulo 6 - Caracterização dos sistemas de trens de pouso .....</b>	<b>285</b>
6.1 Disposição dos trens de pouso .....	285
6.2 Amortecedores .....	286
6.3 Alinhamento, fixação e retração do trem.....	288
6.4 Sistemas de extensão em emergência.....	290
6.5 Dispositivos de segurança do trem de pouso .....	291
6.6 Sistemas de direção da roda do nariz.....	291
6.7 Amortecedores de vibração .....	293

<b>Capítulo 7 - Sistemas de freio.....</b>	<b>295</b>
7.1 Sistemas de freio independentes .....	295
7.2 Sistemas de controle de freio de força .....	296
7.3 Cilindros redutores.....	297
7.4 Sistemas de freio com aumento de força .....	297
7.5 Freio da roda do nariz .....	297
7.6 Conjunto de freio.....	297
7.7 Inspeção e manutenção dos sistemas de freio .....	300
<b>Capítulo 8 - Rodas e pneus de aeronaves.....</b>	<b>303</b>
8.1 Rodas de aeronaves.....	303
8.2 Tipos de rodas .....	304
8.3 Rolamentos de rodas .....	305
8.4 Pneus de aeronaves .....	305
8.5 Manutenção de pneus de aeronaves .....	307
8.6 Inspeção do pneu montado na roda.....	309
8.7 Inspeção do pneu desmontado .....	310
8.8 Inspeção da câmara de ar.....	311
8.9 Montagem e desmontagem de pneus.....	312
8.10 Segurança na desmontagem.....	313
8.11 Causas da perda da pressão do ar em pneus sem câmara .....	314
<b>Capítulo 9 - Estocagem e reparos de pneus e câmaras de ar para aeronaves.....</b>	<b>315</b>
9.1 Condições para estocagem de pneus e câmaras de ar.....	315
9.2 Reparos de pneus e câmaras de ar .....	317
<b>Capítulo 10 - Manuseio e operações com pneus.....</b>	<b>321</b>
10.1 Cuidados na utilização e conservação de pneus.....	321
10.2 Taxiando, freando e girando .....	321
10.3 Decolagem e pouso .....	322
10.4 Condições da pista .....	324
10.5 Hidroplanagem .....	324
<b>Capítulo 11 - Reparos de câmaras de ar .....</b>	<b>327</b>
<b>Capítulo 12 - Inflação de pneus .....</b>	<b>331</b>
<b>Capítulo 13 - Inspeção de pneus .....</b>	<b>335</b>
13.1 Vazamento ou danos na válvula.....	335
13.2 Banda de rodagem.....	335
13.3 Uso desigual de pneu, danos nas laterais e desgaste normal.....	336
13.4 Pneus sem câmaras e inspeção do pneu desmontado.....	337
13.5 Fusível térmico.....	337
<b>Capítulo 14 - Sistema de antiderrapagem .....</b>	<b>339</b>
14.1 Controle de derrapagem normal.....	339
14.2 Gerador do controle de derrapagem .....	340
14.3 Caixa de controle de derrapagem.....	340

14.4 Válvulas de controle de derrapagem .....	341
14.5 Controle do piloto .....	342
14.6 Controle de derrapagem de roda travada .....	342
14.7 Proteção no toque com a pista.....	342
14.8 Proteção contra falhas.....	343
<b>Capítulo 15 - Manutenção dos sistemas de trem de pouso .....</b>	<b>345</b>
15.1 Inspeção, serviços e manutenção dos sistemas de trem de pouso .....	345
15.2 Ajustagem e alinhamento do trem de pouso .....	348
15.3 Folgas das portas do trem de pouso .....	350
15.4 Ajustes dos braços de arrasto e dos braços laterais do trem de pouso .....	350
15.5 Checagem da retração do trem de pouso .....	351

## Unidade 7

### Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

<b>Capítulo 1 - Sistemas pneumáticos .....</b>	<b>355</b>
1.1 Sistema pneumático de alta pressão .....	355
1.2 Sistema pneumático de média pressão .....	358
1.3 Sistema pneumático de baixa pressão.....	364
1.4 Fontes auxiliares do sistema pneumático.....	372
1.5 Sistemas que dependem do sistema pneumático .....	374
1.6 Manutenção do sistema pneumático.....	378
<b>Capítulo 2 - Sistema de ar condicionado.....</b>	<b>379</b>
2.1 Sistema de ar de ventilação .....	379
2.2 Sistema de aquecimento .....	380
2.3 Sistemas de refrigeração .....	385
2.4 Operação de um sistema típico do tipo ciclo de ar .....	389
2.5 Distribuição do ar e controle de temperatura do ar condicionado .....	391
2.6 Regulador de temperatura do ar da cabine e controle do sistema .....	392
2.7 Teoria da refrigeração .....	393
2.8 Características do sistema de ciclo de vapor a <i>freon</i> .....	394
2.9 Inspeção do sistema de ciclo a vapor.....	402
2.10 Reabastecimento .....	403
2.11 Conjunto de distribuição .....	404
2.12 Operação dos manômetros do equipamento de distribuição .....	405
2.13 Esvaziamento do sistema .....	406
2.14 Teste de pressão dinâmica da cabine .....	411

<b>Capítulo 3 - Sistema de pressurização .....</b>	<b>413</b>
3.1 Composição da atmosfera.....	413
3.2 Termos e definições .....	418
3.3 Componentes do sistema.....	421
3.4 Sistema de controle da pressão da cabine .....	428
3.5 Operação do sistema – modo automático .....	436
<b>Capítulo 4 - Sistema de oxigênio.....</b>	<b>439</b>
4.1 Características dos sistemas de oxigênio.....	439
4.2 Cilindros de oxigênio .....	441
4.3 Tipos de reguladores de pressão do sistema de oxigênio .....	442
4.4 Indicador de fluxo de oxigênio e máscara de oxigênio.....	445
4.5 Indicador de disco verde.....	446
4.6 Válvula de corte de oxigênio de alta pressão instalada no cilindro .....	446
4.7 Operação do sistema de oxigênio da tripulação técnica.....	447
4.8 Características do sistema de geração química de oxigênio .....	450
4.9 Equipamento portátil de oxigênio .....	452
4.10 Manutenção e inspeção do sistema de oxigênio .....	454
4.11 Teste de vazamento do sistema de oxigênio.....	455
4.12 Drenagem de um sistema de oxigênio.....	456
4.13 Procedimentos de reabastecimento de um sistema de oxigênio .....	458
4.14 Procedimentos de acordo com as instruções do fabricante .....	459
4.15 Limpeza e purificação do sistema de oxigênio.....	460
4.16 Características de fabricação e cuidados no manuseio das máscaras.....	461
4.17 Prevenção contra fogo e explosão do oxigênio .....	462

## Unidade 8

### Soldagem

<b>Capítulo 1 - União dos metais.....</b>	<b>467</b>
1.1 Terminologia empregada na soldagem .....	467
1.2 Formação da junta soldada .....	470
1.3 Expansão e contração de metais.....	473
<b>Capítulo 2 - Soldagem oxiacetilênica .....</b>	<b>475</b>
2.1 Equipamento para soldagem a oxiacetileno .....	475
2.2 Consumíveis na soldagem oxiacetilênica.....	480
2.3 Chama .....	482
2.4 Soldagem de metais ferrosos e não ferrosos .....	484
<b>Capítulo 3 - Soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido .....</b>	<b>489</b>
3.1 Arco elétrico.....	489
3.2 Características .....	490

3.3 Equipamentos .....	491
3.4 Aplicação.....	494
<b>Capítulo 4 - Soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG) .....</b>	<b>499</b>
4.1 Características .....	499
4.2 Equipamentos .....	500
4.3 Consumíveis .....	502
4.4 Aplicação.....	504
<b>Capítulo 5 - Soldagem a arco com proteção gasosa e eletrodo consumível (MIG/MAG).....</b>	<b>507</b>
5.1 Características .....	507
5.2 Equipamentos .....	510
5.3 Consumíveis .....	512
5.4 Aplicação.....	514
<b>Capítulo 6 - Tipos de junta e posições de soldagem .....</b>	<b>517</b>
6.1 Tipos de junta .....	517
6.2 Posições de soldagem .....	519
<b>Capítulo 7 - Soldabilidade de metais não ferrosos.....</b>	<b>523</b>
<b>Capítulo 8 - Soldagem de peças tubulares de aço .....</b>	<b>527</b>
8.1 Reparos de peças tubulares .....	527
8.2 Reparos em estruturas tubulares de aeronaves.....	530
<b>Capítulo 9 - Medidas de segurança .....</b>	<b>531</b>
9.1 Prevenção de riscos.....	531
9.2 Tipos de risco .....	532
9.3 Equipamentos de proteção .....	535
<b>Capítulo 10 - Novos processos de soldagem .....</b>	<b>537</b>
10.1 Laser .....	537
10.2 Ultrassom.....	539

## Atividades

<b>Unidade 1</b>	
Revestimento de aeronaves .....	541
<b>Unidade 2</b>	
Sistema de água potável, toaletes e <i>galleys</i> .....	544
<b>Unidade 3</b>	
Sistemas de comunicação e navegação .....	548
<b>Unidade 4</b>	
Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo .....	555

<b>Unidade 5</b>	
Sistemas elétricos.....	562
<b>Unidade 6</b>	
Sistemas hidráulicos e de trens de pouso .....	569
<b>Unidade 7</b>	
Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio .....	583
<b>Unidade 8</b>	
Soldagem .....	587

## Glossário

<b>Unidade 1</b>	
Revestimento de aeronaves .....	601
<b>Unidade 2</b>	
Sistema de água potável, toaletes e <i>galleys</i> .....	602
<b>Unidade 3</b>	
Sistemas de comunicação e navegação .....	603
<b>Unidade 4</b>	
Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo .....	605
<b>Unidade 5</b>	
Sistemas elétricos.....	606
<b>Unidade 6</b>	
Sistemas hidráulicos e de trens de pouso.....	608
<b>Unidade 7</b>	
Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio .....	610
<b>Unidade 8</b>	
Soldagem .....	612

## Referências

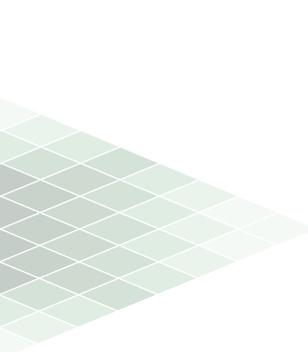
<b>Unidade 1</b>	
Revestimento de aeronaves .....	613
<b>Unidade 2</b>	
Sistema de água potável, toaletes e <i>galleys</i> .....	614
<b>Unidade 3</b>	
Sistemas de comunicação e navegação .....	615
<b>Unidade 4</b>	
Sistemas de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo.....	615

<b>Unidade 5</b>	
Sistemas elétricos.....	617
<b>Unidade 6</b>	
Sistemas hidráulicos e de trens de pouso.....	617
<b>Unidade 7</b>	
Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio .....	618
<b>Unidade 8</b>	
Soldagem .....	619

## Gabarito

<b>Unidade 1</b>	
Acabamento de aeronaves.....	621
<b>Unidade 2</b>	
Sistema de água potável, toaletes e <i>galleys</i> .....	622
<b>Unidade 3</b>	
Sistemas de comunicação e navegação .....	622
<b>Unidade 4</b>	
Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo .....	624
<b>Unidade 5</b>	
Sistemas elétricos.....	625
<b>Unidade 6</b>	
Sistemas hidráulicos e de trens de pouso .....	627
<b>Unidade 7</b>	
Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio.....	630
<b>Unidade 8</b>	
Soldagem .....	631





# Unidade 1

## Revestimento de aeronaves

Nas décadas iniciais da aviação, os revestimentos eram feitos com materiais têxteis. Com a necessidade de alto desempenho na aviação militar e estimulado pelas grandes guerras, foram desenvolvidas aeronaves com estruturas e revestimento de alumínio. Atualmente, materiais compostos modernos estão substituindo as ligas metálicas por terem alto desempenho e leveza.

No primeiro capítulo, apresentam-se os revestimentos de ligas metálicas, em especial as ligas de alumínio, por serem as mais utilizadas nas aeronaves atuais. É importante ressaltar que muitos procedimentos de inspeção e técnicas de reparo de revestimentos de ligas metálicas são também utilizados na parte estrutural da aeronave.

A indústria aeronáutica é dinâmica e tecnológica, está sempre na vanguarda do desenvolvimento e do emprego de novos materiais, principalmente os compósitos, assunto do segundo capítulo. Por fim, no último capítulo, o tema abordado é os revestimentos têxteis, utilizados em planadores e pequenas aeronaves.



# Capítulo 1

## Revestimento metálico

A indústria aeronáutica é pioneira no desenvolvimento de materiais de alto desempenho e na evolução e criação de novas tecnologias de revestimentos. Na atualidade, as ligas metálicas ainda são as principais matérias-primas utilizadas na estrutura e nos revestimentos de aeronaves.

### 1.1 Matéria-prima

No desenvolvimento de um projeto de aeronave, devem-se considerar a complexidade, a variedade de esforços exigidos e a diversidade de materiais envolvidos. Busca-se, para cada área da aeronave que exige um esforço específico, utilizar um material com características físicas e mecânicas adequadas.

Diferentes tipos de metais são utilizados para atender a essa demanda, variando na composição e nas características, tais quais peso, trabalhabilidade, resistência a altas temperaturas, durabilidade, flexibilidade, condutividade, etc. Os materiais utilizados nos revestimentos de célula, por exemplo, devem ter excelente relação peso/resistência com confiabilidade, uma célula pesada seria de pouca utilidade. Nesse sentido:

A relação que existe entre a resistência de um material e sua densidade expressa como uma razão é também conhecida, como a razão entre resistência e peso. Essa razão forma a base para comparação entre vários materiais, para uso na construção e reparo em células. Nem a resistência, tampouco o peso, isoladamente, podem ser usados como meios de verdadeira comparação (BRASIL, 2002a, p. 79).

Os materiais constituintes dos revestimentos aeronáuticos precisam apresentar grande capacidade de resistência à corrosão, isso para garantir a confiabilidade, sabendo que muitos acidentes aeronáuticos têm como causa a degradação pela corrosão. Outro fator importante na seleção de materiais é a capacidade destes serem conformados, dobrados ou trabalhados de diversas formas. O material deve possuir a qualidade de ser trabalhado a frio, geralmente, quanto mais dúctil e maleável, mais trabalho a frio ele pode suportar. Deve, também, possuir propriedades que permitam tratamento a quente. Esses processos de aquecimento e resfriamento controlados de um metal visam a induzir o surgimento de certas características desejáveis – endurecimento, amolecimento, ductilidade, resistência à tração ou variação da estrutura granular.

Todo revestimento aeronáutico está sujeito a impactos e a vibrações, que, ao longo do tempo, são responsáveis por aparecimento de trincas e rachaduras, as chamadas fadigas. Os revestimentos devem possuir grande capacidade de resistir às falhas causadas por fadiga.



**Dúctil:** que se pode estirar ou comprimir sem se romper ou quebrar; elástico, flexível, moldável.

**Ductilidade:** é a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura.

## 1.2 Ligas metálicas

As ligas metálicas são materiais com propriedades metálicas que contêm dois ou mais elementos químicos, em que pelo menos um deles é metal. As características das ligas são diferentes das apresentadas pelo metal puro, as propriedades dependem da porcentagem de cada elemento. As ligas metálicas são matérias-primas que atendem a praticamente todos os critérios de seleção apresentados na confecção de revestimentos aeronáuticos.

A indústria aeronáutica é grande consumidora de ligas metálicas, tanto na parte estrutural quanto nos revestimentos com chapas metálicas. Os principais constituintes das ligas metálicas utilizadas na confecção de chapas para revestimento de aeronaves são: ferro, carbono, níquel, cromo, molibdênio, magnésio, alumínio, titânio, silício, manganês, cobre, etc.

### 1.2.1 Materiais ferrosos

Os materiais ferrosos são ligas metálicas que têm o ferro como base. Adicionando-se ao ferro o carbono, em torno de 1%, o produto final é chamado de aço-carbono, com qualidades superiores ao ferro puro. Acrescentando-se outros elementos ao aço-carbono, como cobre, níquel e cromo, formam-se as ligas de aço, com propriedades ainda superiores ao aço-carbono.

Existe um índice numérico estabelecido pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) e pela *American Iron and Steel Institute* (AISI), respectivamente, em português, Sociedade de Engenheiros Automotivos e Instituto Americano de Ferro e Aço, utilizado para identificar a composição química dos aços. A nomenclatura se dá pela série de quatro números, utilizados para designar a liga de aço. Os dois primeiros indicam o tipo de aço e os dois últimos a quantidade de carbono. Alguns aços especiais utilizam três números para a porcentagem de carbono.

Com efeito, outros elementos podem estar presentes nas ligas de aço. Segundo o Instituto de Aviação Civil (IAC), os limites máximos aceitáveis são “cobre, 35%; níquel, 25%; cromo, 20%; e molibdênio, 0,06%” (BRASIL, 2002a, p. 82).

É importante ressaltar que a lista de aços aceitos é constantemente atualizada para contemplar as novas tecnologias desenvolvidas pela indústria siderúrgica.

Na Tabela 1, pode-se observar a lista dos principais aços e seus respectivos índices, segundo a SAE. O elemento estrutural metálico pode ser conformado de diferentes formas e dimensões.

Nosso foco são as chapas metálicas utilizadas como revestimento, encontradas em diversos tamanhos e espessuras. As especificações designam a espessura em milésimo de polegada.

Tabela 1 - Índice de aços, segundo a SAE

Séries	Tipos
10xx	Aços-carbono sem enxofre
11xx	Aços-carbono resulfurizado (não trabalhado)
12xx	Aços-carbono resulfurizado e refosforizado (não trabalhado)
13xx	Manganês 1,75%
*23xx	Níquel 3,50%
*25xx	Níquel 5,00%
31xx	Níquel 1,25%, cromo 0,65%
33xx	Níquel 3,50%, cromo 1,55%
40xx	Molibdênio 0,20 ou 0,25%
41xx	Cromo 0,50 ou 0,95, molibdênio 0,12 ou 0,20%
43xx	Níquel 1,80%, cromo 0,50 ou 0,80%, molibdênio 0,25%
44xx	Molibdênio 0,40%
45xx	Molibdênio 0,52%
46xx	Níquel 1,80%, molibdênio 0,25%
47xx	Níquel 1,05%, cromo 0,45%, molibdênio 0,20 ou 0,35%
48xx	Níquel 3,50%, molibdênio 0,25%
50xx	Cromo 0,25 ou 0,40 ou 0,50%

\* Não incluídos na relação de aços padronizados.

Fonte: BRASIL, 2002a, p. 83.

Algumas ligas de aço-carbono são mais utilizadas em revestimentos ou mesmo em elementos para fixar o revestimento. A combinação de níquel com aço-carbono produz uma liga com maior dureza, resistência à tração e limite de elasticidade, sem diminuir a ductibilidade, aços SAE 2330, por exemplo, são muito empregados na fabricação de parafusos de aeronaves.

O aço cromo-níquel, conhecido como aço inoxidável, é muito resistente à corrosão, utilizado em dutos de admissão e coletores de exaustão de aeronaves. O aço cromo-molibdênio, quando convenientemente tratado, fica muito endurecido e apto a trabalhar em ambientes com temperaturas elevadas, é utilizado em revestimentos expostos a altas temperaturas, como áreas próximas ao motor das aeronaves.

### 1.2.2 Ligas metálicas não ferrosas

As ligas metálicas não ferrosas são aquelas que não utilizam o ferro como constituinte principal, tais como ligas de titânio, cobre, magnésio e alumínio (o mais importante para a aviação). Em seguida, abordam-se essas ligas, individualmente, apresentando suas particularidades.

#### a) Ligas de alumínio

Segundo Braga (2011, p. 32), o alumínio é um elemento metálico muito abundante na natureza, possui extensa faixa de propriedades físicas, mecânicas, elétricas e térmicas e diversas aplicações. O uso aeronáutico do alumínio surgiu em uma empresa alemã, no final da 1ª Guerra Mundial. Hoje, os componentes de alumínio representam cerca de 70% das estruturas das aeronaves.

Conforme o IAC, “o alumínio comercialmente puro é um metal branco, lustroso, que ocupa o segundo lugar na escala de maleabilidade; sexto em ductilidade, e uma boa posição em resistência à corrosão” (BRASIL, 2002a, p. 85).

A composição das ligas de alumínio é dividida em duas categorias principais, a saber, ligas de alumínio fundidas e ligas de alumínio trabalháveis. O sistema de identificação das ligas de alumínio mais conhecido no Brasil e no mundo é o *Aluminum Association (AA)*, em português, Associação do Alumínio. Ela identifica as ligas com nomenclaturas diferentes para as fundidas e as trabalháveis. As ligas utilizadas em revestimentos aeronáuticos são as trabalháveis, elas são classificadas por um sistema de quatro dígitos, o qual produz uma lista de famílias de composição. A classificação é subdividida em três grupos: o 1xxx, o 2xxx até 8xxx e o 9xxx.

No grupo 1xxx, o primeiro dígito é utilizado para identificar o tipo da liga; o segundo, para indicar o controle sobre impurezas; e os dois últimos, para assinalar a porcentagem de alumínio puro. Por exemplo:

- 1100 - 99,00% de alumínio puro com um controle sobre impurezas individuais.
- 1250 - 99,50% de alumínio puro com dois controles sobre impurezas individuais.
- 1295 - 99,95% de alumínio puro com dois controles sobre impurezas individuais.

O grupo 1xxx é composto pelas ligas que apresentam excelente resistência à corrosão, muito trabalháveis e ótima condutividade térmica e elétrica.

Quanto ao grupo 2xxx até 8xxx, o primeiro dígito indica o elemento de maior proporção que compõe a liga depois do alumínio; o segundo aponta se a liga sofreu modificações; e os dois últimos mostram os tipos de ligas do grupo. Este grupo divide-se da seguinte forma:

- 2xxx - ligas em que o cobre é o principal elemento ligante, outros elementos, como o magnésio, podem compor essa família. Esse tipo de liga tem ótimas propriedades, mas é pouco resistente à corrosão comparado aos demais do grupo. Geralmente, ele é cladeado com a liga 6000, resultando em maior resistência à corrosão. Essas ligas têm grande utilidade na fabricação de chapas para revestir aeronaves.

Os termos cladeado (*CLADDING*), ALCLAD e PURECLAD são usados para chapas que recebem um revestimento (5,5% da espessura da chapa) de alumínio de maior pureza em ambos os lados.

- 3xxx - liga na qual o manganês é o principal elemento ligante.
- 4xxx - liga na qual o silício é o principal elemento ligante, utilizada em varetas de solda.
- 5xxx - liga na qual o magnésio é o principal elemento ligante, utilizada em produtos expostos em ambientes marítimos.
- 6xxx - liga na qual o magnésio e o silício são os principais elementos ligantes, utilizada para **extrusão**.
- 7xxx - liga na qual o zinco é o principal elemento ligante, outros como cobre, magnésio, cromo e zircônio podem ser adicionados. Muito utilizada em estruturas aeronáuticas e em outras aplicações com grande exigência de resistência, a mais conhecida dessa série é a 7075.
- 8xxx - liga que inclui estanho e lítio de finalidades diversas.
- 9xxx - classificação reservada para uso futuro.

A adição de outros elementos químicos não é a única forma de melhorar as propriedades de uma liga metálica, podem-se realizar tratamentos. A informação que indica o grau de endurecimento de uma liga é dada por uma letra separada por um traço, podendo-se, ainda, acrescentar um número para especificar o grau de endurecimento, por exemplo, uma liga 2024-T3 informa que o material sofreu uma têmpera com grau de endurecimento 3. Na Tabela 2, visualiza-se a relação entre as letras e o tipo de tratamento das ligas de alumínio.

Tabela 2 - Tratamento das ligas de alumínio

Designação	Denominação
F	Como fabricada
O	Recozido
H	Endurecido por deformação
W	Solubilizado
T	Têmpera

As ligas de alumínio são classificadas em tratáveis termicamente, porque respondem ao tratamento em solução, e não tratáveis termicamente, porque as propriedades são melhoradas apenas com o trabalho a frio. Os principais tipos de tratamento térmico são elencados a seguir.

- Homogeneização - esse tratamento tem a função de remover ou reduzir as segregações, produzir estruturas estáveis e controlar certas características metalúrgicas, como propriedades mecânicas, tamanho de grão, **estampabilidade**, entre outras. Na laminação a quente, este tratamento pode ser executado concomitantemente ao aquecimento das placas.



**Extrusão:** é um processo mecânico de produção de componentes de forma semicontínua em que o material é forçado por meio de uma matriz, adquirindo, assim, a forma predeterminada pela forma da matriz projetada para a peça.

**Estampabilidade:** é a capacidade que a chapa metálica tem de adquirir a forma de uma matriz pelo processo de estampagem, sem se romper ou apresentar qualquer outro tipo de defeito de superfície ou de forma.



**Encruamento:** é um fenômeno modificativo da estrutura cristalina dos metais e ligas pouco ferrosas, que causa endurecimento.

**Conformação:** é o processo mecânico pelo qual se obtêm peças por meio da compressão de metais sólidos em moldes, utilizando a deformação plástica da matéria-prima para o preenchimento das cavidades dos moldes.

**Solubilização:** tratamento em ligas metálicas em que o material é aquecido até uma temperatura alta para a dissolução de um ou mais elementos de liga.

- Solubilização/envelhecimento - o tratamento proporciona melhor resistência mecânica. O metal é aquecido de modo uniforme e, com rapidez, resfriado, em geral, em água, o que previne, temporariamente, a precipitação dos elementos da liga. Essa condição é instável. Gradualmente, os constituintes precipitam-se de uma maneira extremamente fina, alcançando o máximo efeito de endurecimento (envelhecimento). Essa técnica é, com frequência, aplicada em rebites para a indústria de aviação.
- Recozimento pleno - é um tratamento térmico em que se obtêm as condições de plasticidade máxima do metal (têmpera **O**), correspondendo a uma recristalização total deste.
- Recozimento parcial - este tipo de tratamento térmico corresponde a uma recristalização parcial do material, permitindo a obtenção de têmperas com alongamentos maiores. Esse processo favorece, em alguns casos, o processo de estampagem, conferindo ao produto final maior resistência mecânica.
- Estabilização - nas ligas **Al-Mg** (série 5XXX), após alguns dias em temperatura ambiente, ocorre uma perda de propriedades mecânicas do material deformado a frio. Para contornar esse inconveniente, o material é aquecido em temperaturas ao redor de 150 °C para acelerar a recuperação (têmperas **H3X**). Este tratamento alivia a tensão residual dos materiais **encruados** e aumenta a resistência à corrosão das ligas de **AlMg**.
- Têmperas - é uma das etapas do tratamento térmico de endurecimento por precipitação, propiciando estrutura e propriedades mecânicas características.  
O tratamento mais utilizado nas chapas de alumínio empregadas em revestimentos é a têmpera, designada pela letra (**T**), seguida de número de um a dez, que indica a sequência de tratamentos básicos.
- **T1** - resfriamento a partir da temperatura do processo de **conformação**, envelhecimento natural até uma condição estável.
- **T2** - resfriamento a partir da temperatura do processo de conformação, trabalho a frio e envelhecimento natural até uma condição estável.
- **T3** - **solubilização**, resfriamento abrupto, trabalho mecânico e envelhecimento natural até uma condição estável.
- **T4** - solubilização, resfriamento abrupto e envelhecimento natural até uma condição estável.
- **T5** - resfriamento a partir da temperatura do processo de conformação e envelhecimento artificial para uma condição estável.
- **T6** - solubilização, resfriamento abrupto e envelhecimento artificial para uma condição estável.
- **T7** - solubilização, resfriamento abrupto e superenvelhecimento artificial.
- **T8** - resfriamento a partir da temperatura de solubilização, trabalho a frio e envelhecimento artificial até a condição estável.
- **T9** - solubilização, resfriamento abrupto, trabalho mecânico e envelhecimento artificial até a condição estável.
- **T10** - resfriamento a partir da temperatura do processo de conformação, trabalho a frio e envelhecimento artificial até a condição estável.

As ligas de alumínio temperadas em forma de chapas são os principais revestimentos utilizados nas aeronaves operando na atualidade. De acordo com Braga (2011, p. 36), “Nos aviões, as ligas tradicionais utilizadas para fabricação do revestimento das partes inferior e superior da asa, respectivamente, são 7050-T7451 e 7475-T7351”. Cerveira (2008, p. 46), por seu turno, informa que, “Em se tratando de materiais aeronáuticos, algumas das ligas com grande número de aplicações são AA7075 e AA2024. Entre as principais aplicações estão componentes estruturais da fuselagem; **longarinas**, cavernas e revestimentos”.

Na Figura 1, observa-se uma fuselagem cortada de um avião turboélice de fabricação brasileira, toda estrutura e revestimentos são fabricados com ligas de alumínio, isso por se tratar de uma aeronave mais antiga.



Figura 1 - Fuselagem de avião turboélice de fabricação brasileira  
Fonte: Foto do autor / © Marcelo Giuliano Fernandes.

#### b) Ligas de titânio

As ligas de titânio são muito utilizadas na construção e no reparo de aeronaves, principalmente no revestimento de fuselagens, carenagens de motores, paredes contrafogo e dutos de ar.

Em relação às propriedades de elasticidade, densidade e resistência a altas temperaturas, o titânio ocupa posição intermediária entre o alumínio e o aço inox. Seu ponto de fusão fica em torno de 1600 °C, com baixa condutividade térmica. Ligas de titânio são, aproximadamente, 60% mais pesadas do que as ligas de alumínio e 50% mais leves do que o aço inoxidável.

Para estabilizar o titânio e produzir ligas com grande ductilidade, são utilizados ferro, molibdênio e cromo, as ligas podem ser endurecidas por têmperas ou envelhecimento. Nesse contexto, a resistência do titânio à fadiga é maior do que do aço e do alumínio.



**Longarina:** é a mais importante viga ou barra integrante no sentido longitudinal da estrutura de uma aeronave.

As ligas de titânio são classificadas de forma simples por três letras **A** (Alfa), **B** (Beta) e **C** (combinação de Alfa e Beta). De acordo com o IAC (2002a), as ligas apresentam as seguintes propriedades:

**A** (alfa) - Bom desempenho geral, boa soldabilidade; resistente e forte, tanto frio quanto quente; resistente à oxidação.

**B** (beta) - flexibilidade; excelente ductilidade em flexão; forte, tanto frio quanto quente, porém vulnerável à contaminação.

**C** (combinação entre alfa e beta, com relação ao desempenho) - forte quando frio ou morno, porém fraco quando quente, boa flexibilidade, moderada resistência à contaminação; excelente forjabilidade (BRASIL, 2002a, p. 90).

Como exemplo, pode-se usar a liga C-110M. É uma liga de titânio muito empregada para componentes de estruturas primárias e revestimentos de aeronaves. As ligas de titânio têm excelente resistência à corrosão, igual ou superior ao aço inox. Essa resistência se dá pela formação de um filme de proteção de óxido ou de oxigênio absorvido quimicamente. Elas são resistentes a muitos produtos químicos e podem ser utilizadas com metais diferentes sem causar danos para ambos.

#### c) Ligas de cobre

O cobre é, normalmente, usado em sua forma pura, mas, também, pode ser combinado com outros metais para produzir uma enorme variedade de ligas. Cada elemento adicionado ao cobre permite obter ligas com diferentes características, tais quais: maior dureza, resistência à corrosão, resistência mecânica, **usinabilidade** ou, até, uma cor especial para combinar com certas aplicações.

As principais ligas são:

- cobre-zinco - essa combinação pertence ao grupo dos latões e o conteúdo de zinco varia de 5% a 45%;
- cobre-estanho - a combinação desses metais forma o grupo dos bronzes e o conteúdo de estanho pode chegar a 20%;
- cobre-alumínio - essa liga normalmente contém mais de 10% de alumínio;
- cobre-níquel - nessa liga o conteúdo de níquel pode variar de 10% a 30%.

As ligas que, em geral, contêm entre 45% e 70% de cobre e 10% e 18% de níquel, sendo o restante constituído por zinco, recebem o nome de alpaca. Apesar de sua grande resistência à corrosão, são pouco utilizadas como revestimento por conta do elevado peso.

#### d) Ligas de magnésio

O magnésio é o metal estrutural mais leve existente. No seu estado puro, não apresenta propriedades de resistência estrutural, mas, associado ao zinco e ao alumínio, forma uma liga de ótima relação resistência/peso. Nenhum outro metal apresenta essa mesma característica. Em razão dessas propriedades, é largamente empregado na indústria aeronáutica. Em consonância com o IAC (2002a):



**Usinabilidade:** é a facilidade com que o material pode ser cortado, torneado, fresado ou furado sem prejuízo de suas propriedades mecânicas.

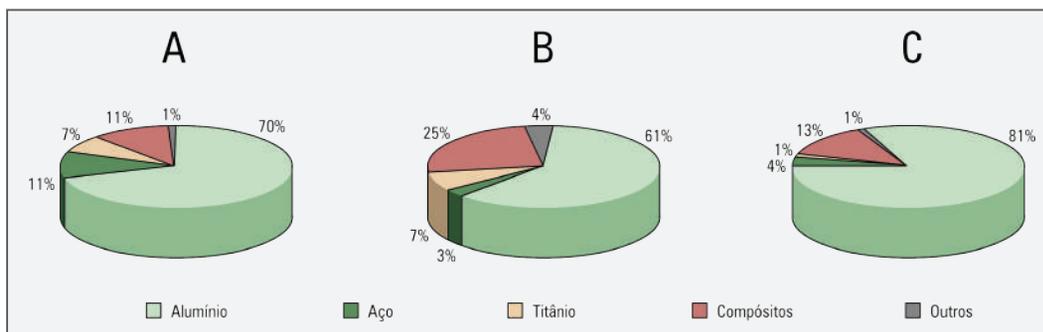
Algumas das aeronaves empregadas hoje em dia chegam a empregar meia tonelada, para ser utilizado numa centena de pontos vitais. Alguns painéis das asas são inteiramente fabricados de ligas de magnésio, pesando 18% menos que os painéis de alumínio, tendo voado muitas horas sem problemas. Entre os componentes de uma aeronave que são fabricados com magnésio com substancial redução de peso, estão: portas do alojamento da bequilha, revestimento dos flapes e dos *ailerons*, pontas de asa, carenagens do motor, tanques de óleo do motor e hidráulico, painéis de instrumentos, alojamento das garrafas de oxigênio, dutos e assentos (BRASIL, 2002a, p. 92-93).

As ligas de magnésio podem sofrer tratamentos como recozimento, têmpera e envelhecimento. O tratamento de solubilização é realizado com a finalidade de aumentar a resistência à tração e a ductilidade. Com o envelhecimento, a máxima dureza e a resistência à deformação são alcançadas. A grande desvantagem é o fato de ser uma liga pouco resistente à corrosão.

O magnésio é um metal inflamável, principalmente quando em pó ou em pequenos pedaços. Não se recomenda utilizar extintores de água ou espuma para apagar o fogo, com o risco de aumentá-lo ou até causar explosão, o correto é utilizar extintores de pó químico para extinguir o fogo.

A indústria aeronáutica é dinâmica e está em constante evolução, desenvolvendo novos materiais para melhorar o desempenho das aeronaves. Os materiais compostos estão substituindo, gradativamente, as ligas de alumínio nos novos projetos de aeronaves. No Gráfico 1, publicado em 2007 na revista Ciência e Tecnologia, vê-se a comparação da porcentagem de alumínio nos projetos de algumas aeronaves. Nesse contexto, é perceptível o crescimento da utilização de materiais compostos.

GRÁFICO 1 - Porcentagem global dos materiais



Fonte: REZENDE, 2007, p. E4.

## 1.3 Inspeção de revestimento metálico

A inspeção é uma fase muito importante na manutenção de revestimentos aeronáuticos. A finalidade é avaliar as condições do revestimento por meio de exames visuais ou de equipamentos especiais.



Figura 2 - Lente de aumento

Um método utilizado para avaliar a integridade do revestimento é a inspeção visual. Esse método é muito importante para danos de dimensões consideráveis, visíveis a olho nu ou com auxílio de equipamentos dotados de lentes de aumento. É o procedimento normal de detecção e avaliação do revestimento quanto à corrosão e a danos diversos.

Há casos em que as áreas a serem inspecionadas não podem ser vistas diretamente, por ficarem atrás de membros estruturais ou outros componentes difíceis de serem vistoriados, nesses casos pode-se utilizar espelho de inspeção, lentes de aumento, **boroscópios**, equipamentos de fibra ótica ou mesmo as mãos podem ser usadas para fazer uma inspeção em locais escondidos do revestimento de liga metálica.



**Boroscópio:** é o instrumento usado para fazer inspeções visuais remotas.



Figura 3 - Boroscópio

Após detectar o dano, o próximo passo é realizar a inspeção dimensional para avaliar a extensão da avaria, excentricidade de furos, ovalização de furos ou outras anormalidades. Nesse tipo de inspeção, utilizam-se instrumentos de medição, como paquímetro, micrômetros, desempenos, prismas paralelos, rugosímetros, etc.

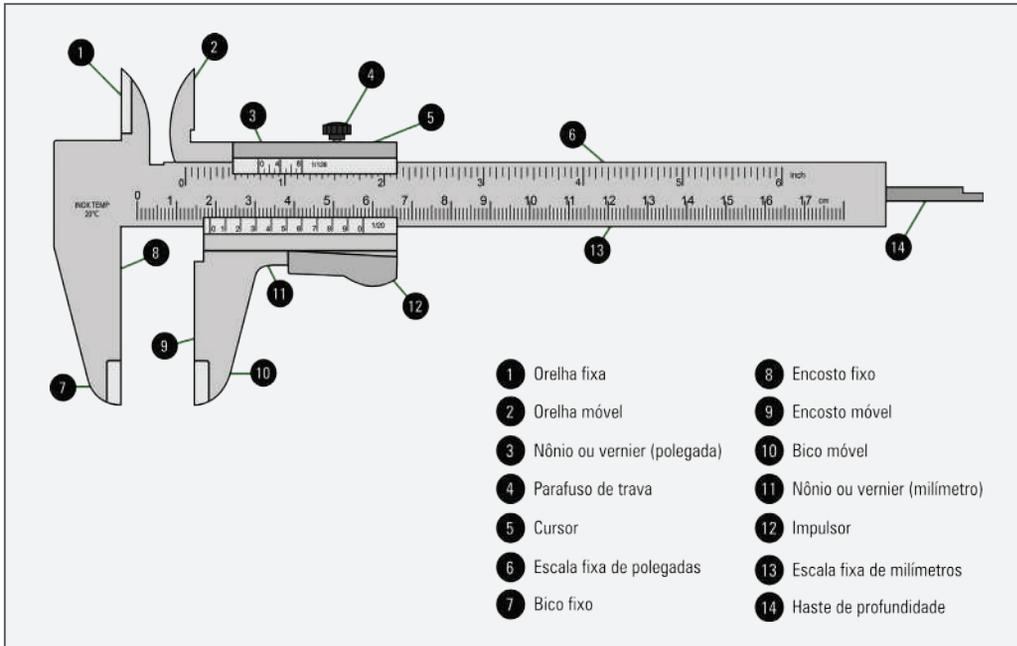


Figura 4 - Paquímetro

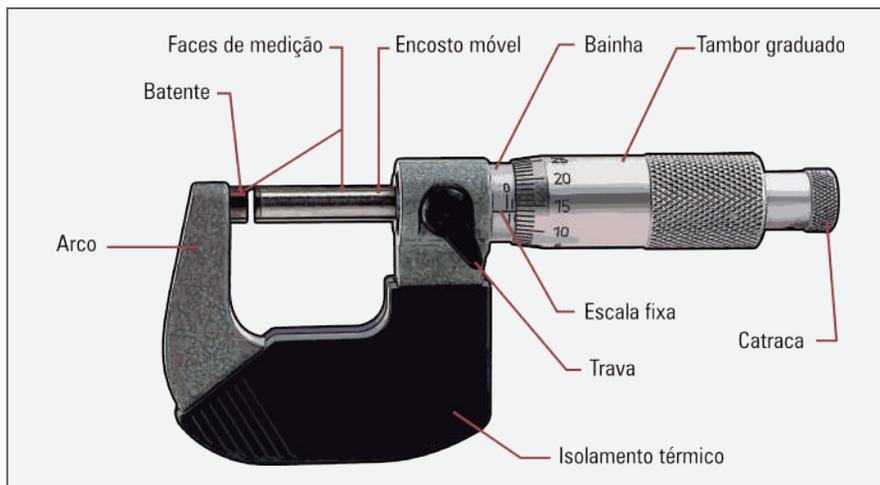


Figura 5 - Micrômetro

Ao utilizar a inspeção visual, é possível localizar a grande maioria dos danos em revestimento, mas existem casos nos quais o dano ou a descontinuidade são tão pequenos que apenas a avaliação visual não é capaz de detectar a falha. Quando isso acontecer, será necessário utilizar equipamentos de ensaios não destrutivos, lançando mão das técnicas descritas no componente

curricular de princípios de inspeção. O objetivo é descobrir rachaduras, fissuras ou falhas internas do revestimento. É importante dizer que, apesar de as trincas e descontinuidades do material serem de pequenas dimensões, elas podem ocasionar graves acidentes, não podendo ser negligenciadas. Na sequência, serão abordadas as principais técnicas e os procedimentos para inspeção em revestimentos de aeronaves.

As inspeções com líquidos penetrantes são realizadas em superfícies fabricadas em material não poroso, é o caso das chapas utilizadas para revestir as aeronaves. Esse ensaio é muito aplicado em materiais como alumínio, magnésio, latão, cobre, ferro, aço e titânio. A inspeção é capaz de detectar defeitos como rachaduras e porosidade do revestimento. A principal desvantagem da inspeção por penetração, no caso de revestimentos, é que o defeito deve-se apresentar aberto na superfície para permitir o contato do líquido e posterior avaliação do mecânico.

O ensaio de raios-X é o método de inspeção mais empregado para elementos estruturais das aeronaves, no entanto, pode também ser utilizado para detectar trincas e rachaduras em revestimentos, o importante nesse caso é calibrar o aparelho com uma intensidade de radiação condizente com a espessura do revestimento.

Quando as trincas e rachaduras são minúsculas, impossíveis de serem detectadas pelos raios-X, o método de inspeção mais indicado é o ultrassônico. As ondas acústicas emitidas pelo aparelho de ultrassom não causam nenhum tipo de dano ao revestimento. O equipamento pode ser transportado facilmente, permitindo realizar os ensaios em campo. O ensaio de raios-X é realizado emitindo radiação danosa à saúde, enquanto o teste de ultrassom não possui qualquer tipo de restrição. O sistema de ressonância é muito utilizado para medir espessuras e avaliar locais com corrosão ou desgaste em tanques, tubulações, chapas de asa do avião e outras estruturas.

Outro método utilizado para inspecionar as rachaduras minúsculas do revestimento é o *eddy current*. Ele faz uso de indução eletromagnética para detectar e caracterizar falhas superficiais e subsuperficiais em materiais condutores. Muito utilizado para inspecionar revestimentos de asas. Destarte:

“*Eddy Current*” são compostos por elétrons livres que passam através do metal, sob a influência de um campo eletromagnético. O “*Eddy Current*” é usado na manutenção para inspecionar eixo do motor da turbina a um jato, revestimento das asas e seus elementos, trem de pouso, furos de fixadores e cavidade das velas de ignição quanto a rachadura, superaquecimento e danos estruturais. Na construção de uma aeronave o “*Eddy Current*” é usado para inspecionar as carcaças, estampagens, peças mecanizadas, forjadas e extrusões (BRASIL, 2002b, p. 27).

De acordo com o Instituto de Aviação Civil (IAC), os principais danos e defeitos de revestimento, que devem ser observados pelos métodos anteriormente citados, são:

Brinelamento (*brinelling*) - Ocorrência de uma depressão esférica, rasa, na superfície de um metal, geralmente produzida por uma peça pontuda em contato com a superfície sob alta pressão.

Brunidura (*burnishing*) - Polimento de uma superfície através do atrito com outra lisa e mais dura. Geralmente não há deslocamento ou remoção de metal.

Rebarba (*burr*) - Uma seção pequena e fina do metal, que se estende além da superfície regular, geralmente em cantos ou nas bordas de um furo.

Corrosão - Perda de metal da superfície por ação química ou eletroquímica. Os produtos da corrosão são, na maioria das vezes, facilmente removidos através de meios mecânicos. A ferrugem é um exemplo de corrosão.

Rachadura - Uma separação física de duas porções metálicas adjacentes, evidenciada por de uma linha fina através da superfície, causada por estresse excessivo naquele ponto. Ela pode estender-se a partir da superfície para o interior até milésimos de polegada, ou atingir toda a espessura do metal.

Corte - Perda de metal, geralmente até uma profundidade apreciável sobre uma área relativamente longa e estreita, através de meios mecânicos, como ocorreria com o uso de uma serra, um cinzel ou uma pedra com aresta cortante que atingisse de um golpe o metal.

Amolgamento (*dent*) - Amassamento em uma superfície metálica, produzido pela pancada forte de um objeto. A superfície ao redor do amolgamento ficará ligeiramente elevada.

Erosão - Perda de metal da superfície através da ação mecânica de objetos externos, como pedrinhas ou areia. A área da erosão tem aspecto áspero e pode estar alinhada com a direção em que o objeto externo moveu-se em relação à superfície.

Trepidação - Falha ou deterioração da superfície metálica, através da ação da vibração ou trepidação. Geralmente não há perda de metal ou rachamento da superfície.

Roçamento - Falha (ou acúmulo) em superfícies metálicas, devido à fricção excessiva entre duas peças que possuam movimento relativo. Partículas do metal mais macio soltam-se e aderem ao metal mais duro.

Goiva (*gouge*) - Sulcos, ou falha, de uma superfície metálica devido ao contato com material externo sob alta pressão. Geralmente indica perda de metal, mas pode ser deslocamento de material.

Inclusão - Presença de materiais estranhos totalmente inseridos em uma porção do metal. Esses materiais são introduzidos durante a fabricação de hastes, barras ou tubos, através de rolamento ou forja.

Entalhe (*nick*) - Quebra local ou dente na borda. Geralmente deslocamento de metal, ao invés de perda de material.

Picadas (*pitting*) - Falha aguda localizada (cavidade pequena e profunda) na superfície do metal, geralmente com bordas definidas.

Arranhão - Risco ou quebra leve na superfície do metal, devido a um contato momentâneo e suave de um material estranho.

Entalhe - Risco ou quebra mais profunda (que o arranhão) na superfície do metal, devido a um contato sob pressão. Pode apresentar descoloração devido à temperatura produzida pela fricção.

Mancha - Uma mudança localizada de cor, causando uma mudança de aparência com relação às áreas adjacentes.

Recalque - Deslocamento do material além do contorno normal ou superfície (uma mo-sa ou saliência local) (BRASIL, 2002c, p. 4-5).

De acordo com o IAC (2002c), “Os danos podem ser agrupados em quatro classes gerais” (BRASIL, 2002c, p. 5) quanto à possibilidade de reparo: danos desprezíveis, reparáveis por remendo, reparáveis por inserção e que necessitam de substituição de partes.

## 1.4 Reparo de revestimento metálico

Os métodos de reparos de revestimentos são variados, não existe um padrão único aplicado a todos os casos. Algumas regras gerais quanto ao material utilizado e à modelagem de partes podem ser aplicadas por todos os mecânicos de aeronaves com habilitação em célula.

Inicialmente, o mecânico deverá avaliar os danos e fazer uma estimativa do reparo. Isso inclui o formato do reparo, o número de rebites, a resistência, o tipo de material, a espessura da chapa, tudo para evitar um acréscimo excessivo de peso e mantendo a resistência inicial ou superior à original.

Para manter a resistência original, algumas regras são muito úteis. Segundo o IAC (2002c), “A chapa do reparo deve ter uma seção transversal igual ou maior que a seção original danificada” (BRASIL, 2002c, p. 1). Para reduzir a possibilidade de rachaduras, os cortes para reparo devem ser circulares ou ovais, preferencialmente. O material utilizado para a realização do reparo deve ser semelhante ao utilizado no revestimento danificado, com maior espessura.

Os tamanhos dos rebites utilizados nos reparos devem seguir o tamanho dos rebites da próxima fileira do revestimento, internamente, no caso da asa, ou à frente, se for na fuselagem. Outro padrão de seleção do tamanho de rebites é multiplicar por três a espessura do revestimento e adotar rebites de tamanho logo acima desse valor.

Os reparos devem ser realizados utilizando o mínimo de chapa e rebite possível, no intuito de manter o peso original, garantindo o balanceamento da aeronave. Em alguns casos, ajustes nos compensadores são necessários. O manual de reparos estruturais da aeronave, fornecido pelo fabricante, detalha todos os critérios de escolha de material e procedimentos que devem ser adotados nos reparos de revestimento, é muito importante que o mecânico consulte sempre o manual antes de realizar qualquer reparo na aeronave. Serão apresentados alguns exemplos de reparos de revestimento comuns utilizados em aeronaves.

Com efeito, pequenos danos no revestimento das aeronaves são reparados aplicando remendos na parte interna da chapa afetada, veja-se a Figura 6.B. O buraco feito pela remoção da área danificada deverá ser preenchido por um tampão para não prejudicar a aerodinâmica da aeronave,

como mostram as Figuras 6.A e 6.C. O tamanho e formato do reparo são determinados pelo tamanho do dano e pelo número de rebites necessários.

Ainda em consonância com o IAC (2002c), quando possível, o recomendado é realizar reparos com boa concentração de rebites na área crítica de estresses para eliminar concentrações perigosas.

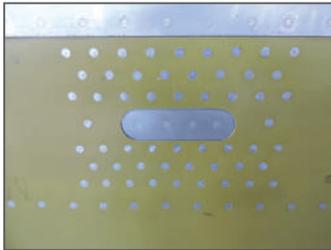


Figura 6.A - Reparo de revestimento em formato quadrado permanente  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes



Figura 6.B - Remendo retangular na parte interna do reparo  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes

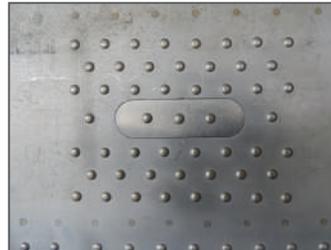


Figura 6.C - Reparo de revestimento em formato quadrado temporário  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes

Outro tipo de reparo é em forma de círculo, apresentado nas Figuras 7.A, B e C, muito utilizado em pequenos furos de superfícies aerodinâmicas. Conforme o IAC (2002c), é um reparo ideal para lugares onde não é conhecida a direção de *stress* ou onde se sabe que ela muda constantemente. Seu formato circular permite distribuir, uniformemente, as linhas de rebites, garantindo resistência igual em todas as direções de esforços.

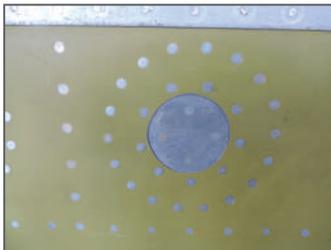


Figura 7.A - Reparo de revestimento em formato circular permanente  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes



Figura 7.B - Remendo circular na parte interna da aeronave  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes



Figura 7.C - Reparo de revestimento em formato circular temporário  
Fonte: Foto do autor/ © Marcelo Giuliano Fernandes

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que os revestimentos têxteis, utilizados nas aeronaves de menor desempenho do início da história da aviação, foram substituídos pelas ligas metálicas. As propriedades físicas das ligas permitiram expandir enormemente as possibilidades de projeto. Entre as ligas metálicas, a que apresenta melhor relação peso/resistência é o alumínio, cuja variedade de ligas possibilita cumprir inúmeras funções no projeto estrutural e de revestimento de aeronaves.

Os critérios de inspeção devem seguir padrões internacionais baseados em normas técnicas. Os reparos em aeronaves devem ser realizados conforme manual de reparos estruturais fornecido pelo fabricante da aeronave.



# Capítulo 2

## Revestimento de material composto

Os materiais que possuem, no mínimo, dois elementos em sua composição, com propriedades físicas e químicas distintas, não solúveis entre si, são denominados compósitos ou materiais compostos.

Os componentes mantêm suas características separadamente; quando misturados, formam materiais com propriedades completamente diferentes dos componentes individuais. O objetivo é conseguir materiais com características físicas e químicas muito superiores. Um dos produtos é denominado matriz, e o outro, fase de reforço.

A matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios, pode ter adições na sua composição.

Os materiais reforços são os que melhoram as propriedades mecânicas e químicas do material compósito.

Os materiais compostos, principalmente os do tipo poliméricos, são intensamente empregados nos setores de alta tecnologia, como o aeronáutico e o aeroespacial. Atualmente, existem muitas pesquisas sendo realizadas no Brasil e no mundo no intuito de desenvolver materiais com propriedades ainda melhores, grande parte impulsionada pelo ramo aeronáutico.

### 2.1 O material composto na aviação

No capítulo, viu-se que a madeira e as ligas metálicas predominaram como materiais construtivos nas aeronaves do século XX. No período da 2ª Guerra Mundial, a indústria de aviação militar conseguiu muitos avanços no desenvolvimento de materiais de revestimentos aeronáuticos, para suprir a falta de ligas metálicas da época. Nesse contexto:

Um material conhecido como Gordon *Aerolite*, fabricado com fibras não retorcidas de linho e resina fenólica foi desenvolvido no final da década de 1930 pelo Dr. Norman de Bruyne no Centro de Pesquisa de Cambridge na Inglaterra, para aplicação aeronáutica. Este material foi utilizado no revestimento da fuselagem do caça de combate *Spitfire*, sendo o seu peso igual ao da fuselagem revestida com alumínio e com a mesma resistência (OLIVEIRA, 2007, p. 2).

Com o final da guerra, as ligas de alumínio voltaram a ficar disponíveis para os fabricantes de aeronaves, sendo o principal material utilizado no revestimento das aeronaves até o final do século. No entanto, o material composto continuou fazendo parte da constituição das aeronaves. Ao longo do tempo, os compósitos foram aperfeiçoados e aumentaram muito sua participação nos projetos estruturais e de revestimento aeronáutico. Segundo Rezende (2007):

A constante necessidade de redução de peso em aeronaves e estruturas espaciais tem continuamente impulsionado a tecnologia de processamento de compósitos estruturais. Este aumento de uso está associado à redução de peso, com maiores valores de resistências à fadiga e à corrosão, em relação ao alumínio, facilidade na obtenção de peças com geometrias complexas e flexibilidade de projeto na concepção de estruturas de forma integrada, reduzindo, assim, o número de componentes aeroembarcados (REZENDE, 2007, p. E4).

Nessa linha, Rezende (2007, p. E4) argumenta, ainda, que, desde o início da utilização das fibras de vidro, aramida e carbono, a participação dos compósitos na constituição das aeronaves vem aumentando, chegando a 50% do peso das aeronaves atualmente.

## **2.2 Fibras de vidro, de aramida e de carbono**

As propriedades dos materiais compósitos poliméricos dependem das propriedades dos seus materiais constituintes, a fibra (reforço) e a matriz aglutinante (resina). A rigidez desse sistema pode ser aumentada pela adição de materiais de enchimento como núcleos de colmeia e espumas. As principais vantagens em relação aos materiais tradicionais são:

- menor peso em relação à madeira e às ligas de alumínio em virtude de maior rigidez e resistência específicas;
- as propriedades mecânicas do material podem ser aumentadas na direção do maior esforço da peça;
- redução do número de peças em um componente do avião em relação ao caso desse componente ser fabricado com material metálico;
- ausência de corrosão em caso de ambientes com grande umidade ou com maresia;
- excelente resistência à fadiga;
- estabilidade dimensional.

### 2.2.1 Resinas

A matriz polimérica pode ser confeccionada de resinas do tipo termorrígidas, epóxi, poliéster, poliuretano e silicone, ou do tipo termoplásticas, polietileno, poliestireno ou metacrilato de polimetila. As resinas têm a finalidade de formar uma liga com os reforços, visando a:

- transmitir os esforços entre os filamentos;
- proteger os filamentos de abrasão mútua, danos e meios de degradação;
- atuar como meio de transferência de carga, para filamentos descontínuos e quebrados.

As principais resinas utilizadas na confecção e no reparo de revestimentos de aeronave são:

#### a) Resina epóxi

São resinas termofixas em forma de líquidos viscosos ou sólidos quebradiços. Têm excepcional resistência química e elevada resistência a tensões.

Este é o tipo de resina mais usada na fabricação de peças para aviões. É utilizada, principalmente, em peças que necessitam de alta resistência mecânica. Ela é um dos materiais adesivos mais resistentes que existe. Assim como a resina poliéster, ela também endurece por meio de uma reação química, que tem início quando se mistura a resina com o endurecedor.

A resina epóxi também pode receber cargas. As mais usadas em aviação são as microesferas ocas de vidro (*glass bubbles*) e talco industrial. Esse tipo de resina é de preparação mais simples que a resina poliéster, pois necessita apenas de um agente de cura, o endurecedor.

#### b) Resinas poliéster

As resinas poliésteres têm como principais atrativos o baixo custo e a facilidade de manuseio e processamento. O fato de essas resinas serem as mais usadas pela indústria dos plásticos reforçados pode ser atribuído à sua grande versatilidade, à considerável gama de propriedades específicas e a características de processamento adaptáveis a várias condições. Os poliésteres podem ser formulados para atender a várias exigências de uso e processamento.

Essas resinas são fornecidas no estado líquido viscoso e, após adição de substâncias especiais (catalisadores e aceleradores), transformam-se em sólidos à temperatura ambiente, sem requerer pressões externas, moldes ou equipamentos caros. Essa reação de transformação de líquido a sólido é conhecida como polimerização ou cura. O tempo transcorrido entre a adição desses agentes promotores de polimerização e o início da gelatinização é conhecido como tempo de gel ou tempo de gelatinização. Atingido o estágio de gelatinização, a cura do poliéster prossegue com grande desenvolvimento, com liberação de calor (reação exotérmica). Após o resfriamento, o poliéster apresenta as características físicas de sólido rígido, que não pode mais ser transformado em líquido. A reação de cura dos poliésteres é irreversível, uma vez transformados de líquido a sólido não podem mais ser reprocessados de sólido a líquido.

As fibras são incorporadas antes que se dê o tempo de gel, ou seja, enquanto a resina permanecer líquida, após a adição de catalisador e acelerador. Essas fibras, também, devem ser completamente embebidas e molhadas pela resina ainda líquida.

## 2.2.2 Reforços

Os reforços nos laminados são responsáveis pela resistência, sendo eles, geralmente, usados em forma de fibras. Os reforços utilizados para os plásticos reforçados em aviação são as fibras de vidro, de carbono e de aramida.

### a) Fibra de vidro

Segundo Kemerich *et al.* (2013), as fibras de vidro já eram utilizadas na Síria, na Grécia e no Egito por volta de 250 a.C. Comercialmente, ela começou a ser desenvolvida no decorrer da 2ª Guerra Mundial. Na atualidade, elas são utilizadas em muitos produtos, principalmente no ramo da aviação. As fibras são obtidas a partir de uma mistura de óxidos de (Si), (Al), (B), (Ca) e (Mg), usados como reforços para termoplásticos pelo seu baixo custo.

A fibra é composta por filamentos muito finos de vidro, agregados por resinas. Existem muitos grupos de vidros, por exemplo, a sílica, o oxinitrito e o fosfato, este último o mais importante para uso em compósitos à areia. Quanto aos tipos básicos de fibra de vidro, o (E) (*e-glass*) é mais utilizado. A classe (E) é considerada como padrão em razão de seu excelente desempenho funcional, apresentando boa resistência mecânica e elétrica, além de outras características físicas. É utilizada a altas temperaturas e em aplicações estruturais, as quais requerem resistência elétrica.

Outra classe importante é a (S) (*s-glass, strength*). É baseada no sistema dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ). Essa fibra tem uma alta resistência em relação a fibras do tipo (E). A classe (S) tem grande resistência ao ataque ácido, é usada principalmente na forma de véus de superfície, sendo aplicada nas camadas internas de tanques e tubulações. Em aviões, as fibras de vidro são aplicadas na construção de diversas carenagens, radomes, dutos e canaletas, sendo sua densidade de aproximadamente  $2550 \text{ kg/m}^3$  (maior que as das outras fibras).

### b) Fibra de carbono

Segundo Pinheiro (2014, p. 10), a fibra de carbono é obtida “pela oxidação, carbonização e grafitação, controlada de precursores orgânicos ricos em carbono na forma de fibra”. O precursor que produz uma fibra de carbono com melhores propriedades é a poliacrilonitrila, a fibra pode ser feita também de piche ou celulose. Depois de formada, ela recebe tratamento de superfície, para favorecer a adesão da matriz, e tratamento químico, para a proteção ao manuseio.

A fibra de carbono possui maior rigidez específica de todas as fibras comerciais, grande resistência à tração, compressão e alta resistência à corrosão. As desvantagens das fibras de carbono são: maior peso comparado à aramida e necessidade de ferramentas especiais para corte e furação, pouca resistência ao impacto e alto custo. A densidade da fibra de carbono é aproximadamente  $1820 \text{ kg/m}^3$ .



**Radomes:** parte frontal no nariz da aeronave; em seu interior está instalada a antena do radar.

**Precursores:** é um composto que participa de uma reação química produzindo outro composto.

c) Fibra de aramida

A fibra de aramida é utilizada em peças que necessitam, principalmente, de resistência à tração e ao impacto, sendo empregada, inclusive, na fabricação de colete resistente a projétil.

A resistência específica à tração da fibra aramida é o dobro do vidro E, e dez vezes maior que à do alumínio. Entretanto, apresenta baixos valores de resistência à compressão e possui difícil usinabilidade, necessitando de ferramentas com formatos especiais para a sua usinagem. A fibra de aramida apresenta a densidade mais baixa dentre os três tipos de fibra, em torno de  $1440 \text{ kg/m}^3$ .

d) Formas de reforços

A resistência do material composto não depende apenas do tipo de reforço (vidro, carbono ou fibra de aramida), pois um plástico reforçado é anisotrópico, ou seja, suas propriedades variam de acordo com a direção em que os esforços são aplicados, sendo fundamental a orientação das fibras. As principais formas de fibras são:

- reforços unidirecionais - todas as fibras apresentam-se na mesma direção. Essa forma de reforço, também denominada *tape*, é usada em aplicações em que se tenha esforço em apenas uma direção.

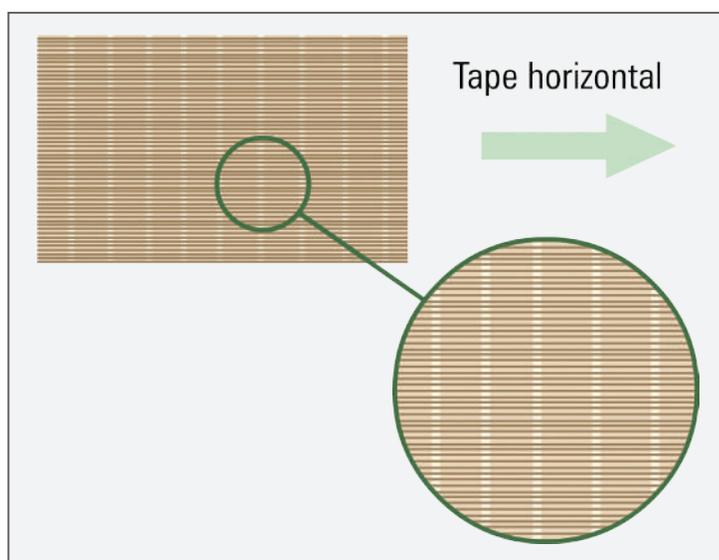


Figura 8 - Fibra unidimensional



**Urdidura:** é a direção dos fios ao longo do comprimento do tecido.

**Piezelétricos:** o efeito é entendido como a interação eletromecânica linear entre a força mecânica e o estado elétrico em materiais cristalinos.

- reforços bidirecionais - são formulados de fibras tecidas, permitem a aplicação de esforços na direção da trama e da **urdidura**, mas um laminado com diversas camadas de tecido com orientações variadas torna-se quase isotrópico.

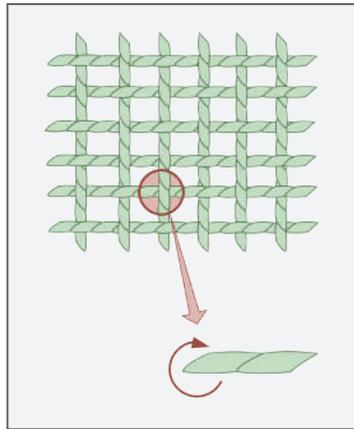


Figura 9.A - Fibra bidimensional de tecido torcido

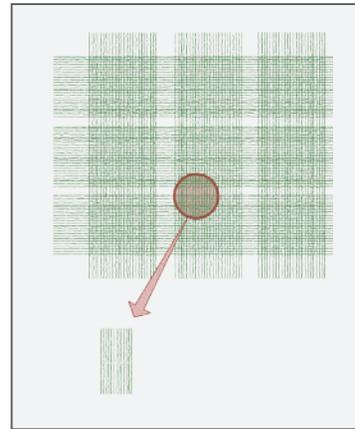


Figura 9.B - Fibra bidimensional de tecido não torcido

- reforços aleatórios - a fibra picada pode ser encontrada em manta, previamente cortada e agregada na forma de um lençol, ou várias mechas enroladas sem torção em bobinas de formato cilíndrico, usadas para laminação à pistola. Essa forma de reforço não é utilizada em revestimentos de aeronaves. Devido ao seu baixo custo em relação aos tecidos, encontra grande aplicação na fabricação de moldes, carroceria e carenagens de automóveis e outras peças de uso geral, desde que não haja responsabilidade estrutural.

## 2.3 Inspeção em revestimentos de material composto

Assim como as ligas metálicas, os revestimentos de compósitos devem ser inspecionados constantemente, a fim de detectar qualquer anomalia. A segurança é um fator primordial na aviação. O manual técnico da aeronave é documento que fornece todos os procedimentos quanto à inspeção, a limites de tolerância e a reparos de materiais compostos.

Alguns métodos de ensaio são comuns às ligas metálicas, enquanto outros são desenvolvidos ou adaptados para atender às características dos compósitos. O primeiro, e mais simples, método de inspeção é o visual, no qual o mecânico deve observar se o revestimento apresenta qualquer anomalia.

Ensaio não destrutivo são empregados para inspecionar, qualificar e avaliar a integridade dos revestimentos de aeronaves, sem modificá-lo.

[...] Os métodos de inspeção não destrutiva para materiais compostos variam entre uma simples inspeção visual até técnicas [...] em fibras ópticas e em transdutores piezelétricos. Muitas destas técnicas foram desenvolvidas para detecção de falhas em metais e mais recentemente, com algumas modificações, vêm sendo aplicadas a materiais compostos (TSURUTA, 2008, p. 33).

A maioria dos materiais compostos tem estrutura laminada, possível de conduzir danos como descolamentos. Assim, os ensaios não destrutivos hoje utilizados são capazes de diferenciar as falhas da arquitetura do material compósito. Segundo Miranda (2011, p. 45-90), os principais ensaios utilizados em materiais compostos são: ultrassônico, raios-X, termografia infravermelha e shearografia.

Termografia infravermelha é o mapeamento local de temperatura de uma estrutura de material composto. A variação da temperatura nas regiões analisadas indica pontos de possíveis falhas. Isso porque a condutividade térmica e a densidade dos materiais dependem fortemente de sua integridade.

Shearografia é uma técnica de mensuração de danos, que utiliza luz *laser* e que realiza a interpretação baseada em processamento de dados digitais. O método consiste na detecção de zonas deformadas na vizinhança de áreas de forte concentração de tensões, originadas pela presença de fissuras, quando sujeitas a esforços induzidos (vácuo, térmicos ou vibração).

## 2.4 Reparo em revestimentos de material composto

Considera-se reparo a ação de modificar ou recompor a geometria ou linha de sistema de uma peça. Os reparos devem ser executados por operadores qualificados. Os procedimentos para reparar carenagens de material composto são muitos, toda intervenção realizada pelo técnico deve estar de acordo com o manual de manutenção da aeronave.

Alguns procedimentos são comuns a todos os manuais, a grande maioria de reparos em revestimentos de aeronaves é realizada por impregnação manual e cura à temperatura ambiente. Para acelerar a cura, podem ser utilizados aquecedores, estufas ou lâmpadas de infravermelho, desde que não ultrapasse a temperatura determinada em norma técnica.

Antes de realizar qualquer reparo, o dano deve ser avaliado e classificado de acordo com os limites de tolerância. As principais avarias são:

- avarias na camada externa, inclusive atingindo a primeira camada de tecido de fibra, podem ser reparadas conforme as instruções contidas no manual de manutenção, independente da extensão da avaria;
- avarias de maior profundidade, inclusive perfurações, podem ser reparadas conforme as instruções do manual de manutenção, desde que a área avariada não ultrapasse 10% da área total ou da área de cada face da peça;



**Mossas:** é um afundamento no revestimento de uma aeronave.

- pequenas **mossas** e arranhões superficiais, são consideradas avarias desprezíveis em peças de plástico reforçado com tecido de fibra, e não necessitam ser reparadas, desde que não tenham atingido a primeira camada de tecido e estejam afastadas dos furos de rebites ou parafusos.

Revestimentos e peças com cuidados ou procedimentos especiais devem ser reparados após consulta ao fabricante.

O local de trabalho deve ser limpo, livre de poeira, óleo, umidade, fuligem e de outros materiais estranhos. É recomendada a utilização de equipamento de proteção individual devido à liberação de gases tóxicos pela resina. Toda pintura deve ser removida por ação mecânica, a remoção química ataca o revestimento, causando danos. Todas as camadas de material avariado devem ser removidas, o número de camadas removidas depende da profundidade do dano, podendo ser realizado por escalonamento ou lixamento.

O tecido utilizado para reparo deve ser do mesmo tipo do material original. A orientação das camadas de reposição deve ser coerente com as das camadas originais. Deve-se aplicar resina sobre a superfície escalonada e realizar a laminação da primeira camada na posição, saturando com a resina. O procedimento deve ser repetido para as demais camadas. O tecido da última camada deve ser de menor dimensão para facilitar o acabamento. Após o tempo de cura, a superfície deve ser lixada levemente para eliminar ressaltos; se necessário, utilizar uma resina com carga (microesferas de vidro) para um bom acabamento. Esse é apenas um exemplo de procedimento de reparo de revestimento de material composto utilizado na aviação. Existe uma infinidade de tipos de materiais e procedimentos de reparo, destacando entre eles os revestimentos com núcleos de colmeias em forma de sanduíche (*honeycomb*). O detalhamento dos procedimentos de reparos pode ser consultado nos manuais de manutenção do modelo de aeronave que necessita de reparo.

## Resumindo

Os compósitos são materiais com excelentes propriedades físicas e químicas, os quais possuem baixo peso comparado às ligas metálicas. Atualmente, grande parte do revestimento das aeronaves é fabricada com materiais compostos, a tendência é aumentar ainda mais a participação na constituição final das aeronaves nos próximos anos.

As principais resinas utilizadas na aviação são a epóxi e a poliéster, reforçadas com fibras de vidro, aramida e carbono. O formato da fibra influencia nas características finais do material.

O primeiro método de inspeção de revestimentos de material composto é o visual, sendo empregados também ensaios não destrutivos específicos para compósitos. Existem inúmeros procedimentos de reparos, toda metodologia de execução é descrita nos manuais de manutenção das aeronaves, o mecânico deve estar qualificado para realizar os reparos e, constantemente, buscar atualização de seu conhecimento técnico.

# Capítulo 3

## Revestimentos de tecidos

Revestir de tecidos ou entelar uma aeronave significa recobrir a fuselagem e superfícies de comando com tecidos. As aeronaves revestidas com tecidos possuem pouco peso, mas, em contrapartida, menor durabilidade e grande inflamabilidade.

Os revestimentos de tecidos foram muito utilizados em pequenas aeronaves nas primeiras décadas da aviação, atualmente as ligas metálicas e os materiais compósitos predominam na indústria aeroespacial. O estudo dos revestimentos têxteis continua sendo importante, tendo em vista a necessidade de realizar manutenção nos planadores, aviões de construção caseira e aeronaves esportivas leves, assim como algumas aeronaves utilitárias, que ainda são produzidas com revestimento de tecido.

### 3.1 Tecidos para uso em revestimentos aeronáuticos

Os tecidos utilizados para entelagem podem ser de origem orgânica, destacam-se o algodão e o linho, ou fibras sintéticas termorretráteis, como a poliamida (*nylon*), a fibra de acrílico (*orlon*) e a fibra de poliéster (*dracon*).

No desenvolvimento de um projeto de revestimento de aeronaves com tecidos, a resistência dos materiais é definida pelo limite de velocidade da aeronave. Quanto maior a velocidade da aeronave, maior será a pressão nos revestimentos, principalmente nas asas, exigindo tecidos, fitas e cordéis com capacidade de suportar a solicitação de esforços. Todos os materiais envolvidos no processo de entelagem de aeronaves devem ser de ótima qualidade, homologados por órgão responsável.

Os primeiros tecidos utilizados para recobrir as aeronaves foram os orgânicos, linhos e algodão, a desvantagem era a tendência a ceder, deixando expostas as estruturas. Os fabricantes de aeronaves da época começaram a utilizar óleos e vernizes para cobrir os tecidos, melhorando a proteção. O primeiro produto desenvolvido para esse fim foi uma mistura de celulose dissolvida em ácido nítrico, conhecida como dope de nitrato. Suas vantagens eram boa aderência, proteção do tecido, aumentando sua durabilidade, e formação de um revestimento duro e liso depois de seco, favorecendo a aerodinâmica. A grande desvantagem do dope de nitrato era a facilidade de se inflamar.

O segundo produto desenvolvido para tratar os revestimentos de tecido foi uma mistura de celulose dissolvida em ácido butírico, chamada de dope butirato. Ela reduzia a inflamabilidade do tecido, porém não tinha a mesma aderência do dope de nitrato. Futuramente, adotou-se uma mistura de dope de nitrato e butirato, como tratamento padrão de tecidos de fibras orgânicas.



**Inflamabilidade:** é a facilidade com que algo queima ou entra em ignição.

**Butírico:** composto orgânico pertencente ao grupo dos ácidos.

Outro problema que afetava as aeronaves enteladas era a falta de durabilidade. A constante exposição do tecido à radiação solar degradava rapidamente as fibras, resultando em uma vida útil muito curta. Realizaram-se algumas tentativas de pintar o revestimento ou mesmo de adicionar pigmentos de alumínio no dope para aumentar a proteção contra os raios ultravioletas. Os resultados não foram satisfatórios na época, principalmente pela falta de aderência da tinta ao revestimento.

Na década de 50, o problema de durabilidade dos revestimentos têxteis foi resolvido com a introdução da fibra sintética de poliéster como revestimento de aeronave. Inicialmente, os tratamentos com dope não eram completamente compatíveis com a fibra de poliéster, com o passar do tempo, aditivos foram adicionados ao produto, melhorando suas propriedades. O tecido de poliéster, devidamente tratado, tem excelente durabilidade. Nos Estados Unidos, que possui uma indústria aeronáutica desenvolvida, não se utiliza mais linho e algodão como revestimento, apenas o poliéster é homologado como tecido de revestimento aeronáutico.

Conforme o Instituto de Aviação Civil (IAC), algumas definições são necessárias para prosseguir às discussões sobre revestimentos têxteis. São as seguintes:

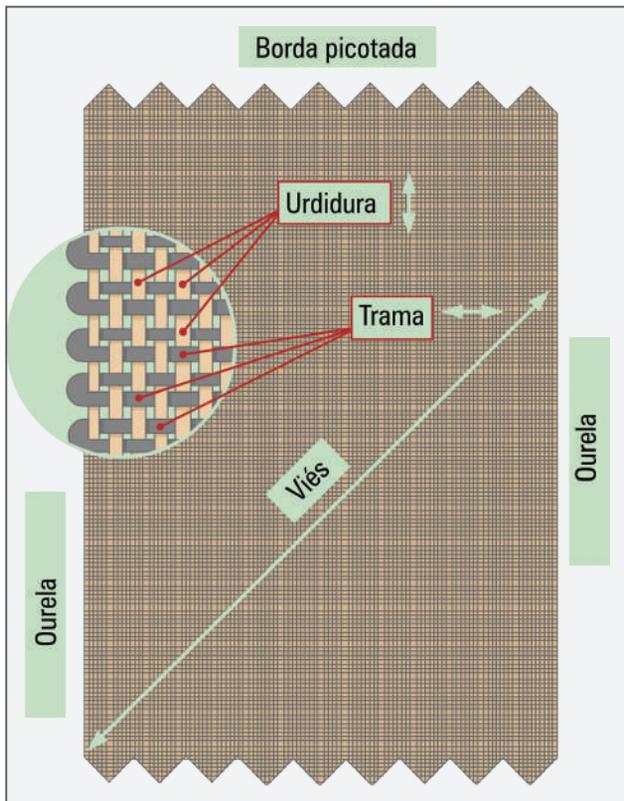


Figura 10 - Termos utilizados para descrever detalhes do tecido

1. Urdidura ou urdimento (*WARP*) - A direção dos fios ao longo do comprimento do tecido.

2. Pontas do urdimento (*WARP END*) - Ponta dos fios ao longo do comprimento.

3. Trama - A direção do fio através da largura do tecido.

[...]

4. Prega - Número de jardas feitas com linha.

5. Viés - Um corte feito diagonalmente na urdidura ou na trama.

6. Acetinar - Processo de amaciar o tecido através de tratamento térmico.

7. Mercerizar - Processo de banho do fio de algodão ou tecido, em solução quente de soda-caústica. Tratamento submetido ao tecido, para encolhimento do material e aquisição de maior resistência e brilho.

8. Engomar - Ato de colocar goma no tecido e remover dobras.

9. Picotar - Arremate feito no bordo do tecido, por

máquina ou tesoura, numa série contínua de "V".

10. Ourela - A borda do tecido para evitar desfiamento (BRASIL, 2002d, p. 1).

## 3.2 Miscelânea de materiais têxteis

Segundo o Instituto de Aviação Civil (2002d, p. 4-5), para realizar a entelagem de uma aeronave, além dos tecidos, será necessário utilizar materiais complementares, desenvolvidos para fixar o revestimento na estrutura e suportar a solicitação de esforços. Para garantir a segurança, todos os materiais devem ser homologados pelos fabricantes. Na sequência, serão apresentados os principais insumos utilizados para esse fim.

- Fita de superfície - é uma fita desenvolvida para dar acabamento nas juntas de tecidos. Ela é aplicada após a fixação do revestimento sobre as **nervuras**, junções, costuras, remendos e bordas. A fita pode ser encontrada com bordas serrilhadas, picotadas ou retas. Ela é fabricada com algodão, linho ou dracon em variadas larguras.
- Fitas de reforço - elas são fabricadas com os mesmos materiais das fitas de acabamento. A função desse tipo de fita é prevenir rasgos. É fixada nas nervuras antes do tecido e sob todos os cordéis para evitar rasgos. A fita deve ter largura pouco superior à estrutura que está sendo fixada.
- Fita antidesgaste - é uma fita de tecido autoadesiva aplicada após a aeronave ser limpa, inspecionada e preparada, mas antes do tecido ser instalado. Sua função é proteger bordas e saliências para evitar que o tecido rasgue.
- Linha de costura - a linha é feita por meio de torção para a direita ou para a esquerda, que é identificada por vários termos: linha de máquina, linha de máquina torcida para a esquerda ou linha de máquina torcida para a direita.
- Cordel de amarração - o cordel de amarração de vigas e nervuras é usado para fixar os tecidos nas vigas. Sua função é transportar os esforços do tecido para a estrutura da aeronave. Ele deve ter boa resistência à tração, podendo ser encontrado em seções planas ou redondas. O do tipo redondo é mais fácil de utilizar enquanto o plano proporciona um acabamento mais liso sobre as vigas.
- Prendedores especiais de tecidos - métodos diferentes são empregados para fixar os revestimentos nas vigas e na empenagem. Os materiais mais utilizados para esse fim são: fitas, parafusos, arruelas, grampos de arame e rebites, para completar a amarração do tecido às vigas, recomenda-se utilizar cordéis. Furos desgastados podem ser aumentados e furados novamente de acordo com as instruções do fabricante. Todos os prendedores devem ser homologados por órgão competente. Após fixar o revestimento, utiliza-se fita de acabamento cobrindo todos os prendedores e amarras.
- Ilhoses - são utilizados para reforçar furos de dreno no tecido de aeronaves. São normalmente feitos de alumínio ou plástico, e colados ou aplicados com dope na superfície do tecido, uma vez presos, faz-se um furo no centro do ilhós.
- **Anéis** de inspeção - são anéis colocados nas aeronaves para facilitar a inspeção. O objetivo é proporcionar uma borda estável ao redor da área do tecido, que poderá ser cortada para permitir a visualização das estruturas sob ela. Os anéis podem ser de plástico ou alumínio. A localização dos anéis de inspeção é determinada pelo fabricante. Anéis adicionais podem ser instalados para permitir acesso a áreas importantes que não tenham sido equipadas originalmente com um anel de inspeção.



**Nervuras:** são membros estruturais responsáveis pela forma aerodinâmica da asa de uma aeronave.

**Anéis:** parte da estrutura da aeronave que dá forma e mantém o contorno aerodinâmico.

### 3.3 Aplicação do revestimento de tecido

Neste tópico, apresenta-se uma visão geral da sequência de aplicação de revestimentos têxteis. Para informações detalhadas, é necessário consultar o manual de manutenção da aeronave, fornecido pelo fabricante. O método utilizado para fixar o revestimento, a estrutura, deve ser idêntico ao utilizado originalmente pelo fabricante, isso para garantir a resistência e a confiabilidade.

- Método do cobertor - nesse método são cortadas múltiplas seções planas de tecido e fixadas na aeronave. O dimensionamento dos cobertores é feito em função das dimensões das partes da aeronave. Para superfícies pequenas, como estabilizadores e superfícies de comando, recomenda-se utilizar um único cobertor. Para áreas maiores, é necessário utilizar várias peças de tecido. Todo procedimento de fixação deve estar de acordo com as normas técnicas.



Figura 11 - Aplicação do revestimento pelo método do cobertor

- Método do envelope - o tecido é cortado e costurado na forma de envelopes que revestem as partes e a fuselagem. Esse método é mais rápido porque poupa tempo na preparação antecipada do tecido. Os padrões são cortados e costurados de forma que todas as superfícies principais possam ser cobertas em um único envelope de medidas justas. As costuras do envelope são colocadas sobre a estrutura da aeronave, em lugares discretos, favorecendo o acabamento final.



Figura 12 - Aplicação do revestimento pelo método do envelope

- Aplicação do revestimento - a estrutura da aeronave deve estar completamente limpa e inspecionada. Recomenda-se iniciar a aplicação do revestimento pelas partes menores, tais como a empenagem e as superfícies de controle. Erros nessas partes podem ser corrigidos e, caso ocorram, os custos são menores.

O tecido deverá ser depositado sobre as estruturas e costurado. As costuras do tecido devem ser resistentes, elásticas, duráveis e ter boa aparência. Sempre que possível, as costuras devem ser posicionadas na estrutura das aeronaves. As bordas do tecido devem ser sobrepostas, lembrando que as instruções do fabricante devem ser seguidas adequadamente.

Os revestimentos deverão ser colados em todos os pontos de contato. É possível encontrar adesivos com fórmulas especiais para entelagem, que substituem o dope de nitrato.

O adesivo e todos os outros materiais de cobertura subsequentes devem ser misturados na temperatura em que serão trabalhados.

O primeiro passo é aplicar duas camadas de adesivo em todos os pontos de contato com o tecido. Depois, aguardar o tempo de pega do adesivo, então o tecido é espalhado sobre a superfície e preso na posição correta. Ele não deve ser muito puxado, mas, também, não pode ficar enrugado, pode-se utilizar braçadeiras e prendedores para posicionar corretamente o tecido em todas as áreas antes de passar pelo processo final de aderência.

Depois de colado na estrutura, o tecido pode ser esticado por **termoencolhimento**, é o processo em se que utiliza um ferro doméstico para passar o tecido revestido. É importante que o tecido seja encolhido por igual.



**Termoencolhimento:** é o encolhimento do material utilizando energia térmica.

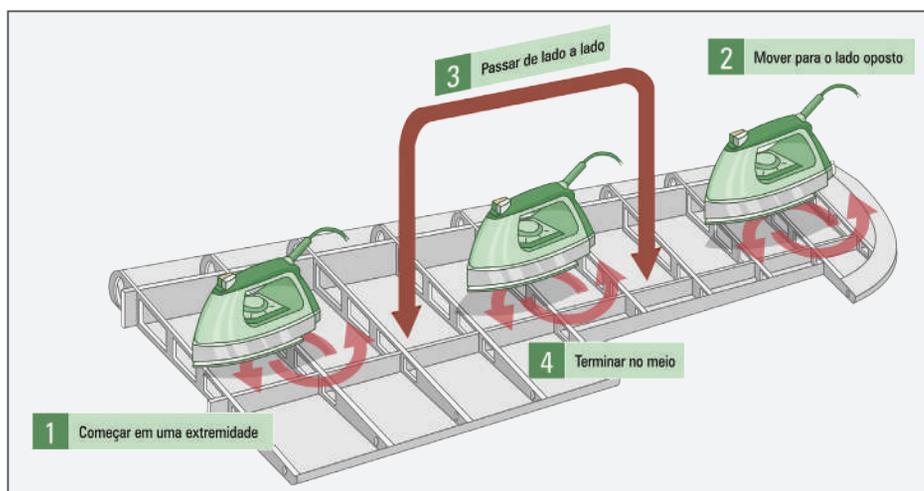


Figura 13 - Processo de termoencolhimento

Após o tecido ser tensionado, ele deve ser fixado nas asas com mais elementos, como: parafusos, rebites, cliques e amarrações. As forças causadas pelo fluxo de ar sobre as asas são grandes demais para que a cola sozinha mantenha o tecido no lugar. Deve-se seguir a metodologia do manual técnico para fazer a amarração das vigas da asa.

Sempre tomar cuidado para identificar e eliminar quaisquer arestas que possam provocar desgaste do tecido.

Fitas de reforço da mesma largura da viga devem ser instaladas antes de qualquer prendedor. Essa fita adesiva evita que o tecido se rasgue.

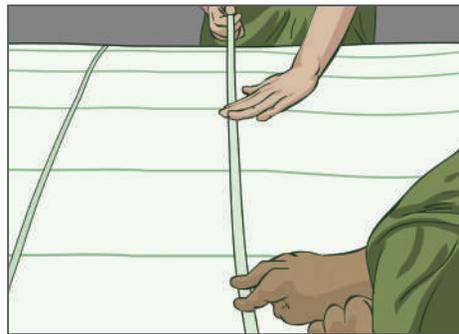


Figura 14 - Aplicação de fita de reforço

As vigas devem ser amarradas com cordéis, utilizando agulha longa e curva para guiar o cordel para dentro e para fora dos furos e através da viga. Os nós são feitos para não deslizarem sob as forças e podem ser feitos em série em um único fio de cordel. Depois que as vigas forem amarradas e o revestimento estiver completamente preso, deve-se aplicar anéis de inspeção, ilhoses de dreno, emendas de reforço e fitas de acabamento.

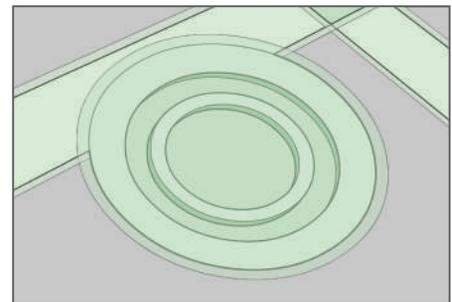


Figura 15 - Área delimitada para inspeções futuras

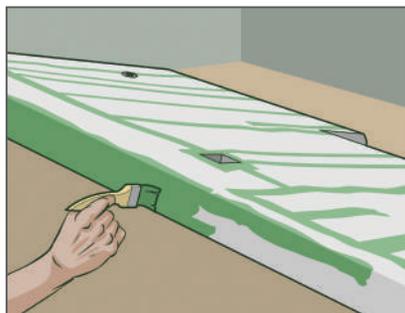


Figura 16 - Aplicação de impermeabilizante no tecido

Finalizado o emprego da fita de acabamento, é aplicado um impermeabilizante. A função é saturar e envolver as fibras do tecido, formando uma barreira que impede o ataque de água e outros contaminantes, cumpre a finalidade também de auxiliar na aderência das próximas camadas.



**Primer:** camada de tinta de fundo.

Na sequência, aplicam-se produtos com pigmentos de alumínio para proteger o tecido do ataque dos raios ultravioleta. Outra opção é aplicar diretamente no tecido um *primer*, após a fita de acabamento. Os *primers* modernos são impermeabilizantes e contêm produtos químicos que bloqueiam os raios UV.

Por fim, emprega-se uma última camada de cobertura com vistas a aumentar a proteção e a embelezar a aeronave.

### 3.4 Inspeção de revestimento de tecido

Para realizar uma inspeção no revestimento de tecido de uma aeronave, o mecânico deve empregar metodologia homologada. Algumas técnicas são utilizadas por vários fabricantes, um bom exemplo é o teste de tira de tecido. Esse teste consiste em retirar uma tira, de tamanho predeterminado, da parte mais agredida pelo sol, remover todas as camadas de proteção e realizar um teste de limite de rompimento. Então, comparar com padrão para avaliar se o revestimento mantém a resistência mínima recomendada. O problema desse teste é que ele danifica uma parte do revestimento da aeronave que deve ser reparada, causando prejuízo de tempo e dinheiro ao proprietário. Alguns testes podem ser realizados sem danificar o revestimento, o principal é a inspeção visual.

O procedimento de inspeção visual consiste em observar se as coberturas dos tecidos estão consistentes, não têm rachaduras, estão flexíveis e não estão quebradiças. O profissional deve verificar, principalmente, áreas muito expostas ao sol. Outro teste utilizado é o que determina se o revestimento impede a passagem de raios solares. O mecânico deve abrir uma janela de inspeção e observar se o revestimento impede a passagem da luz solar, caso não impeça, é um indicativo que o revestimento está degradado.

Existem testes que utilizam equipamentos mecânicos para causar esforços no tecido, como socos ou furos, analisando a deformação ou mesmo a dimensão do furo; comparando com o padrão normatizado, é possível avaliar a integralidade do tecido, em alguns países esses testes não são homologados.

### 3.5 Reparo de revestimento de tecido

Todas as aeronaves revestidas de tecidos são certificadas pelo fabricante e pelos órgãos de aviação competentes, da mesma forma, todo material utilizado e técnicas de reparo devem ser certificados e os procedimentos de reparo devem ser realizados conforme manual de manutenção do fabricante. Tudo para garantir a confiabilidade do revestimento e, conseqüentemente, a total segurança da aeronave.

O que determina o tipo de reparo é a extensão do dano, para pequenos danos, remendos são possíveis, para grandes danos, recomenda-se a substituição de todo o painel de revestimento. A sobreposição de tecido depende do tamanho do dano, podendo ou não utilizar fita de

acabamento. As técnicas de reparos em tecidos de algodão utilizam costuras, enquanto quase todas as técnicas em tecidos de poliéster são realizadas sem costuras. Em concordância com o IAC (2002d):

Danos em revestimentos, onde as bordas do rasgo estejam esfarrapadas, ou onde um pedaço esteja faltando, são reparados costurando-se um remendo de tecido por dentro da área danificada, e colando com dope um remendo superficial sobre o remendo costurado (BRASIL, 2002d, p. 17).

As técnicas de reparo sem costura em tecido de poliéster utilizam colas especiais para esse fim, por esse motivo são mais fáceis de serem empregadas. Para qualquer método, a resistência do tecido é garantida.

A área de tecido vizinha ao dano deve ser preparada para receber o novo tecido. Os procedimentos são variados, alguns requerem a total remoção das camadas de proteção para o novo tecido ser colado diretamente no tecido antigo, e só então novas camadas de proteção são aplicadas. Para outros procedimentos, o novo tecido é colado diretamente na camada de acabamento lixada e, posteriormente, é aplicada mais uma camada de proteção.

## Resumindo

As aeronaves enteladas apresentam vantagens nos quesitos leveza e custo e desvantagens na durabilidade e no desempenho. Os primeiros tecidos utilizados para revestir aeronaves foram os orgânicos, como linho e algodão. Esses tecidos recebiam tratamento posterior para melhorar a durabilidade e diminuir a inflamabilidade. Foram substituídos posteriormente pelas fibras sintéticas, que possuem melhor durabilidade. A mais utilizada atualmente é a fibra de poliéster.

Os principais materiais utilizados na aplicação e no reparo de revestimentos de tecidos são fitas antidesgaste, fitas de reforço, fitas de superfície, cordel de amarração, linhas de costura, ilhoses, anéis de inspeção e outros prendedores especiais de tecido. Todos os materiais devem ser de ótima qualidade e aprovados por órgão de aviação competente.

Os revestimentos podem ser aplicados pelo método do cobertor ou do envelope, sempre conforme recomendações do fabricante. Recomenda-se realizar inspeções visuais periodicamente para avaliar a resistência do tecido, caso sejam necessários reparos, podem ser realizados.

Neste capítulo, o conteúdo abordado apresenta uma visão geral das técnicas de aplicação e reparo de revestimentos têxteis, tudo conforme manual do curso de mecânico de manutenção aeronáutica (MCA 58-13) e manuais do FAA. Toda a metodologia detalhada e todos os procedimentos de manutenção de revestimentos têxteis podem ser encontrados no manual de manutenção da aeronave, fornecido pelo fabricante.

# Unidade 2

## Sistema de água potável, toaletes e *galleys*

O sistema de água potável fornece a água que foi tratada, limpa, filtrada ou razoavelmente separada de bactérias nocivas e contaminantes. Dessa maneira, ela será considerada segura para beber, de acordo com os padrões estabelecidos na resolução da diretoria colegiada (RDC) nº 2, de 8 de janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2003, p. 1).

Esta unidade divide-se em três capítulos. O primeiro traz uma descrição geral e funcional do sistema de água potável. Toaletes é o assunto do segundo, que explana a sua finalidade, bem como a descrição na utilização de uma aeronave. Já as *galleys* serão apresentadas no terceiro, com a explanação da descrição, do modo de instalação, de execução do serviço, da localização de falhas e do reparo que se aplicam ao sistema de água potável, aos toaletes e às *galleys*.

Espera-se, por meio deste estudo, obter noções do sistema de água potável, do funcionamento e da utilização de toaletes e *galleys*. Esse conhecimento será indispensável ao exercício da profissão do técnico em manutenção de aeronaves com especialidade em célula.



# Capítulo 1

## Sistema de água potável

O sistema de água potável possui componentes e equipamentos de armazenagem de água. Sua finalidade é fornecer água potável pressurizada às áreas de *galleys* e toaletes para o devido uso dos passageiros e membros da tripulação, bem como realizar o esgotamento da água já utilizada.

Em sua estrutura, ele possui um painel de serviço, um sistema de abastecimento, um de drenagem, um de distribuição e um tanque ou reservatório de água, todos acessíveis ao profissional técnico pela parte externa da aeronave, de forma que a manutenção desses serviços possa ser realizada de maneira célere.

### 1.1 Descrição

O painel de serviço de água é responsável pelo enchimento e pela drenagem do tanque de água potável. Para realizar o primeiro procedimento, deve-se abrir a válvula de enchimento e drenagem e adicionar água mediante o encaixe de complemento no painel de serviço.

O tanque fornece água aos seguintes locais: torneiras, *galley*, lavatórios e vasos sanitários. Cada lavatório possui uma válvula de corte de suprimento, que enseja o isolamento de abastecimento de água para a pia e para o vaso sanitário.

Com vistas a realizar a drenagem nesse sistema, devem-se abrir as válvulas de drenagem do tanque de água, de dreno do lavatório e de corte de suprimento de água no lavatório. Assim, quando se drena o sistema de água potável, a água escoar para fora da aeronave, por meio de um orifício de drenagem localizado nas partes dianteira e traseira. Essa drenagem de água potável é gerenciada pelo painel de serviço de água potável.

É possível drenar o tanque e as linhas de distribuição de água localizadas na parte traseira da aeronave utilizando o painel de serviço de água. Conectados a esse painel, os lavatórios possuem, cada um, uma válvula de drenagem que permite drenar a linha de distribuição de água.

Salienta-se que a drenagem do sistema de água potável deve ser realizada no mínimo a cada três dias. Caso não seja feita, como consequência, as bactérias podem crescer e causar doenças aos passageiros e à tripulação. Da mesma maneira, o crescimento de bactérias pode ocorrer caso o sistema de água potável não seja utilizado com frequência, fazendo-se necessária a realização de drenagens.

Também é preciso drenar a linha de abastecimento de água, observando para que não fique nenhum resíduo do líquido na linha de abastecimento, e que, em tempos frios, ela não se danifique devido ao congelamento da água que fica estacionada.



**Potável:** diz-se da água limpa, própria para a utilização do ser humano no tocante à higiene e à preparação de alimento.

**Galleys:** são compartimentos montados nas aeronaves onde ficam armazenadas as refeições e bebidas dos passageiros e tripulantes, bem como fornos, cafeteiras e outros, configurados conforme solicitação do cliente.

**Drenagem:** é o ato de escoar as águas de um determinado local ou recipiente encharcado, por meio de tubos, túneis, canais, etc.

**Orifício:** pequena abertura, em regra de forma redonda, que dá entrada para uma cavidade; furo, passagem estreita.

Desse modo, a drenagem no sistema de água potável deve ser realizada por completo antes de se efetuar o serviço de limpeza com a utilização de produtos apropriados ou quando o técnico de manutenção estacionar a aeronave em clima frio (em torno de 0 °C).

Na Figura 1, apresenta-se um sistema de água potável da aeronave modelo E190.



Figura 1 - Sistema de água potável da aeronave modelo E190

## 1.2 Funcionamento

Cada aeronave possui um painel de serviço de água que contém os componentes necessários ao gerenciamento e à manutenção do sistema de água potável, permitindo a drenagem e o enchimento do tanque de água e de partes do sistema de água potável. Embora a localização e a configuração desse painel de serviço dependam do modelo da aeronave, usualmente ele se localiza na seção traseira externa, abaixo da fuselagem da aeronave.

Existem travas de encaixe para abrir a porta que dá acesso ao painel de serviço de água. Grande parte do acesso à parte interna desse painel é realizada pela parte de trás da fuselagem da aeronave, entrando pelo compartimento de carga traseiro.

Basicamente, os componentes do painel de serviço de água de uma aeronave se dividem da seguinte forma: alavancas de controle das válvulas de enchimento e drenagem do tanque de água, interruptores de acionamento e corte do enchimento e drenagem na operação do serviço em solo, acessórios ou conectores retos para enchimento e drenagem de água potável.

De acordo com a Figura 2, existem algumas aeronaves em que, na porta do painel de serviço de água, existe um suporte de interferência. Nesse caso, o painel impede o fechamento da porta de acesso se as alavancas das válvulas estiverem na posição errada para o voo. Ainda em outras aeronaves o sistema de inibição previne o fechamento da porta do painel de serviço de água se a alavanca da válvula de enchimento e drenagem não estiver na posição correta.

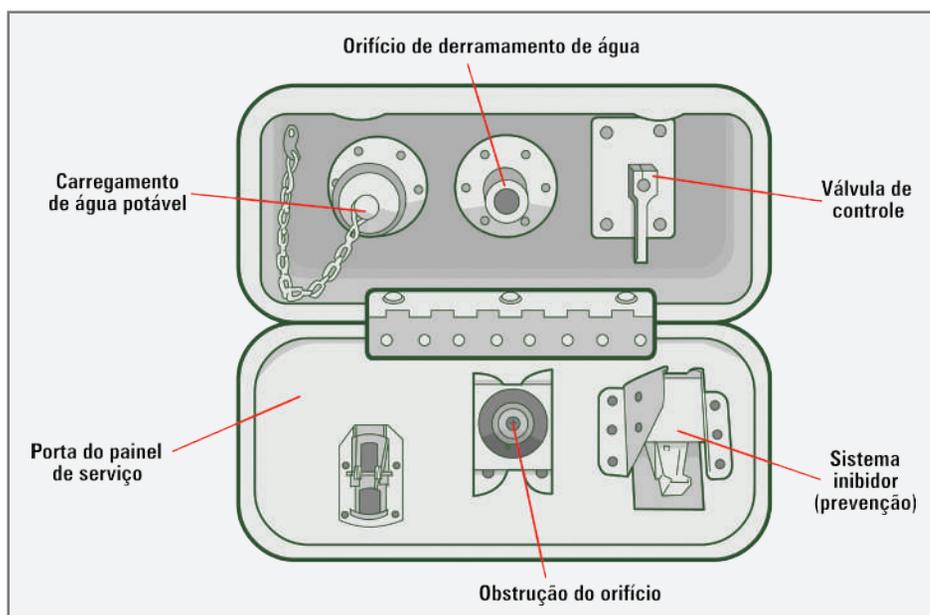


Figura 2 - Painel de serviço de água da aeronave modelo ATR-42

### 1.2.1 Inspeção, verificação e execução de serviços

Para o procedimento de execução e inspeção de manutenção no sistema de água potável, deve-se realizar a drenagem e o enchimento da água potável, sempre seguindo o passo a passo do

manual de manutenção do fabricante da aeronave. Seguem, adiante, orientações padrão para esse tipo de verificação.

Inicialmente, ao fazer a drenagem do sistema de água potável, abre-se o painel de acesso pelo compartimento de carga. Assim, inspeciona-se todo o sistema e a linha de drenagem para cada uma das portas de drenagem.

Existem os locais de saída de dreno da água, que é lançada para a parte externa da aeronave. Externamente, cada lavatório possui seu próprio local de saída. As saídas de porta de drenagem ficam na parte da frente da aeronave, para o lavatório e a *galley* dianteira, e o mesmo ocorre para o lavatório da parte traseira, para o qual há outra porta de drenagem ou derramamento.

Por fora, normalmente o painel de serviço de água potável está localizado na parte de trás da aeronave, onde se obtém acesso para encher e drenar a água do tanque de água. Ao acessar o painel, deve-se girar a alavanca para abrir a válvula de drenagem do tanque de água, drenando a água do reservatório e o sistema de água para a parte externa e atrás da aeronave.

A válvula de corte de fornecimento de água para cada lavatório deve se encontrar na posição *on*. Essa válvula de corte encontra-se abaixo da pia do banheiro ou em um dos compartimentos de *galleys* da aeronave. Abrir a torneira de água da *galley* é outra forma de drenar a água do sistema de água da *galley*. Deve-se fechar a torneira da *galley* quando o fluxo de água parar e verificar se o sistema de água potável está vazio.

Se o enchimento do tanque de água potável não for realizado imediatamente depois de drenar o sistema, devem-se abrir os disjuntores e instalar as etiquetas de aviso de segurança. Assim, após a instalação das etiquetas, a alavanca das válvulas deve ser movida para a posição fechado. Em seguida, no painel de serviço de água, é necessário girar a alavanca para fechar a válvula de drenagem do tanque de água, bem como desconectar as linhas de drenagem das saídas de dreno e fechar o painel de acesso.

Para o enchimento do reservatório de água potável, deve-se conectar o equipamento de serviço de água. Recomenda-se que o equipamento tenha uma pressão de 25 psi.

É necessário, então, abrir o painel de acesso e a tampa do encaixe de enchimento de água, e conectar a mangueira de abastecimento ao encaixe de enchimento de água. Em seguida, gira-se a alavanca para abrir a válvula de enchimento/descarga e liga-se o equipamento para enviar a água potável ao abastecimento do reservatório de água potável.

O tanque de água potável deve ser cheio até que seja possível ver o fluxo de água escoar pelo orifício de saída. Então, ao preencher o reservatório, deve-se interromper o abastecimento de

água, desligando o equipamento de abastecimento da seguinte forma: desliga-se o equipamento de água e realiza-se o desencaixe da mangueira de abastecimento do orifício de enchimento. Ao desencaixar, deve-se deixar escoar a água da linha de enchimento para garantir que ela não pare na ali. Assim, a tampa de encaixe para o enchimento de água deve ficar aberta por aproximadamente um minuto, permitindo que o líquido esorra da linha de preenchimento.

Após o escoamento da água na linha, é necessário fechar a tampa de encaixe para enchimento de água e fechar o painel de acesso. Depois que o sistema de água for drenado, se os disjuntores foram abertos, devem-se remover as etiquetas de aviso de segurança e fechá-los. Contudo, caso o sistema de água potável tenha sido drenado antes de estar cheio, será necessário examinar as portas de drenagem traseiras e dianteiras para detecção de evasão de água.

Se houver evasão de água nas portas de saída de drenagem traseira, é sinal de que a válvula do tanque de água está aberta. E, se houver evasão de água na conexão de drenagem dianteira, a válvula de dreno do lavatório estará aberta.

A Figura 3.A ilustra a porta do painel de acesso ao sistema de água e a Figura 3.B exhibe a tubulação hidráulica instalada no compartimento de carga traseiro de uma aeronave comercial.

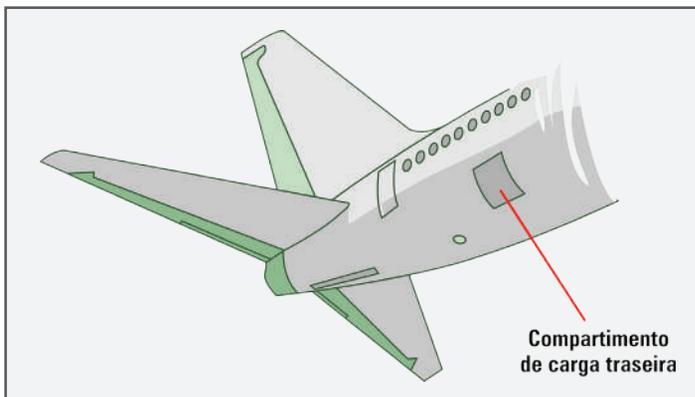


Figura 3.A - Porta de acesso ao sistema de água potável pelo compartimento de carga traseiro de aeronave bimotor executiva

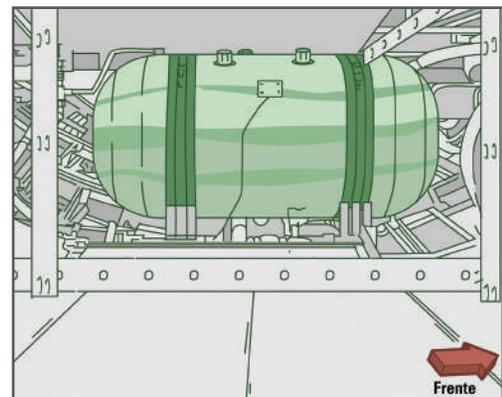


Figura 3.B - Vista interna da tubulação no compartimento de carga traseiro

## 1.2.2 Localização e reparo de falhas do sistema

Durante a checagem do sistema de água potável, é possível localizar as falhas no sistema por testes operacionais e, logo em seguida, realizar o reparo, muitas vezes executando as substituições dos componentes do sistema de água potável. Assim, é possível realizar toda e qualquer tarefa para a solução do problema encontrado. Como de costume, deve-se sempre consultar o manual de manutenção do fabricante.

De acordo com o manual de isolamento de falhas, uma série de ocorrências adversas pode acometer o sistema de água potável. Elas variam conforme o modelo da aeronave, sendo as mais comuns:

- falha no enchimento do tanque de água potável;
- vazamento no tanque de água potável;

- falta de pressurização no sistema de água potável;
- vazamento no painel do teto;
- fluxo de água insuficiente para a torneira de água;
- água muito quente da torneira;
- pressão muito alta de água na torneira;
- água potável contaminada;
- nível de água incorreto no painel de atendimento de água;
- falta de água quente na torneira, entre outras.

As falhas possíveis no sistema de água potável são numerosas e cada uma possui um grau diferente de complexidade. Nesse sentido, embora duas das falhas comuns estejam descritas a seguir, é importante que as demais falhas sejam vistas de forma pormenorizada, no manual do fabricante, pelo técnico em manutenção de aeronaves.

Para verificar se existe uma contaminação do sistema de água potável, deve-se coletar, para análise, uma porção de água após ter deixado a torneira aberta por dez segundos. Se houver um cheiro ruim ou se a água parecer ser de má qualidade, devem-se fazer a drenagem e a desinfecção do sistema, conforme o manual de manutenção do fabricante.

Se houver falha de indicação do nível da água, algumas causas podem ser detectadas:

- baixo nível da água;
- problemas com a fiação;
- mau funcionamento do transmissor de ajuste da quantidade de água, sensor do tanque, indicador da quantidade de água.

Na inicialização da avaliação do problema de indicação do nível da água, deve-se drenar o reservatório de água potável e fazer a leitura da quantidade de água no painel de atendimento. Se uma leitura correta no nível da água não estiver sendo exibida, deve-se fazer o procedimento de isolamento de falhas.

O indicador de água deve informar se está completo, quanto o tanque de água estiver cheio, ou incompleto, quando estiver vazio. Por conseguinte, o profissional técnico realiza essa leitura no painel de atendimento de água potável. Caso se verifique que a leitura correta não está sendo feita, deve-se fazer o teste de capacitância, removendo o cabo coaxial que se estende da saída do sensor à entrada do transmissor da quantidade de água.

Para checagem, utiliza-se um medidor LCR de indutância (**L**), capacitância (**C**), resistência (**R**). Comparam-se os níveis de capacitância de acordo com as tabelas do manual do fabricante. Se a saída de capacitância do sensor de nível de água não estiver de acordo com as tabelas, deve-se substituir o tanque de água potável.

Conforme o manual do fabricante, ao se realizarem os testes operacionais nos transmissores de ajuste da quantidade de água, nos sensores do tanque, nos indicadores de quantidade, no painel de atendimento de serviço de água e na fiação, deve-se realizar sua substituição por novos componentes.

Outra falha no sistema de água potável é a falta de água quente na torneira. Nesse caso, é possível que:

- o interruptor na cabine de comando esteja na posição *off* (desligar);
- o interruptor do aquecedor esteja na posição *off*;
- o interruptor de temperatura esteja definido como muito baixo;
- o interruptor de superaquecimento necessite de *reset*;
- o aquecedor de água quente esteja inoperante.

Para solucionar problemas, realizar testes operacionais ou substituições dos componentes do sistema de água potável, deve-se consultar sempre o manual de manutenção do fabricante.

A Figura 4 apresenta a localização dos componentes do sistema de água potável.

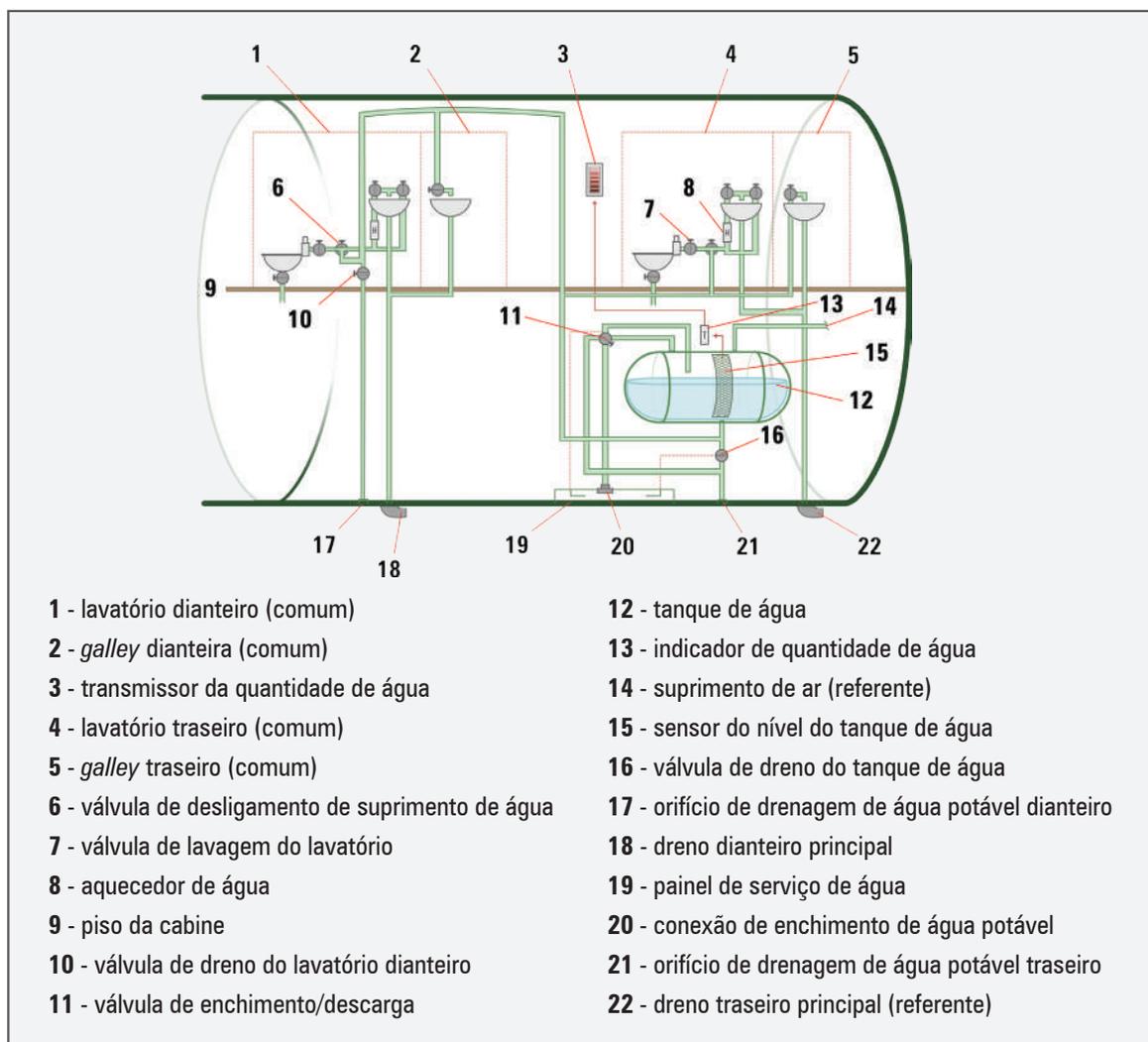


Figura 4 - Localização dos componentes do sistema de água potável

## Resumindo

Neste capítulo, explanou-se sobre a descrição e os funcionamentos do sistema de água potável, algumas possíveis situações adversas comuns, bem como as soluções padrão correspondentes.

O sistema de água potável de cada aeronave pode ser diferente a depender do modelo. Dessa maneira, para cada tipo específico, existe um manual fornecido pelo fabricante, contendo soluções para possíveis falhas nos diversos componentes, o qual deve ser consultado e seguido atenciosamente.

# Capítulo 2

## Toaletes

Cada companhia aérea determina a quantidade e a localização dos toaletes ou lavatórios em uma aeronave. Eles são utilizados para cuidados de higiene pessoal, e, além disso, são **modulares** e separáveis, projetados em unidades independentes, contendo, cada um, seus próprios equipamentos. Com vistas a caberem na aeronave sem **pré-carga**, são parafusados com suporte ao chão e anexados à estrutura superior por meio de **tirantes** ajustáveis.

### 2.1 Descrição

Cada porta do lavatório possui uma alavanca de liberação de segurança para o seu bloqueio. Assim, quando um passageiro ou um tripulante utiliza a tranca, o sinal ocupado aparece em um indicador ao lado da porta do lavatório. No entanto, é possível, por meio do mecanismo de travamento de porta do lavatório, bloquear e desbloquear a porta por fora sem utilizar ferramentas especiais. Essa possibilidade de acesso externo à trava deve ser de conhecimento exclusivo dos técnicos de manutenção e da tripulação, para evitar que os passageiros a manuseiem.

Em suma, cada lavatório possui uma unidade de ventilação, isto é, uma abertura que despeja o ar para fora por meio de uma saída de ar. Além disso, possui pias que recebem a água do sistema de água potável e piso com uma esteira de vinil **antiderrapante** feita de fibra de vidro à prova d'água para evitar **corrosão**.

Com o propósito de identificar rápida e antecipadamente sinais de incêndio, cada lavatório possui um sistema de detecção de fumaça, a exemplo do ilustrado na Figura 5, evitando, assim, que o fogo se **alastre** nessa área.

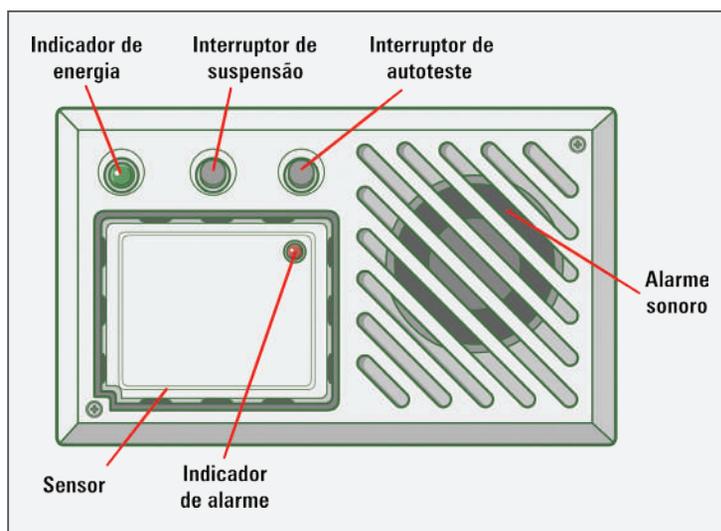


Figura 5 - Sistema de detecção de fumaça dos lavatórios da aeronave E190/195



**Modulares:** habilidade de se dispor em módulos; separável; referente a módulo.

**Pré-carga:** máximo de pressão aplicado a um objeto.

**Tirante:** uma peça estrutural composta de um ou mais elementos, que tem por função resistir a esforços, forças ou tensões, de tração.

**Antiderrapante:** que impede a derrapagem ou o que é próprio para impedir a derrapagem.

**Corrosão:** desgaste gradual de um corpo qualquer que sofre transformação química e/ou física, proveniente de uma interação com o meio ambiente.

**Alastre:** multiplique-se por meio da reprodução.

Dentro do lavatório, há um botão de chamada de comissário. Ao acioná-lo, algumas luzes na cor laranja são acesas em determinados pontos da aeronave com o intuito de sinalizar a chamada aos comissários de bordo. Cada tipo de chamada é identificado por uma cor específica. A cor laranja, por exemplo, destina-se ao passageiro que está localizado dentro do toailete e pressiona o botão de chamada.

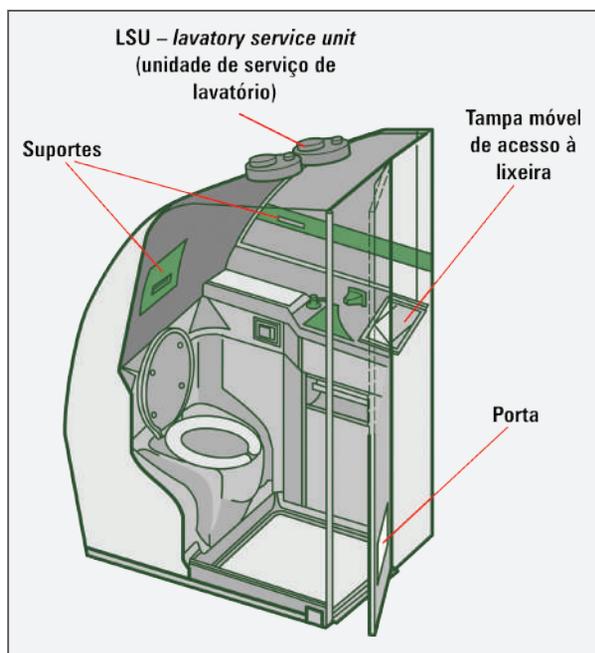


Figura 6 - Lavatório e torneira da aeronave bimotora executiva



**Secreções:** são os meios por intermédio dos quais as células descarregam substâncias que produziram internamente para o meio externo.

**Reset:** é o procedimento para reiniciar o sistema. Diferente de apenas ligar e desligar, o *reset* executa outras funções que permitem a correção de problemas.

**Temporizador:** é um dispositivo capaz de medir o tempo, sendo um tipo de relógio especializado. Ele pode ser usado para controlar a sequência de um evento ou processo.

**Estilhaços:** cada um dos fragmentos ou lascas a que ficam reduzidos o vidro, a madeira, a pedra, etc., após impacto violento ou explosão.

Um dos elementos principais dos toaletes são os vasos sanitários, que recebem **secreções** e dejetos humanos, os quais são eliminados por meio das descargas. As pias também estão sempre presentes para que o usuário possa lavar as mãos após o uso do sanitário, escovar os dentes, entre outros procedimentos de higiene.

No momento da compra de aeronaves, as companhias aéreas solicitam ao fabricante, além da quantidade e localização dos toaletes na aeronave, as configurações específicas dos acessórios a serem instalados.

Esses acessórios são itens muito frequentes em toaletes, pois permitem maior comodidade. Existe uma grande possibilidade de itens de higiene, mas, na maioria das configurações, nem todos são empregados.

Normalmente, nos toaletes ou nos lavatórios, existem os seguintes equipamentos:

- distribuidor de assento sanitário e saco de enjoo;
- cinzeiro (interno e externo);
- apoiador auxiliar;
- botão de *reset* e chamada de atendente;
- cabine;
- mesa trocadora de fraldas (algumas instalações);
- suporte duplo para rolo de papel higiênico;
- torneira com **temporizador** de temperatura ajustável;
- distribuidor de toalha de papel facial;
- extintor de incêndio (no compartimento de resíduos);
- banheiro com descarga, com vaso sanitário e tampa;
- espelho não de vidro e resistente a **estilhaços**;
- informação e instrução incluindo sinal de não fumante;
- interruptor de luz;
- máscara de oxigênio;
- anunciador alto-falante;
- lixeira móvel;
- detector de fumaça no teto;

- reservatório de sabonete;
- balcão;
- torneira;
- aquecedor de água.

## 2.2 Funcionamento

De acordo com a descrição fornecida pelo capítulo um, o conjunto de sanitários dos toaletes recolhe resíduos humanos. Em resumo, esse conjunto é operado por um sistema de resíduos a vácuo para enviar os **dejetos** para um depósito de resíduos. O vaso sanitário é de aço **inoxidável** com uma camada **antiaderente** para manter o vaso sempre limpo. Esse dispositivo possui um anel **tubular** de aço inoxidável anexado no interior na borda superior da bacia sanitária, que se conecta à válvula de enxaguar.

No caso de ocorrer um vazamento na linha de suprimento do sistema de água potável, o sistema pode ser isolado manualmente por meio de uma válvula de fechamento que está colocada na linha de abastecimento de água potável para *galleys* e toaletes. O dispositivo é instalado sempre acima do nível do chão para uma fácil acessibilidade.

A água para os lavatórios é fornecida por uma torneira localizada acima da pia, no mínimo a uma **polegada** acima do nível máximo dos lavatórios, a fim de evitar a contaminação pelo cruzamento com a água servida (suja).

A torneira incorpora um dispositivo de retardo de tempo mecânico, permitindo que o fluxo da água seja contínuo sem pressionar a tampa da torneira. Normalmente, o fluxo é ajustado para de três a dez segundos por impulso. A tampa da torneira é um controle único que serve tanto ao fluxo da água quanto à temperatura da água. Os mecanismos da torneira de um lavatório se encontram ilustrados em detalhes na Figura 7.

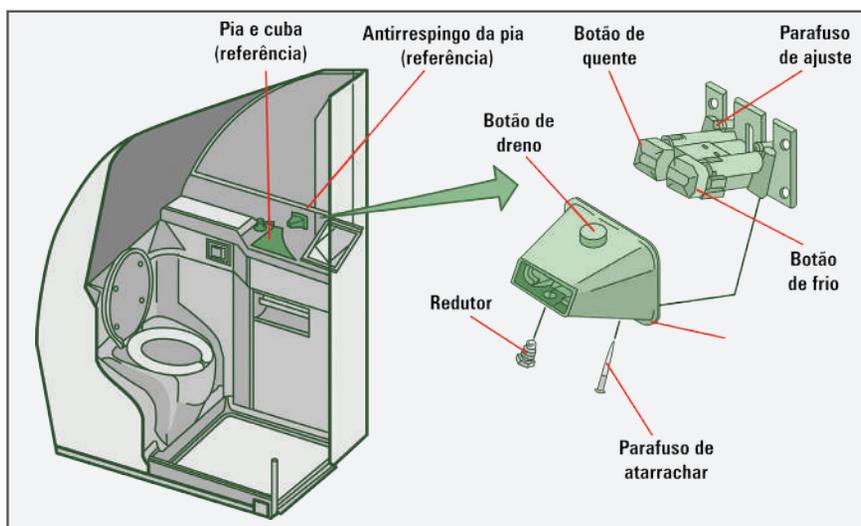


Figura 7 - Lavatório e torneira da aeronave bimotora executiva



**Vácuo:** é a ausência de matéria em uma determinada região do espaço; vazio; desprovido de conteúdo; espaço sem matéria; completamente vazio.

**Dejetos:** matérias fecais evacuadas de uma vez; excrementos.

**Inoxidável:** não oxidável; que não é passível de uma reação que, envolvendo um elemento químico, ocasiona perda de elétrons e consequente aumento de sua carga.

**Antiaderente:** que consegue impedir aderências, especialmente, em utensílios utilizados; diz-se do revestimento que impede aderências.

**Tubular:** que tem a forma de um tubo; tubiforme, tubulado, tubuloso.

**Polegada:** é a medida inglesa de comprimento equivalente a 25,4 milímetros do sistema métrico decimal.

## 2.2.1 Inspeção, verificação e execução de serviços

Todo o sistema operacional dos toaletes aeronáuticos tem sido constantemente atualizado, visando à redução de peso, à rapidez na substituição do toaleta, à troca de componentes e à melhoria na confiabilidade.

Esse recurso de inspecionar e executar a troca rápida permite ao operador remover e instalar algum componente do sistema em apenas poucos minutos.

A montagem e desmontagem desse tipo de toaleta não requer ferramenta especial, uma vez que todas as fixações são feitas por meio de prendedores de desconexão rápida. O equipamento de substituição rápida, em inglês, *line replaceable unit* (LRU), do toaleta a vácuo é constituído de três partes principais, todas de fácil substituição. São elas:

- toaleta a vácuo, em inglês, *vacuum toilet*;
- vaso sanitário, em inglês, *toilet bowl*, sem a remoção do toaleta;
- válvula de enxaguar, em inglês, *rinse valve*, também sem a remoção do toaleta.

O procedimento de inspeção dos serviços dos toaletes envolve a verificação do depósito de resíduos, a fim de avaliar a capacidade disponível desse depósito. Verifica-se, ainda, se há energia disponível para o interruptor de descarga do lavatório, no intuito de evitar a interrupção do funcionamento da descarga.

Um possível defeito da descarga seria a sua não interrupção após o acionamento pelo usuário. Nesse caso, a causa mais provável seria o não fechamento da válvula de descarga, e a medida mais imediata a ser adotada seria o fechamento manual da linha do sistema de resíduos pela válvula de luva (corrediça). Esse procedimento, no entanto, deve ser realizado somente pelo pessoal da manutenção, que desligará o conector da válvula de descarga e o acionará manualmente, sobrepondo-o para a posição fechada.

Também pode ocorrer de o vaso sanitário se tornar inoperante, mas, nesse caso, não é permitida a desmontagem das suas subpartes.

Ressalta-se que, para toda ação de manutenção no vaso sanitário, é necessário utilizar equipamentos de proteção individual, de acordo com o manual do fabricante.

A seguir, enumera-se uma apresentação das subpartes do vaso sanitário do toaleta antes da ação corretiva:

- vaso sanitário e pedestal - são de aço inoxidável, e a superfície interna do vaso possui uma camada antiaderente para manter o vaso limpo de resíduos;
- tubo de enxague - é de aço inoxidável com três bicos ou pontos dependendo do modelo;
- válvula antissifão - impede o retorno da água já usada para o sistema de água potável;
- válvula de enxágue - fornece água para enxaguar o vaso sanitário. Possui um solenoide que regula o fluxo da água para a descarga;
- válvula de descarga - mantém o caminho do fluxo entre o vaso sanitário e os resíduos da linha fechada. Quando acionada eletricamente, abre-se para permitir movimentos de resíduos do vaso para as linhas de resíduos e para o tanque;



**Solenoide:** fio condutor enrolado em hélice, de espiras muito próximas, em torno de um eixo.

- punho de fechamento manual - é utilizado para fechamento em caso de problema do sistema elétrico;
- unidade de controle de descarga - é a unidade que controla a operação do vaso sanitário cronometrando e sequenciando vários componentes durante o ciclo de descarga. É eletricamente conectada ao interruptor de descarga, à válvula de enxágue, à válvula de descarga e ao módulo de controle da ventoinha da aeronave.

Existem formulários elaborados para ajudar a identificar as verdadeiras causas dos problemas encontrados, visando reduzir o número de remoções dos vasos sanitários. Assim, sempre que for necessária qualquer ação corretiva ou remoção de vaso sanitário, uma pesquisa deverá ser executada, de acordo com instrução do manual do fabricante.

## 2.2.2 Localização e reparo de falhas do sistema

Para uma ação corretiva ou remoção do vaso sanitário referente a falhas no sistema ou componentes dos toaletes, deve-se observar que, ao acionar o interruptor de descarga, a unidade de controle de descarga inicia imediatamente a ação do ciclo de descarga. Existe uma inibição do ciclo de descarga que impede outra entrada do interruptor para os próximos 15 segundos, não permitindo que a descarga seja acionada duas vezes seguidas dentro desse intervalo de tempo.

A unidade de controle de descarga possui um interruptor de manutenção, que visa manter a válvula de descarga aberta durante as operações de manutenção. O interruptor abre a válvula de descarga quando pressionado uma vez. Portanto, para operar a ventilação, deve-se pressioná-lo novamente e segurá-lo por dois segundos, assim essa ventilação irá operar por dez segundos. Ao pressionar o interruptor da descarga do lavatório, fecha-se a válvula de descarga do vaso sanitário e retorna-se à operação normal.

Quanto ao vazamento na torneira do lavatório, devem-se observar as possíveis causas. É possível que seja necessário o ajuste da torneira ou sua substituição. Para diagnosticar o problema, deve-se abrir a torneira durante dez segundos e fechá-la em seguida. Assim, se não houver vazamento, a falha será considerada **intermitente**. No entanto, se o vazamento ocorrer, os procedimentos do manual devem ser adotados.

Além disso, deve-se realizar uma verificação da água da torneira, utilizando-se de uma instrumentação técnica apropriada. Também pode ocorrer de a água sair da torneira apenas fria ou apenas quente. Uma solução possível para essa situação é substituir ou ajustar o cartucho de água quente da torneira. Para tanto, deve-se observar o manual de manutenção do fabricante, seguindo o protocolo proposto para correção da falha.

O coletor de resíduos da porta do lavatório também não está isento de falhas, devendo-se verificar as causas de possíveis ocorrências. Entre elas, as mais comuns podem ser:

- material indesejado no coletor de resíduos;
- mola do sistema do coletor danificada;
- componente da dobradiça danificado;
- próprio coletor de resíduos pode estar danificado.



**Intermitente:** em que ocorrem interrupções; que cessa e recomeça por intervalos; intervalado, descontínuo.

Nesse caso, para encontrar a causa do problema, deve-se pressionar a tampa do coletor de resíduos, analisando o seu livre movimento. Feito isso, se ela não se mover ou não se alinhar corretamente, deve-se seguir o procedimento de isolamento de falhas. Ademais, na entrada do coletor de resíduos, é possível verificar se existem materiais indesejados que possam impedir o movimento da tampa do coletor. Caso existam, devem ser retirados e a tampa deve passar por nova verificação. Dessa maneira, a falha será corrigida quando a tampa voltar a movimentar-se livremente.

Uma análise da dobradiça ou da mola da tampa do coletor de resíduos deve ser realizada. Assim, se a dobradiça ou a mola estiverem quebradas, será necessário realizar a substituição, observando-se sempre o manual de manutenção do fabricante.

As Figuras 8.A e 8.B ilustram os componentes de água potável da torneira do lavatório.

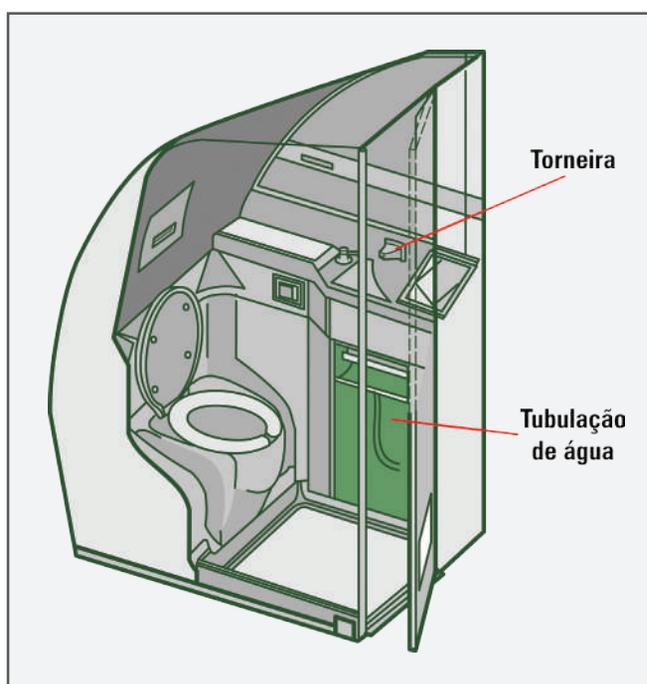


Figura 8.A - Componentes de água potável da torneira (vista externa) do lavatório de uma aeronave bimotora executiva

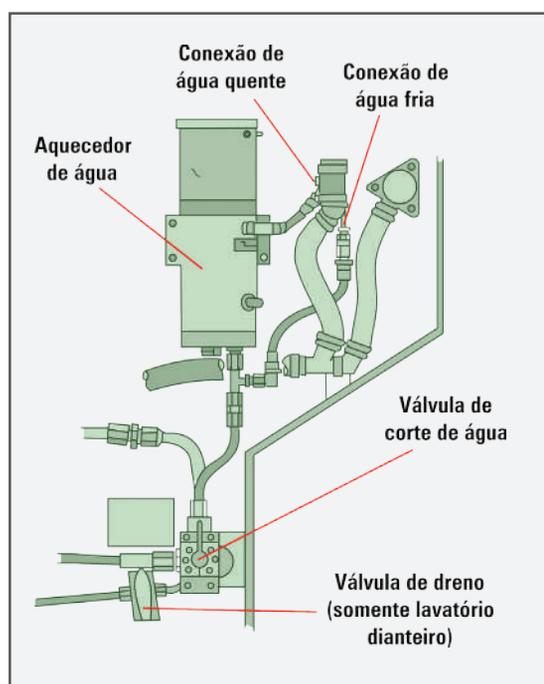


Figura 8.B - Componentes de água potável da torneira (vista interna) do lavatório de uma aeronave bimotora executiva

## Resumindo

Neste capítulo, discorreu-se sobre os toaletes ou lavatórios, que são compartimentos utilizados para cuidados de higiene pessoal. Viu-se a forma como são instalados em uma aeronave e como são dispostos especialmente a critério da companhia aérea no momento da compra.

Tratou-se, ainda, de descrever as principais disfunções que podem acometer o funcionamento do vaso sanitário e sua composição estrutural, tanto quanto da pia e de outros componentes, como a válvula de fechamento para o caso de vazamentos, permitindo ao leitor o conhecimento de funções que irão auxiliá-lo no momento da manutenção dos lavatórios, assim como a localização e reparo de falhas comuns.

# Capítulo 3

## Galleys

*Galley* é o local da aeronave por onde são embarcadas e armazenadas as comidas e as bebidas que serão servidas durante o voo e consumidas pela tripulação. Também é por ele que se retiram os alimentos que não foram utilizados.

Esse compartimento geralmente está instalado na seção de trás da aeronave, próximo à porta de serviço traseira, mas também pode ser encontrado em outras posições, de acordo com a preferência demonstrada no momento da compra da aeronave. As dimensões dos seus acessórios permitem a entrada pelas portas da aeronave, a fim de serem montados dentro dela.

### 3.1 Descrição

Uma *galley* é composta basicamente de fornos elétricos para o aquecimento de refeições e pequenas repartições padronizadas para acessórios, como guardanapos, copos descartáveis, sacos de lixo e caixas de gelo.

Nessa seção da aeronave se alojam os carrinhos, em inglês, *trolleys*, para bebidas e alimentos, um recipiente para lixeiras e todo o material necessário para a execução do serviço de bordo. O recipiente de resíduos e as unidades associadas são planejados de forma a suportar um eventual incêndio originado na cesta de lixo.

Usualmente dispostas no fundo do avião, as *galleys* fornecem instalações para a preparação de bebidas e alimentos. Dessa forma, sua quantidade e localização são determinadas pelas companhias aéreas, que escolhem, normalmente, entre sete possíveis localidades.

A *galley* basicamente não possui qualquer sistema de entrega de água. A Figura 9.A mostra a vista superior com localização das *galleys* traseiras da aeronave modelo E190.

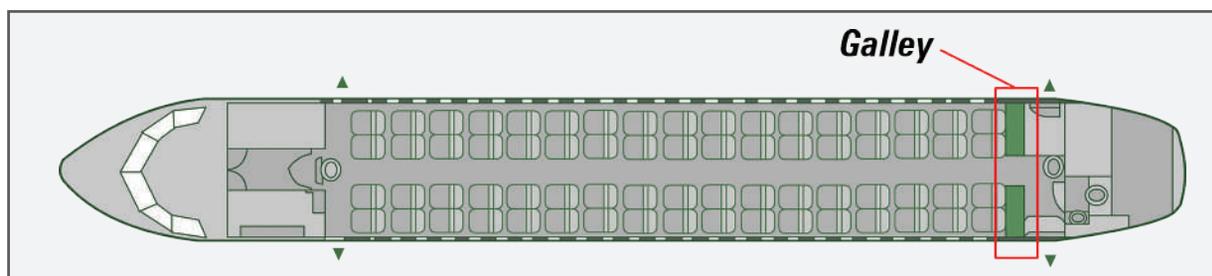


Figura 9.A - Vista superior da aeronave modelo E190 com localização das *galleys* traseiras

As Figuras 9.B e C evidenciam, respectivamente, a *galley* e a porta traseira de saída.



Figura 9.B - *Galley* da aeronave modelo B737-800

Fonte: Foto do autor / © Marcelo Cabral Nunes de Lima.



Figura 9.C - Porta traseira de saída da aeronave modelo B737-800

Fonte: Foto do autor / © Marcelo Cabral Nunes de Lima.

As *galleys* podem ter diferentes inserções. Entre elas, as mais típicas são:

- resfriador;
- forno elétrico;
- cafeteira;
- pia;
- armazenamento;
- recipiente de lixo;
- cartões de serviços.

As conexões das *galleys* são as seguintes:

- de suporte estrutural - instalação de compartimentos;
- de energia elétrica - instalação das cafeteiras, dos fornos, etc.;
- de água - fornecimento de água às torneiras e aos equipamentos, como cafeteiras;
- de drenagem e de ventilação - retirada da água das pias e do chão da aeronave pelas soleiras das portas, e circulação de ar pelas conexões de ventilação para a *galley*.

O sistema de luzes fornece uma fonte de luz direta na área da *galley* para os comissários de bordo. Cada um consiste em dois alojamentos de lâmpadas. Estes contêm lâmpadas fluorescentes que recebem corrente elétrica de dois reatores que, por sua vez, regulam a produção de energia para as lâmpadas.



As luzes da *galley* são controladas por interruptores instalados no painel de atendimento dos comissários de bordo. Além disso, existem as luzes de trabalho instauradas sobre a pia da *galley*, que consistem em um conjunto de diodo emissor de luz, em inglês, *light emitting diode* (LED), controladas por interruptores de *on/off* (ligar e desligar) e DIM/BRT (diminuição do brilho e brilho).

**LED:** é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (LED = *light emitter diode*), mesma tecnologia utilizada nos *chips* dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

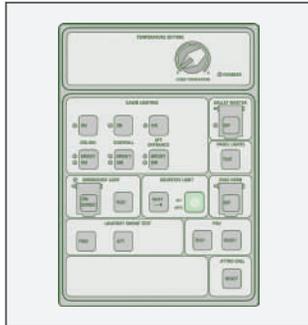


Figura 10.A - Painel de comissário de bordo da aeronave modelo E190

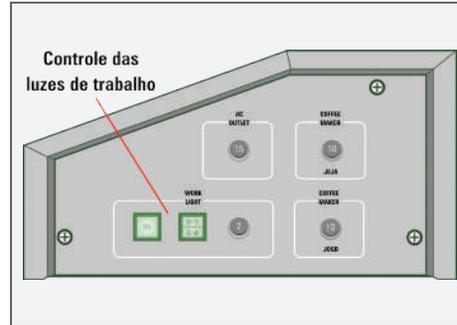


Figura 10.B - Controle das luzes de trabalho da aeronave modelo E190

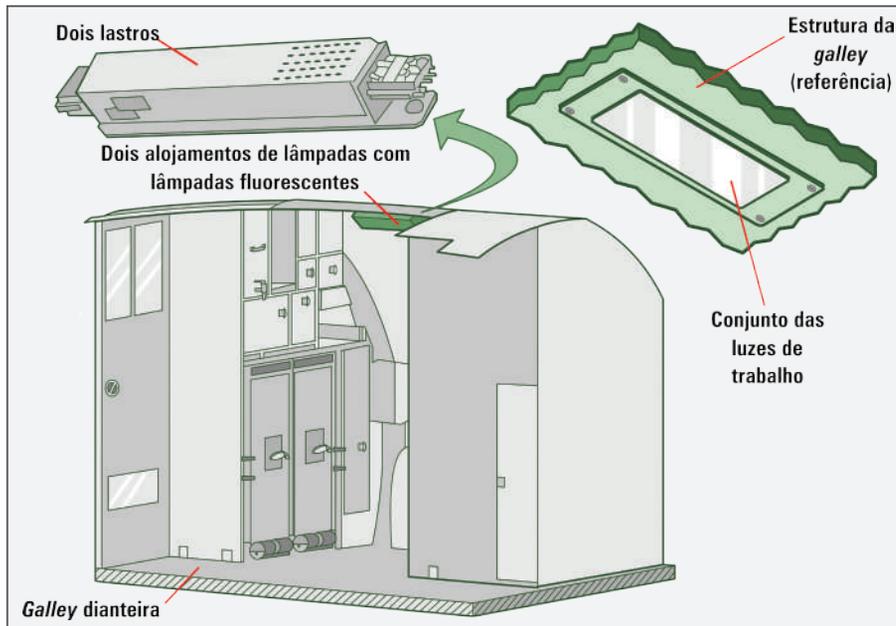


Figura 10.C - Conjunto das luzes de trabalho da aeronave modelo E190

Conforme mostram as Figuras 10.A, 10.B e 10.C, a torneira de água da *galley* está montada na área de serviço dessa seção. Ela está conectada ao sistema de água potável e ao suprimento de água para o uso dos passageiros e da tripulação. Ademais, possui ventilação própria, e a saída de água possui uma tampa removível com uma tela de malha integrada para evitar contaminação.

## 3.2 Funcionamento

Cada acessório da *galley* está parafusado na estrutura da aeronave. Para entender a disposição dos pormenores, um tirante com um encaixe de desconexão rápida fixa o topo dos acessórios da *galley* na estrutura da fuselagem. Já o piso dos acessórios, composto de uma esteira de vinil, anexa o fundo da *galley* à estrutura do piso da aeronave. Essa esteira serve para impedir danos estruturais no piso, pois existe uma camada de retenção de líquido abaixo dela. A Figura 11 ilustra esse processo.



**Trifásicos:** diz-se de corrente elétrica que tem três fases.

**Desenergizar:** retirar a energia ou o caráter enérgico.

As *galleys* são energizadas pelo barramento de geradores trifásicos de 115 voltagens de corrente alternada, em inglês, *voltage current alternated* (VAC). Esses barramentos do gerador são energizados pelos motores, pela unidade auxiliar de potência, em inglês, *auxiliar power unit* (APU), ou por uma fonte externa. Caso um barramento do gerador fique sem energia, automaticamente, a *galley* também se desenergiza a fim de preservar o sistema de situações críticas. Ressalta-se que o interruptor que libera energia elétrica para esse compartimento está localizado no painel da cabine do piloto.

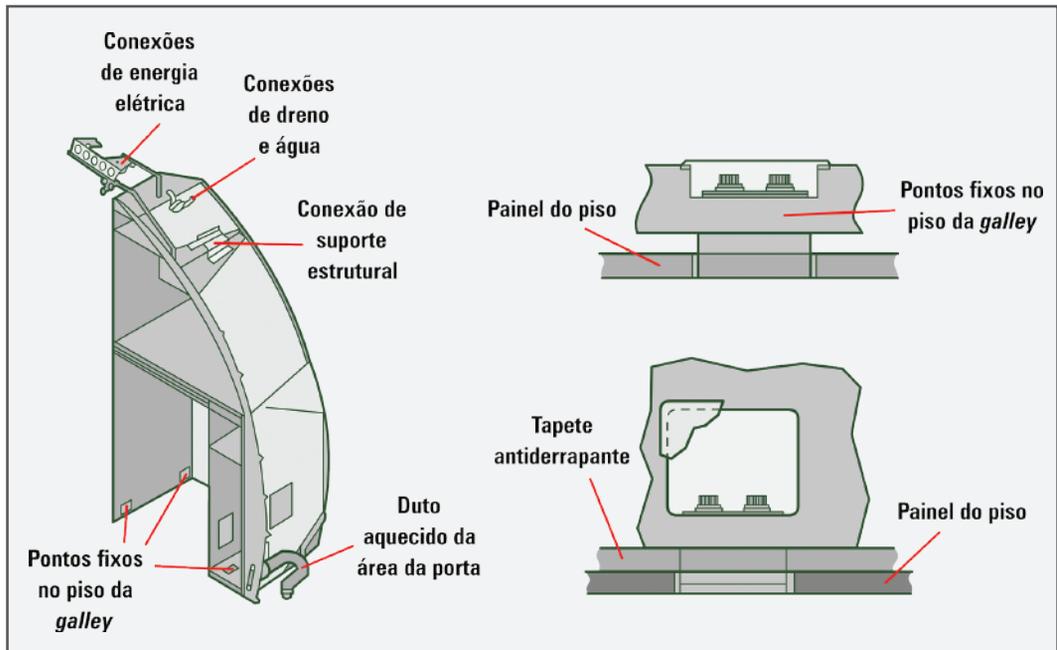


Figura 11 - Galley da aeronave turbofan comercial de grande porte

### 3.2.1 Inspeção, verificação e execução de serviços

Para os procedimentos de inspeção da *galley*, verificação e execução de serviços, deve-se observar o manual do fabricante, que, em suma, orienta da seguinte forma:

- verificar se a *galley* encontra-se *desenergizada*, certificando-se de que o indicador de energização da *galley* está na posição *off* (desligar);
- realizar o duplo *check* nos conectores com multímetro;
- verificar se a válvula de corte está na posição *off* (desligar) na indicação;

- acessar os compartimentos das *galleys*, removendo os *trolleys*, destravando-os e colocando-os em um local seguro;
- acessar os parafusos fixadores do forno pelos compartimentos, desparafusar os cantos da base inferior de cada forno, separar, identificar e retornar ao estoque os parafusos removidos. Depois disso, desplugar os conectores elétricos com cuidado e, em seguida, remover os fornos dos compartimentos para acessar os conectores elétricos ou retirá-los;
- verificar as borrachas protetoras nos compartimentos. Se estiverem em más condições, identificar cada borracha no seu devido local e realizar a substituição;
- averiguar os trilhos dos contêineres e suas condições no seu devido local de instalação, e, caso necessário, efetuar a substituição;
- examinar as condições das divisórias entre os compartimentos e, se necessário, realizar a remoção e instalação de novas divisórias. Certificar-se de que entre os contêineres e suas divisórias laterais não existam folgas excessivas;
- certificar-se de que os retentores, em inglês, *latches*, realmente seguram os contêineres, para que, em manobras bruscas, eles não saiam de seus compartimentos, eliminando tal risco contra a segurança de voo;
- após a checagem dos itens anteriores, plugar os conectores elétricos e retornar os *trolleys* e fornos aos seus locais. Uma vez colocado cada componente em seu compartimento, efetuar o travamento e o fechamento dos retentores;
- verificar se a *galley* está energizada, certificando-se de que está na posição *on* (ligar) na indicação de energização da *galley*;
- averiguar a válvula de corte e certificar-se de que está na posição *on* (ligar);
- realizar o teste funcional da *galley*, verificando-se os retentores (*latches*) e as folgas excessivas de seus constituintes, finalizando o procedimento.

### 3.2.2 Localização e reparo de falhas do sistema

Para verificar a localização e os possíveis reparos das falhas do sistema de *galley*, há vários procedimentos descritos no manual. No entanto, enumeram-se, a seguir, algumas falhas e alguns procedimentos mais comuns.

Em caso de vazamento de torneira, após avaliação manual para verificar se não está quebrada, deve-se realizar o procedimento de isolamento de falhas, da seguinte maneira:

- fechar a válvula de corte de água para as *galleys*;
- substituir ou ajustar a torneira, conforme aplicável;
- abrir a válvula de corte fechada no primeiro procedimento;
- verificar se o vazamento cessou, indicando a solução da falha.

Costumeiramente, também nesse caso ou nas situações descritas mais adiante, o mecânico de aeronaves deve sempre consultar o manual de manutenção do fabricante para toda substituição ou todo ajuste.



**Relé:** eletroímã que tem por função abrir ou fechar contatos elétricos, de modo a estabelecer ou interromper circuitos.

Outra falha que pode ocorrer é a interrupção do fornecimento de energia para a *galley*. Nesse sentido, verifica-se, primeiramente, a localização dos painéis dos interruptores de energia, os relés e a localização dos equipamentos eletrônicos para o acesso da unidade de controle do barramento de energia para as *galleys*. Todavia, um dos últimos casos possíveis na falta de energia para as *galleys* pode ser o rompimento de fios, devendo-se, nesse caso, realizar a localização e o acesso a toda a fiação para verificar se existe rompimento de fios.

É necessária uma avaliação inicial para executar a manutenção que visa restabelecer o fornecimento de energia das *galleys*, segundo enumerado a seguir:

- a) Certificar-se de que a fonte de alimentação fornece energia suficiente para os equipamentos disponíveis nas *galleys*, pois, caso contrário, ocorrerá o corte de carga da *galley*, e a remoção automática de energia elétrica.
- b) Verificar se a energia chega em cada *galley*, posicionando todos os interruptores da *galley* em *on* (ligado).
- c) Realizar os seguintes procedimentos de isolamento de falhas, uma vez comprovada a falta de energia disponível na *galley*:
  - manusear os interruptores de energia da *galley* ou as utilidades da cabine, mudando-os para a posição *off* (desligado);
  - abrir os disjuntores no painel de distribuição de energia;
  - desconectar os conectores de alimentação da *galley* aplicável, não deixando o conector tocar na estrutura da aeronave;
  - fechar os disjuntores no painel de distribuição de energia;
  - posicionar os interruptores de energia da *galley* ou as utilidades da cabine para *on* (ligado);
  - fazer a verificação de alimentação para o pino nos conectores que tenham sido removidos nas *galleys*;
  - se houver um problema com a energia na *galley*, usar o método padrão da companhia aérea para corrigir essa falha, conforme o manual do fabricante.
- d) Realizar, na unidade de controle do barramento de energia para a varredura no sistema, o procedimento de teste denominado BITE, do inglês, *built-in test equipment*, que significa equipamento embutido de teste. Se for detectada a falha, fazer a tarefa de isolamento para a mensagem de manutenção aplicada.
- e) Encontrado o problema, substituir o material e efetuar a confirmação de reparação no final da tarefa.

A Figura 12 exibe um compartimento de *galley*, mostrando os conectores.



Figura 12 - Compartimento da *galley* mostrando ao fundo o conector e a fiação da aeronave *turbofan* comercial modelo B737-800  
Fonte: Foto do autor / © Marcelo Cabral Nunes de Lima.

## Resumindo

Neste capítulo, definiu-se a *galley* e discorreu-se sobre sua função de serviço de alimentação e coleta de lixo. Ademais, foi abordada a localização variada que ela pode obter dentro da aeronave, a depender da opção feita pelo comprador.

Definidos a *galley* e seus componentes, foram vistas eventuais falhas e possíveis soluções, especialmente no tocante ao suprimento de energia e ao funcionamento das torneiras.



# Unidade 3

## Sistemas de comunicação e navegação

Um dos sistemas mais importantes em uma aeronave é o sistema de comunicação e navegação. Por meio dele, é possível o contato da tripulação com os órgãos de controle de tráfego aéreo, os órgãos de busca e salvamento, com outros tipos de estação de terra e ainda com outras aeronaves.

O sistema de navegação auxilia a tripulação a se localizar no espaço aéreo e a localizar seu destino, identificando o rumo e a distância em relação a estações de rádios. Permite também a aproximação ao aeródromo de destino, possibilitando uma navegação segura até o momento do pouso, principalmente melhor substituir a expressão por “quando é realizada uma operação segundo as regras de voo por instrumentos, em inglês, *instrument flight rules* (IFR), ou seja, sem a necessidade de visualização de pontos geográficos.

Tomar conhecimento sobre as noções básicas do funcionamento e da manutenção desse sistema é importante para formação e qualificação do mecânico de manutenção aeronáutica.

Esta unidade é composta de sete capítulos. O capítulo um apresenta os princípios básicos de funcionamento dos equipamentos rádios, assunto de primordial importância para identificar o papel de cada um dos componentes básicos desses equipamentos, conteúdo presente, também, no capítulo dois.

No capítulo três, serão explorados os principais equipamentos utilizados na comunicação aeronáutica. Já os principais equipamentos de navegação das aeronaves serão vistos no capítulo quatro. As características de funcionamento, instalação e manutenção do transmissor localizador de emergência, em inglês, *emergency locator transmitter* (ELT), serão abordadas especificamente no capítulo cinco.

Os cuidados para instalação e a importância de se manter uma rotina de manutenção dos equipamentos do sistema de comunicação e navegação serão discutidos nos capítulos seis e sete, respectivamente. A operação segura da aeronave depende muito do desempenho satisfatório dos seus sistemas. Decerto, isso depende de uma manutenção eficiente e de um pessoal técnico habilitado, utilizando informações técnicas atualizadas, ferramental aplicável e estrutura de manutenção certificada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).



# Capítulo 1

## Princípios básicos do rádio

O sistema de comunicação funciona com a utilização de ondas eletromagnéticas propagadas no espaço. Em razão do seu comprimento diferenciado, estas são classificadas em ondas curtas de alta frequência ou ondas longas de baixa frequência utilizadas para diversos fins, como televisão, rádio, avião, etc.

O princípio de funcionamento do rádio acontece com o objetivo de propagar ondas eletromagnéticas no espaço. Portanto, as ondas de rádio são fundamentais para comunicação e navegação das aeronaves no espaço aéreo controlado, desde a decolagem até o pouso.

### 1.1 Equipamento de recepção e transmissão

O sistema de comunicação compreende, basicamente, a transmissão e a recepção de informações, utilizando a **fonía** entre a aeronave e as estações de terra. Em um espaço aéreo controlado, é praticamente impossível que uma aeronave opere se não tiver um equipamento de radiocomunicação que transmita e receba informações necessárias ao acompanhamento do voo. Caso uma aeronave não tenha esses equipamentos, sua operação fica bastante restrita.

Os sistemas de radiocomunicação normalmente são formados por dois componentes básicos.

- a) Transmissor - é um **transdutor** que converte a informação a ser transmitida em impulsos elétricos. Com o uso de um gerador de **oscilações**, a energia elétrica é transformada em oscilações que irão originar determinada frequência. Por meio de um modulador, é feito o controle das variações na amplitude ou na frequência da onda portadora do sinal de áudio transmitido. A onda portadora tem sua amplitude variada de acordo com as variações da frequência do sinal de áudio transmitido, gerando, assim, a modulação (AM). Quando essa variação afeta a frequência da onda portadora, é gerada uma modulação (FM).
- b) Receptor - é composto principalmente por uma antena que capta as ondas eletromagnéticas, convertendo-as em oscilações elétricas; por amplificadores que alteram a intensidade dessas oscilações elétricas; por um demodulador que extrai o sinal de áudio recebido (**demodulação**) e por alto-falantes que convertem os impulsos elétricos em ondas sonoras para converter os impulsos em ondas sonoras. Na maioria dos receptores, há osciladores que geram ondas de radiofrequência para serem misturadas com as ondas recebidas.

Na aeronave, existem também equipamentos receptores utilizados, como, por exemplo, auxílio à navegação. Por exemplo, um equipamento que auxilia na circulação da aeronave permite que ela possa localizar a si própria e o seu local de destino, baseando-se apenas nesses equipamentos.



**Fonia:** canal de comunicação de voz.

**Transdutor:** sistema ou dispositivo capaz de transformar uma forma de energia em outra.

**Oscilações:** movimentos repetidos periodicamente em intervalos de tempos iguais.

**Demodulação:** operação inversa à modulação, por meio da qual é reconstituído o sinal modulador a partir dos produtos de modulação.

Alguns desses equipamentos mostram aplicações básicas dos sistemas de navegação por rádio em uso nas aeronaves:

- detector automático de direção, em inglês, *automatic direction finder* (ADF);
- sistemas de navegação que utilizam sinais de alcance de alta frequência unidirecional, em inglês, *very high frequency omnidirectional range* VHF (VOR);
- receptores de balizamento (*marker beacon*);
- sistemas de pouso por instrumentos, em inglês, *instrument landing system* (ILS);
- equipamento de medição de distância, em inglês, *distance measuring equipment* (DME) entre a aeronave e a estação de rádio em terra sintonizada;
- radar meteorológico, para verificação das condições climáticas na rota;
- outros sistemas de navegação mais sofisticados que utilizam técnicas eletrônicas avançadas, como computadores, de modo que possam solucionar automaticamente as dificuldades de navegação apresentadas em todas as fases do voo.



**VHF:** esta é a sigla da expressão em inglês *very high frequency* (frequência muito alta) que se refere à faixa de radiofrequência que vai de 30 a 300 MHz.

**VOR:** auxílio a navegação que opera em VHF nas frequências de 108.00 até 117.95 MHz.

**Balizamento:** marcação por meio de balizas; separação; marcação.

## 1.2 Princípios de funcionamento

O princípio de funcionamento de um equipamento rádio pode ser demonstrado basicamente por meio de um simples transformador.

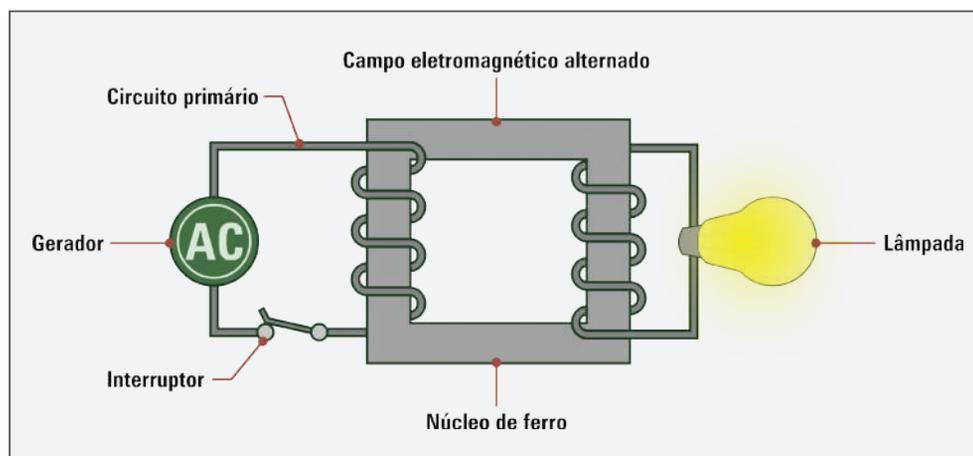


Figura 1 - Esquema de um transformador

Ao acionar o interruptor no circuito primário do transformador, provoca-se o acendimento da lâmpada no circuito secundário. Ao desligar o referido interruptor, a lâmpada apaga-se imediatamente, pois, no circuito, não há uma ligação física entre o primário e o secundário, a não ser o núcleo de ferro. Por conseguinte, a energia que provoca o acendimento da lâmpada é transmitida por um campo eletromagnético alternado no núcleo do transformador. Esse é um exemplo simplificado de controle sem fio no qual a lâmpada, que está no circuito secundário, é acesa pelo interruptor presente no circuito primário.

O conceito básico da comunicação por rádio envolve a transmissão e a recepção de informações mediante ondas de energia eletromagnética (rádio), por meio do espaço.

Quando a corrente alternada passa pelo condutor, este é envolvido por campos eletromagnéticos. Com isso, a energia é alternadamente inserida nesses campos e devolvida ao condutor. À medida que a frequência da corrente alternada é aumentada, a energia que foi inserida no campo retorna cada vez menos ao condutor, pois, em vez de regressar, parte da energia é irradiada para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas.

Quando um condutor se comporta desse modo, ele torna-se uma antena transmissora. Para que esse condutor irradie de forma eficiente, é necessário que um transmissor forneça corrente alternada na frequência selecionada. A frequência da onda de rádio irradiada será igual à frequência da corrente aplicada.

Ao circular a corrente na antena transmissora, as ondas de rádio são irradiadas em todas as direções, da mesma forma como acontece quando uma pedra é jogada em um lago e as ondas são formadas em sua superfície.

As ondas eletromagnéticas emitidas por um equipamento rádio se propagam na velocidade aproximada de 300.000 quilômetros por segundo (equivalente a 186.000 milhas por segundo).

Quando um campo eletromagnético **irradiado** passa por um condutor, ele faz com que a energia desse campo provoque a movimentação de elétrons nesse condutor. Essa circulação de elétrons constitui uma corrente que varia de acordo com as oscilações no campo magnético. Dessa forma, uma variação da corrente na antena irradiante provoca diretamente uma variação semelhante na corrente de outro condutor (antena receptora), localizado a distância.

Qualquer que seja a frequência da corrente circulante na antena transmissora, ela provocará a circulação de corrente da mesma frequência na antena receptora.

## 1.3 Faixas de frequência

Uma onda de rádio é uma onda eletromagnética propagada por uma antena que tem diferentes frequências e é captada ao sintonizar um receptor de rádio em uma frequência específica.

O órgão regulador da radiodifusão nos Estados Unidos da América (EUA) é a *Federal Communications Commission* (FCC) e no Brasil é a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Uma estação de rádio é transmitida por um sinal (FM) na frequência de 91.5 MHz, com as letras (WRKX) atribuídas pela FCC. Se mega-hertz (MHz) significa milhões de ciclos por segundo, pode-se entender que o transmissor da estação de rádio oscila em uma frequência de 91.500.000 ciclos por segundo. Assim, seu receptor de rádio (FM), frequência modulada, pode sintonizar essa frequência específica e receber o sinal de uma estação. Todas as estações (FM) transmitem em uma banda de frequência entre 88 e 108 MHz. Essa banda do espectro eletromagnético é utilizada somente para transmissão de rádio (FM).

O espaçamento de frequência de rádio na gama eletromagnética estende-se de aproximadamente 30 quilo-hertz (kHz) a 30.000 mega-hertz (MHz). Por conveniência de classificação, essa gama foi dividida em faixas de frequência.



**Irradiado:** energia propagada, espalhada.

Cada faixa produz diferentes efeitos na transmissão, as mais úteis e presentemente utilizadas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Gama de frequência - faixa

Baixa frequência - <i>low frequency</i> (LF)	30 a 300 kHz
Frequência média - <i>medium frequency</i> (MF)	300 a 3000 kHz
Alta frequência - <i>high frequency</i> (HF)	3 a 30 MHz
Frequência muito alta - <i>very high frequency</i> (VHF)	30 a 300 MHz
Frequência ultra-alta - <i>ultra high frequency</i> (UHF)	300 a 3000 MHz
Frequência superalta - <i>super high frequency</i> (SHF)	3000 a 30000 MHz

Fonte: BRASIL, 2002, p. 2.

Na prática, os equipamentos de radiocomunicação utilizados nas aeronaves usam somente uma parte da gama designada. Por exemplo, o equipamento de (VHF) opera normalmente nas frequências entre 108,0 e 136,975 MHz.

## Resumindo

Na aviação, o sistema de comunicação e de navegação é primordial para a segurança de voo. Portanto, o equipamento rádio é essencial para que haja a interação entre os tripulantes da aeronave e os demais elementos externos a fim de garantir condições seguras de tráfego no espaço aéreo.

Ademais, esse sistema é imprescindível para a navegação aérea, uma vez que os equipamentos tornam-se figuras-chave na sua localização dentro do espaço aéreo e de seu destino, independentemente ou não da necessidade de serem observados pontos geográficos visíveis, de forma clara e concisa, permitindo que a aeronave chegue ao seu destino final em segurança.

# Capítulo 2

## Componentes básicos dos equipamentos rádios

Para transmissão e recebimento de mensagens, há a necessidade de determinados componentes que produzam uma mensagem a ser transmitida e outros responsáveis por recebê-la e decodificá-la. Para isso, os equipamentos rádios utilizados em aeronaves contam basicamente com os transmissores, os receptores, as antenas, os microfones e as fontes de alimentação.

### Sistema de comunicação

A Figura 2 expõe os componentes básicos dos equipamentos utilizados no sistema de comunicação de uma aeronave.

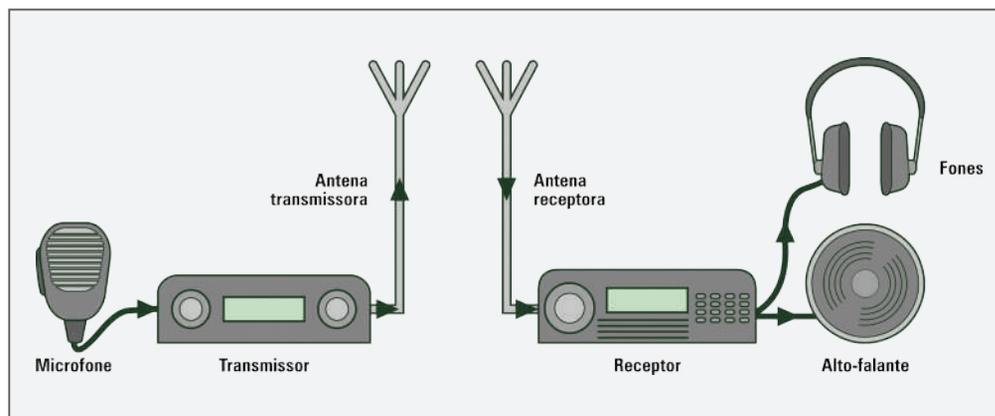


Figura 2 - Equipamentos básicos de comunicação

### Transmissores

O sinal eletromagnético é gerado pelo transmissor para depois ser transmitido para o equipamento receptor. Por essa razão, o transmissor de um equipamento rádio é considerado um tipo de gerador, pois converte a energia elétrica em ondas eletromagnéticas. Para desempenhar esse papel, ele executa as seguintes funções:

- gera um **sinal de radiofrequência**, em inglês, *radio frequency* (RF);
- amplifica o sinal de RF;
- proporciona um meio de modular o sinal de RF.

Por meio de um circuito oscilador, o transmissor gera o sinal de RF (ou uma sub-harmônica da frequência de transmissão, no caso de serem utilizados duplicadores ou multiplicadores de frequência). Além disso, há os circuitos amplificadores responsáveis por elevar o sinal que sai do **oscilador** até o nível de potência necessária à operação adequada.



**Sinal de radiofrequência:** faixa de frequência de ondas de rádio que abrange o intervalo aproximado de 3 kHz a 300 GHz.

**RF:** é a sigla de radiofrequência. Refere-se às frequências inseridas no espectro eletromagnético relacionado com a propagação de ondas de rádio.

**Oscilador:** aparelho que produz correntes elétricas oscilantes, alternadas.



**Amplitude:** medida escalar negativa e positiva da magnitude de oscilação de uma onda.

**Circuito demodulador:** dispositivo que realiza a demodulação de um sinal, separando-o da onda portadora modulada.

Após esse processo, o sinal de fonia (áudio) é adicionado ao sinal de RF por meio de um circuito modulador. Em síntese, o circuito faz a mistura desses dois sinais, em que o de RF torna-se o portador do sinal de áudio a ser transmitido. Por conseguinte, o modulador utiliza o sinal de áudio para variar a **amplitude** ou a frequência do sinal de RF. No primeiro caso, quando há variação da amplitude do sinal de RF, esse processo é denominado modulação em amplitude ou (AM). Já no segundo caso, quando a frequência é alterada, o processo é denominado modulação em frequência ou (FM).

O campo magnético irradiado por uma antena é afetado diretamente pelo nível de potência gerado por um transmissor. Quanto maior for a potência de saída de um transmissor, maior será o alcance do sinal transmitido.

Normalmente, os tipos de transmissores que transmitem em VHF utilizados em aeronaves de pequeno porte, sejam monomotores ou multimotores, têm potências que variam entre 1 a 30 watts, conforme o modelo de equipamento instalado. Entretanto, a potência mínima exigida aqui no Brasil para transmissão VHF em aeronaves é de, no mínimo, 5 watts, de acordo com o estabelecido pela regulamentação aeronáutica. Os aviões executivos e os de transporte comercial podem ser equipados com transmissores de VHF com potências de saída, variando entre 20 e 30 watts, cujas dimensões são maiores.

Os transmissores de comunicação usados na aviação são controlados por cristal, conforme especificado pelos órgãos governamentais, no que diz respeito à tolerância da frequência utilizada. No Brasil, há o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), órgão subordinado ao Comando da Aeronáutica, que estabelece esses parâmetros.

Os transmissores apresentam, em sua maioria, a característica de poder selecionar mais de uma frequência, conforme determinado pelo cristal ou pelos cristais instalados no equipamento. Os transmissores que operam na faixa VHF podem possuir até 760 canais de frequência.

## Receptores

O receptor de comunicação deve selecionar os sinais de radiofrequência e converter a informação neles contida em sinais audíveis ou visuais que possam ser utilizados pela tripulação, conforme o tipo de equipamento.

No ar, existem inúmeras frequências de onda de rádio, assim, um receptor deve ser capaz de selecionar a frequência desejada entre as demais e amplificar a baixa voltagem do sinal (AC) recebido.

Ao contrário do transmissor, o receptor possui um **circuito demodulador** cuja função é a de obter a informação, ou seja, ele a extrai do sinal de (RF). Caso o circuito demodulador seja sensível a alterações de amplitude do sinal recebido, ele deve ser usado para recepção em aparelhos (AM) denominados como detector. Já no caso de um circuito demodulador ser sensível a alterações de frequência do sinal recebido, ele é utilizado para recepção em aparelhos (FM), conhecidos como discriminadores.

Nos receptores, existem circuitos amplificadores cuja função é a de elevar o nível do sinal recebido a uma potência que permita acionar devidamente os fones ou o alto-falante.

## Antenas

Uma antena é um tipo especial de circuito elétrico elaborado para irradiar e receber energia eletromagnética.

Como mencionado anteriormente, uma antena transmissora é um tipo de condutor que irradia ondas eletromagnéticas quando por ele circula uma corrente de radiofrequência. As antenas podem apresentar vários formatos, dependendo da sua finalidade e de acordo com a frequência de transmissão.

De forma geral, as antenas transmissoras de comunicação podem irradiar os sinais em todas as direções, ou seja, são omnidirecionais. Porém existem alguns tipos de antenas especiais que são fabricadas para irradiar em uma direção específica, ou obedecendo a um determinado padrão de emissão.

A antena receptora deve captar as ondas eletromagnéticas que estão presentes no ar. A forma e o tamanho da antena receptora também variam de acordo com a utilização específica para a qual ela foi projetada.

A maioria dos equipamentos de comunicação instalados a bordo de aeronaves tem antenas que atuam tanto como transmissoras quanto receptoras de sinais de ondas eletromagnéticas. Nas figuras a seguir, estão dispostos os tipos de antenas instaladas em aeronaves.

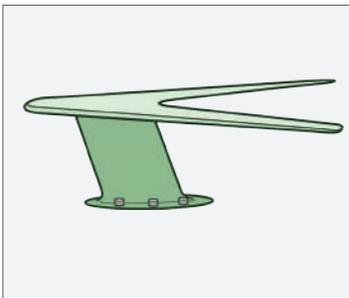


Figura 3.A - Antena de rádio comunicação/navegação

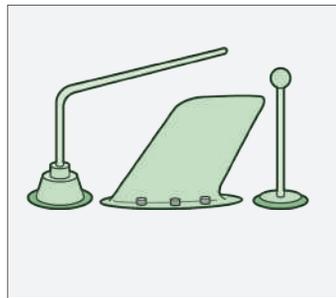


Figura 3.B - Tipos de antenas transmissoras/receptoras de rádio VHF

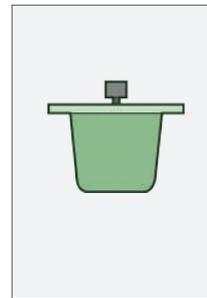


Figura 3.C - Antena de equipamento de detecção de distância (DME)

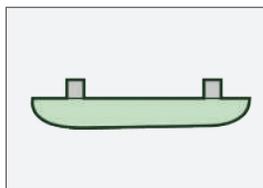


Figura 3.D - Antena de *marker beacon* (receptores de balizamento)

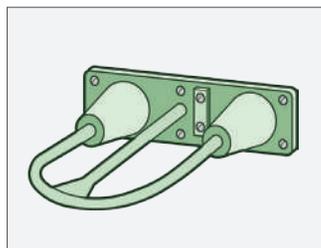


Figura 3.E - Antena de *glide slope* (transmissor de ângulo de descida)

## Microfones

Os microfones são transdutores eletroacústicos que convertem a energia acústica (som) em energia elétrica. Por essa razão, são utilizados para captar sons, como a voz humana, transformando-os em sinais elétricos, os quais são considerados, dessa forma, elementos de interface do homem com circuitos eletrônicos diversos.

Existem muitos tipos de microfones que evoluíram ao longo do tempo e apresentam características diferentes. De acordo com a técnica de construção e o material utilizado na fabricação, os microfones apresentam características distintas que os tornam úteis para determinadas aplicações.

O princípio de funcionamento da maioria dos microfones se dá pela maneira como a energia acústica é transformada ou quando provoca alteração de determinada grandeza elétrica em um circuito. De forma geral, pode-se dizer que a finalidade de um microfone é transformar sons em corrente ou tensão elétrica cuja forma de onda, frequência e intensidade correspondam ao som original.

Quando se fala ao microfone, as ondas sonoras, geradas pela voz humana ou provocadas por algum instrumento, ou qualquer outro tipo de som ambiente, atingem o diafragma fazendo-o vibrar para dentro e para fora, conforme a pressão instantânea aplicada por essas ondas. Esse diafragma fica conectado a um dispositivo que transforma a energia acústica em elétrica, provocando um fluxo de corrente proporcional à pressão aplicada.

Para que se tenha uma boa qualidade sonora, as oscilações elétricas geradas devem corresponder corretamente em amplitude e frequência às ondas sonoras que as originaram, sem que sejam introduzidas novas frequências.

Um bom microfone é aquele que possui maior sensibilidade em captar o som proveniente de uma fonte que esteja próxima, em detrimento dos sons originários de outras fontes que estejam mais afastadas. Portanto, o ideal é que, ao falar ao microfone, os lábios estejam o mais próximo possível do diafragma.

Para que as transmissões de rádio sejam de boa qualidade, os microfones dependem dos seguintes fatores:

- intensidade da voz;
- velocidade da fala;
- pronúncia e fraseologia.

Ao usar o microfone, o tripulante deve falar alto, sem esforço demais e devagar, a fim de que cada palavra seja pronunciada de forma distinta, audível e clara.

## Fontes de alimentação

Para um equipamento rádio funcionar adequadamente, ele precisa ter uma boa fonte de alimentação que forneça as voltagens e as correntes elétricas corretas. Essa fonte pode ser um componente isolado, ou estar inserida no equipamento por ele alimentado. Os **dinamotORES**



**DinamotORES:** sistema eletromecânico constituído por uma fonte de bateria de acumuladores de 24 volts e um gerador alimentado por motor.



e **inversores** são os dispositivos eletromecânicos mais utilizados como fonte de alimentação de equipamentos eletrônicos em aeronaves.

Os dinamotres têm a função de converter as baixas voltagens de corrente contínua (CC) – geralmente fornecidas por baterias – em altas voltagens de CC. Essa baixa voltagem provoca o motor que, por sua vez, faz movimentar o gerador, o qual produz uma voltagem mais alta em seguida. Com isso, o dinamotor transforma a voltagem do sistema elétrico da aeronave, que é muito mais baixa, em uma voltagem relativamente elevada.

A fonte primária de energia elétrica, na maioria das aeronaves, é de corrente contínua, porém boa parte dos equipamentos de bordo necessita de corrente alternada (CA) para funcionar. Para isso, pode-se contar com o inversor, que é um dispositivo, eletrônico ou eletromecânico, capaz de converter uma CC em uma CA. Os inversores mais comuns de aeronave consistem em um motor CC que aciona um gerador CA.

Inversores estáticos ou de estado sólido estão substituindo os inversores eletromecânicos em muitas aplicações. Esses inversores não possuem partes móveis, pois utilizam circuitos e elementos semicondutores, por onde os pulsos de uma corrente CC passam por meio do primário de um transformador, obtendo-se uma saída CA no secundário.

O multivibrador é outro tipo de fonte de voltagem, que também é utilizado para transformar uma baixa voltagem de CC em uma voltagem mais alta de CA ou CC mesmo.

## Resumindo

Neste capítulo, explanou-se que o transmissor é responsável por fornecer o sinal eletromagnético que será enviado ao equipamento receptor por meio de uma antena, que tem a capacidade de transmitir e/ou de receber esses sinais. O receptor fará a seleção dos sinais de RF, extraíndo deles a informação.

Além desses componentes, há o microfone que transforma a energia acústica em sinal elétrico e a fonte de alimentação que gera a energia elétrica necessária ao funcionamento do equipamento rádio.

**Inversores:** dispositivo elétrico ou eletromecânico capaz de converter um sinal elétrico CC (corrente contínua) em um sinal elétrico CA (corrente alternada).



# Capítulo 3

## Sistemas de comunicação

Os sistemas de comunicação permitem a interação da aeronave com as estações de terra e outras aeronaves. Entre os equipamentos utilizados para esse fim na aviação, existem os equipamentos rádios que operam na gama de frequência em VHF e os que operam na gama HF.

### Equipamentos de comunicação

Os sistemas de comunicação das aeronaves variam consideravelmente em tamanho, peso, consumo de energia, qualidade de operação e custo, dependendo da operação desejada. O equipamento rádio mais comum utilizado nesse sistema é o que opera na faixa VHF. Além dele, as aeronaves podem também ser equipadas com equipamentos de comunicação em HF, utilizados principalmente naquelas de grande porte e/ou nas que operam sobre grandes extensões de selva e mar.

A maioria dos sistemas de comunicação VHF e HF das aeronaves utiliza transceptores, que são equipamentos que comportam simultaneamente o transmissor e o receptor (dois em um) e apresentam circuitos comuns tais como fonte de alimentação, antena e sistema de sintonia.

No transceptor, tanto o transmissor quanto o receptor operam na mesma frequência. O momento da transmissão é controlado pelo acionamento do botão do microfone e, quando não há transmissão, o receptor opera normalmente. Tendo em vista que o peso e o espaço são fatores importantes em uma aeronave, o transceptor é largamente utilizado.

Em algumas instalações, os controles para seleção da frequência, do volume e do interruptor liga/desliga estão no próprio equipamento que está instalado no painel de comando da aeronave, como exposto na Figura 4.

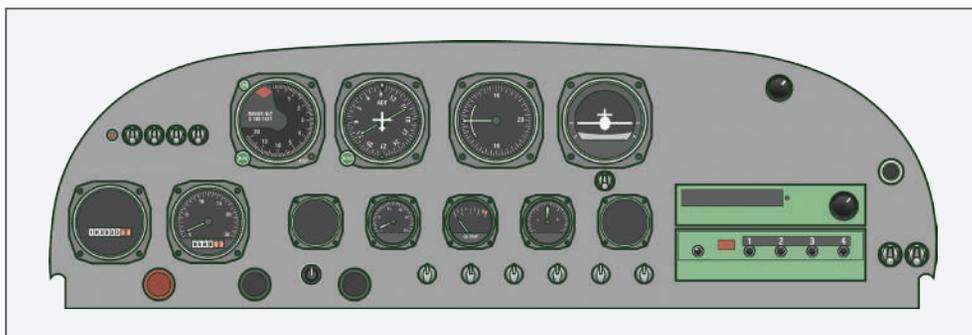


Figura 4 - Transceptor VHF instalado no painel de instrumentos (à direita)

Em outras situações, esses controles acham-se montados no painel localizado na cabine de comando, enquanto o transceptor está instalado em prateleiras situadas em outros locais da aeronave.

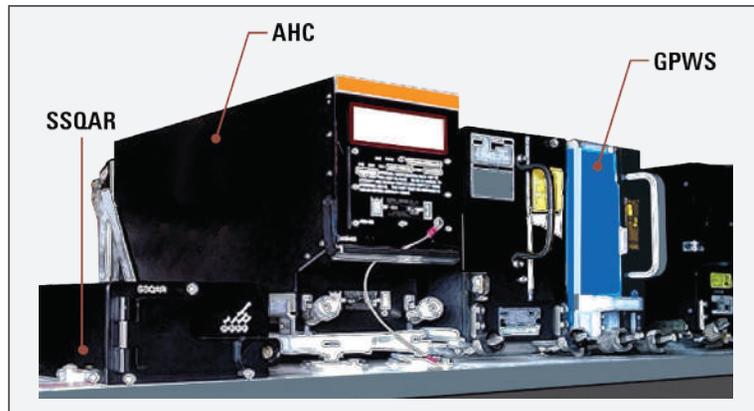


Figura 5 - Compartimento de aviônicos de uma aeronave

## Comunicações VHF

Os equipamentos de comunicação VHF utilizados nas aeronaves operam na faixa de frequência compreendida entre 118,0 e 136,975 MHz, com espaçamento máximo de 25 kHz entre os canais de frequência.

Alguns desses equipamentos são projetados para cobrir apenas as frequências de comunicação, enquanto outros modelos cobrem tanto as frequências de comunicação quanto as de navegação.

Em geral, as ondas de VHF propagam-se em linha reta. Teoricamente, o alcance está limitado a distância em relação ao horizonte, distância essa determinada pela altura das antenas transmissoras e receptoras. Entretanto, na comunicação, é possível que esse alcance chegue a muitas centenas de quilômetros, além da suposta distância em relação ao horizonte.

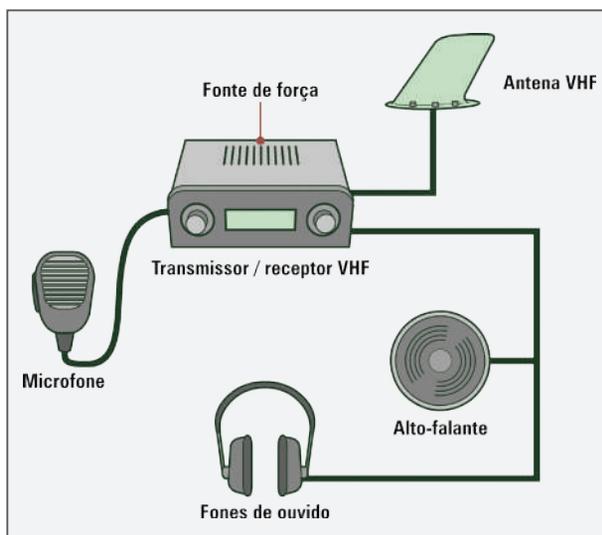


Figura 6 - Diagrama do sistema VHF

Muitos modelos de equipamentos rádio VHF possuem, em uma mesma unidade, o transmissor, o receptor, a fonte de alimentação e os controles operacionais, em que a unidade de controle fica normalmente instalada no próprio painel de instrumentos da aeronave.

Um diagrama do sistema típico de transceptor VHF, montado no painel, é apresentado na Figura 6.

Em outros modelos de sistemas de comunicação VHF, os componentes não fazem parte da mesma

unidade. Por exemplo, a unidade de seleção de frequência e o visor ficam instalados no painel de instrumentos e o restante do equipamento fica instalado remotamente no compartimento de aviônicos.

Nas aeronaves que operam com velocidade de cruzeiro abaixo de 300 mph, o modelo de antena VHF usado é o tipo haste inclinada. Já em aeronaves que operam com velocidade mais elevada, há tubos especialmente projetados para atuarem como antena.

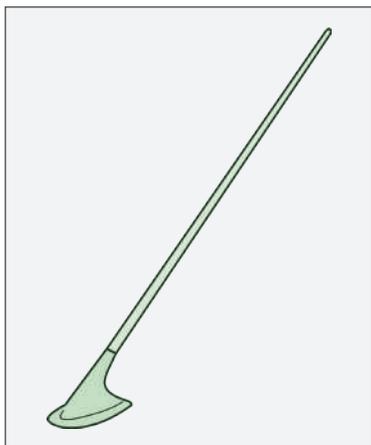


Figura 7.A - Antena de VHF do tipo haste inclinada

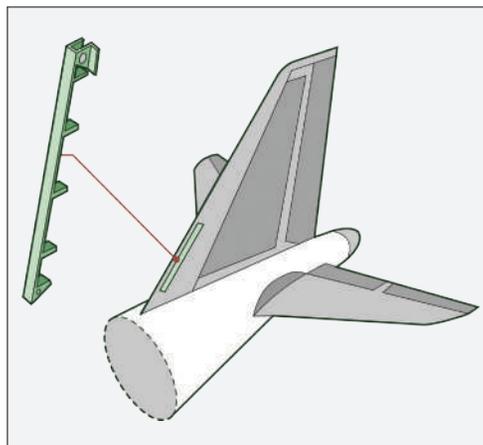


Figura 7.B - Antena VHF do tipo tubo (instalado na empenagem vertical)

Todas as aeronaves civis brasileiras devem possuir uma licença de estação emitida pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), a fim de que tenham a permissão para utilizar os sistemas de comunicação, ou seja, é uma autorização formal para operar esses equipamentos de transmissão radiofônica, como acontece com as estações de rádio convencionais.

Essa licença emitida deve permanecer junto aos demais documentos obrigatórios a bordo da aeronave, pelo menos enquanto estiver sendo operada, pois sua apresentação pode ser requerida em fiscalizações. A licença de estação de aeronave deve ser renovada periodicamente, de acordo com o seu prazo de vencimento, ou quando houver alteração na quantidade e nos tipos de equipamentos de comunicação instalados e, ainda, quando houver mudança do nome do proprietário/operador da aeronave, em caso de transferência ou arrendamento.

## Comunicações HF

Outro tipo de equipamento utilizado nas comunicações aeronáuticas é o equipamento de radiocomunicação HF. Ele opera de forma semelhante ao equipamento de comunicação VHF, porém utiliza a faixa de frequência entre 2 e 30 MHz. Além disso, é utilizado para

comunicações a longa distância, devido ao alcance maior das transmissões. É válido ressaltar que os transmissores de HF possuem maior potência de saída que os de VHF.



Figura 8 - Transceptor HF

Assim como acontece com o sistema VHF, o tipo de antena utilizado nos sistemas HF de comunicação varia de acordo com o tamanho e o formato da aeronave. No caso de aeronaves que voam com velocidade de cruzeiro abaixo de 300 mph, normalmente é utilizado um fio comprido como antena e, no caso de aeronaves que voam em maior velocidade, são utilizados fios de tipo tubular, semelhantes aos de VHF.

## Resumindo

Neste capítulo, tratou-se do sistema mais comum de comunicação utilizado na aviação: o VHF. Além desse equipamento, as aeronaves podem ser equipadas com sistema de comunicação em HF, principalmente as de grande porte e/ou que operam sobre grandes extensões de selva e mar.

Foi visto também que os equipamentos de comunicação VHF operam na faixa de frequência compreendida entre 118,0 e 136,975 MHz, com espaçamento máximo de 25 kHz entre os canais de frequência.

Os equipamentos de comunicações HF operam na faixa de frequência compreendida entre 2 e 30 MHz e são utilizados para comunicações a longa distância, devido ao alcance maior das transmissões.

# Capítulo 4

## Equipamentos de navegação de bordo

Para que a aeronave possa realizar uma navegação segura no espaço aéreo, além do sistema de comunicação, ela dispõe de equipamentos de bordo utilizados como fonte de informações e procedimentos para navegação, principalmente para realização de voos que se baseiam apenas na observação e operação desses instrumentos e equipamentos, em inglês, *instrument flight rules* (IFR).

### 4.1 Sistema de navegação VOR/VHF

O equipamento de navegação mais utilizado no mundo é o *omnidirectional range* VHF (VOR), que opera na faixa de frequência VHF (108.00 até 117.95 MHz) – devido a isso, é denominado VOR, ou seja, faixas *omnidirecionais*. No entanto, com a utilização do sistema de posicionamento global, em inglês, *global positioning system* (GPS), como meio de navegação primária, o fim desse equipamento está muito próximo.

Esse aparelho receptor instalado na aeronave é identificado pelas abreviaturas NAV ou VOR. Por meio desse equipamento, é possível escolher um rumo, em relação à determinada estação selecionada dentro do alcance da aeronave. A gama de frequências utilizadas nessa operação apresenta boa imunidade às interferências provocadas pela estática atmosférica ou de precipitações.

A direção da estação de VOR sintonizada para navegação é mostrada no visor do instrumento localizado no painel da aeronave, denominado indicador de desvio do rumo ou, em inglês, *course deviation indicator* (CDI), apresentado na Figura 9.

Durante a operação VOR, o ponteiro vertical é utilizado como indicador do rumo. Ele também indica quando a aeronave desvia do rumo, bem como a direção que ela deve tomar para atingir o rumo desejado.



**Omnidirecionais:** têm as mesmas propriedades em todas as direções.

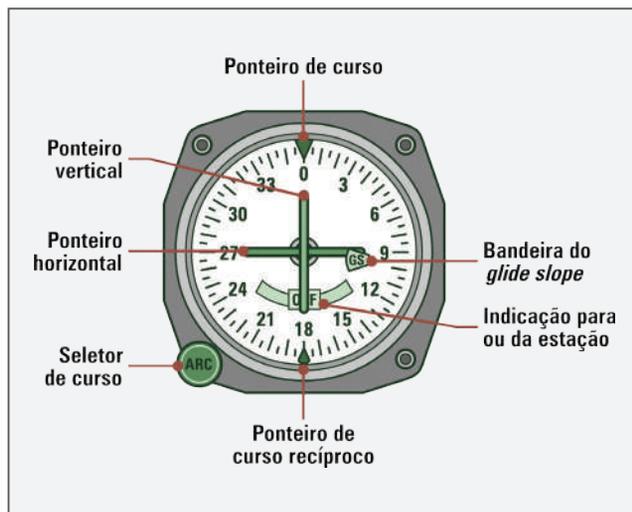


Figura 9 - Indicador de desvio de rumo (CDI)

O sistema de recepção VOR instalado nas aeronaves é formado basicamente pelo equipamento receptor, pelo indicador visual, em inglês, *course deviation indicator* (CDI), pela antena e por uma fonte de alimentação.



Figura 10 - Exemplo de uma unidade de controle de equipamento conjunto de VHF/VOR

## 4.2 Sistema de pouso por instrumentos

O sistema de pouso por instrumentos ou, em inglês, *instrument landing system* (ILS) opera na faixa de frequência VHF. O ILS permite a visualização de uma rampa de aproximação da pista de pouso na qual a aeronave pode prosseguir com segurança. O receptor de navegação VOR funciona como receptor de *localizer* durante a operação ILS.

As estações de ILS operam na frequência de 108,0 a 112,0 MHz, porém usam somente as frequências de decimais ímpares, enquanto as de decimais pares são utilizadas para operação VOR.

O sistema completo em terra é formado por um transmissor localizador da pista (*localizer*), um transmissor de ângulo de descida (*glide slope*) e feixes balizadores (*marker beacons*) para detecção de posição.

O ILS produz um feixe de rádio cujo centro fica alinhado ao eixo da pista. Para que o sinal correspondente à situação da aeronave esteja no curso correto, são emitidos dois sinais de igual intensidade, um modulado na frequência de 90 Hz e o outro modulado a 150 Hz.

O *glide slope* é um feixe de rádio que dá a orientação vertical ao piloto no momento de aproximação para a pista de pouso, pois auxilia ao manter um ângulo de descida correto até a pista. Os sinais são irradiados por duas antenas adjacentes ao ponto de contato da pista, operando na faixa de frequência UHF de 339,3 a 335,0 MHz.

Os equipamentos receptores de sinais de indicação dos sinais de *glide slope* e do sistema de pouso ou aterragem por instrumentos, em inglês, *instrument landing system omnidirectional range*, VHF ILS/VOR instalados na aeronave, podem estar em unidades separadas ou combinados em uma unidade única.

Duas antenas são normalmente necessárias à operação ILS: uma para o receptor de ILS, usada também pelo VOR, e outra para o *glide slope*.

### 4.3 Feixes balizadores

Os feixes balizadores (*marker beacons*) são utilizados conjuntamente com o sistema de pouso por instrumentos. Também são sinais de rádio que operam na frequência fixa de 75 MHz, que indicam a posição da aeronave ao longo de sua descida em direção à pista, ou seja, orientam a distância em que a aeronave se encontra em relação à pista de pouso.

Na aeronave, fica instalado um receptor de *marker beacon* para receber os sinais da antena, convertendo-os em energia que acionará uma lâmpada correspondente, produzindo também tons audíveis, que indicarão a posição em relação ao aeródromo de aproximação.



Figura 11 - Painel de luzes do *marker beacon*

### 4.4 Equipamento de detecção de distância

O equipamento de detecção de distância, em inglês, *distance measuring equipment* (DME), tem como finalidade fornecer um valor de distância da aeronave em relação a uma estação de VOR em terra.

O DME opera na faixa de frequência UHF. As frequências de transmissão compreendem dois grupos: de 962 a 1.024 MHz e de 1.151 a 1.212 MHz; as frequências de recepção estão entre 1.025 e 1.149 MHz. As frequências de transmissão e sua respectiva de recepção formam um par que corresponde a uma frequência de VOR. Em alguns equipamentos, o seletor de frequências do DME é operado conjuntamente com o seletor do VOR, simplificando a operação.



Figura 12 - Painel do DME

## 4.5 Detector automático de direção

O detector automático de direção, do inglês *automatic direction finder* (ADF), é o mais simples e mais antigo equipamento de auxílio de navegação utilizado para operação de voo por instrumentos, em inglês, *instruments flight rules* (IFR). É formado basicamente por um receptor (rádio) equipado com antenas direcionais para indicar a direção da origem do sinal recebido. O ADF é um receptor que sintoniza sinais em frequência (AM), (faixa de 190 até 1750 MHz), transmitidos por estações em terra denominadas por radiofarol não direcional, em inglês, *non directional beacon* (NDB). Pode também sintonizar emissores de rádio em (AM) comuns (*broadcasts*).



Figura 13 - Indicador do ADF

A direção da estação é apresentada por um indicador localizado no painel de instrumento, que fornece a proa da aeronave em relação à estação.

## 4.6 Sistema de controle de tráfego aéreo

O sistema controle de tráfego aéreo, do inglês, *air traffic control* (ATC), ou mais comumente conhecido como *transponder*, é utilizado em conjunto com o radar secundário em terra dos órgãos de controle de tráfego aéreo, cuja finalidade é fornecer uma identificação positiva da aeronave na tela do radar do controlador de voo.

O *transponder* instalado a bordo recebe um sinal de interrogação do radar em terra e responde automaticamente, transmitindo um sinal codificado com as informações de identificação, velocidade e altitude da aeronave.

Os equipamentos instalados nas aeronaves podem operar com dois tipos de códigos: A e B. Outros *transponders* podem também ser dotados de um codificador da altitude em que se encontra a aeronave (modo C), de maneira que possa informá-la ao controlador do radar de terra sempre que for devidamente interrogado.

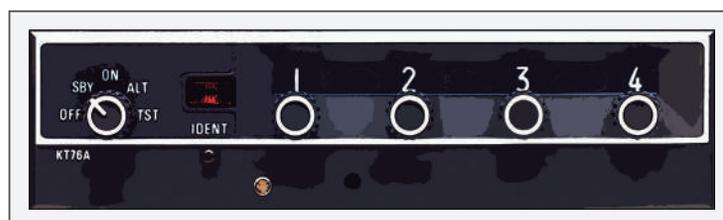


Figura 14 - Transponder



**Transponder:** aparelho emissor-receptor que responde automaticamente a uma mensagem de identificação, ao sinal de um radar; repetidor de radiofrequência.



**Doppler:** relativo a ou que utiliza uma variação de frequência conforme o efeito Doppler.

**Giroscópios:** dispositivo cujo eixo de rotação mantém sempre a mesma direção na ausência de forças que o perturbem, seja qual for a direção do veículo que o conduz.

**Acelerômetros:** dispositivos que podem funcionar a partir de diversos efeitos físicos e tem, portanto, uma ampla faixa de valores de aceleração que são capazes de medir, logo tem uma gama de aplicações bastante elevada.

## 4.7 Sistema de navegação Doppler

O efeito *Doppler* é uma característica observada nas ondas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento em relação ao observador, provocando mudança da frequência. O sistema *Doppler* faz uso desse fenômeno, com a diferença que utiliza ondas de radiofrequência.

Esse sistema emite feixes concentrados de energia eletromagnética em determinada frequência. Ao atingir a superfície da terra, essas ondas são refletidas. As ondas da energia refletida são espaçadas diferentemente em relação às ondas que atingiram a terra. O sinal refletido é interceptado e comparado com o sinal emitido. A diferença entre eles, devido ao efeito *Doppler*, é computada para fornecer as informações de velocidade e deriva.

## 4.8 Sistema de navegação inercial

O sistema de navegação inercial, em inglês, *inertial navigation system* (INS), conhecido também como plataforma inercial, funciona a partir de **giroscópios** e **acelerômetros**, possibilitando, assim, localizar o norte magnético em razão da rotação do globo terrestre.

O sistema inercial faz uso de dois acelerômetros: um com orientação para o Norte e outro para o Leste. Os acelerômetros são instalados em uma unidade estabilizada por giroscópios, denominada plataforma estável, para eliminar os erros resultantes da aceleração devido à gravidade.

O diagrama da Figura 15 mostra como esses componentes acham-se interligados para resolver um problema de navegação. As condições iniciais (coordenadas geográficas do local) são fornecidas ao sistema.

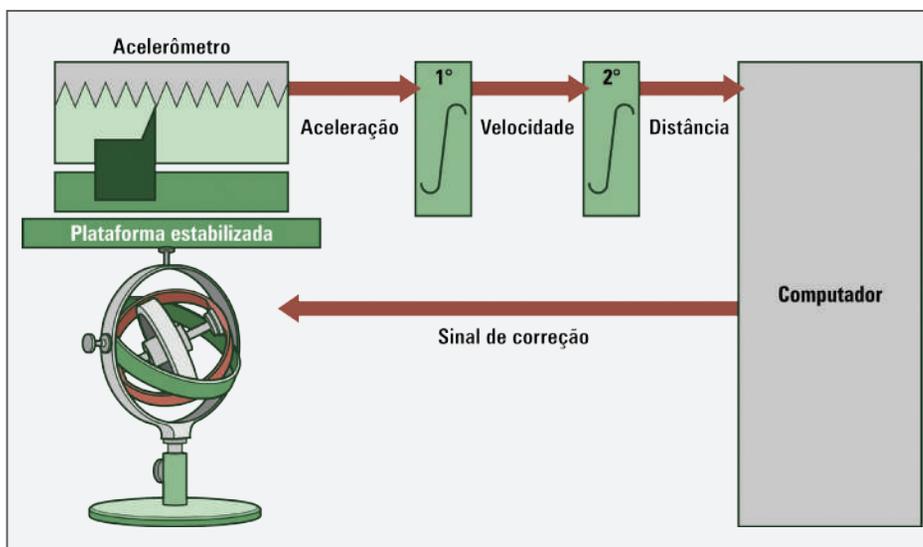


Figura 15 - Sistema básico de navegação inercial

## 4.9 Sistema de radar meteorológico

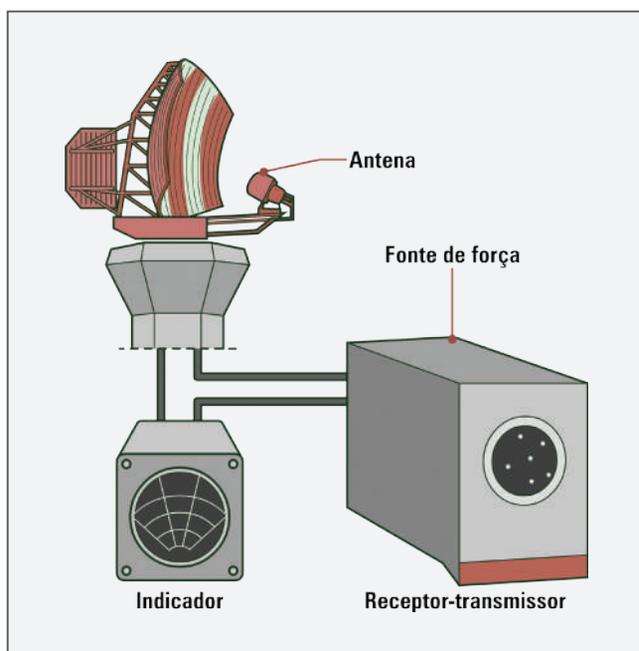


Figura 16 - Diagrama do sistema de radar meteorológico

O radar (detecção e telemetria pelo rádio, em inglês, *radio detection and ranging*) é um equipamento que percebe objetos a longas distâncias. Na aeronave, ele é destinado para mostrar determinados alvos em situações como: escuridão, nevoeiro ou tempestades, mas também é importante em tempo claro. Além disso, ele mostra a distância e a localização desses alvos na tela do radar.

Um sistema radar é constituído pelo transceptor/sincronizador, por uma antena parabólica instalada no nariz do avião, uma unidade de controle e um indicador ou uma tela fosforescente, instalados na cabine de comando. O que liga o transceptor à antena é um guia de ondas.

## 4.10 Sistema radioaltímetro



**Telemetria:** tecnologia que permite a medição e a comunicação de informações de interesse do operador ou desenvolvedor de sistemas.

Os radioaltímetros são equipamentos utilizados para medir a distância vertical da aeronave em relação ao solo. Essa medição acontece por meio da transmissão de sinais de radiofrequência que, em seguida, recebem o sinal refletido.

Tais equipamentos, em sua maioria, são do tipo de emissão de pulso, sendo a altitude calculada pela medição do tempo necessário para o pulso transmitido atingir a terra e retornar à aeronave.

O sistema radioaltímetro consiste em um transceptor, normalmente localizado no compartimento eletrônico, um indicador instalado no painel de instrumentos e duas antenas localizadas na parte inferior da fuselagem.

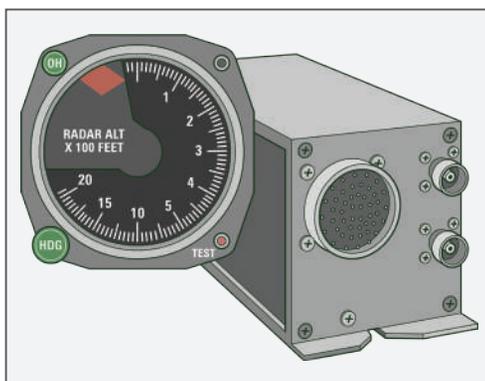


Figura 17.A - Indicador e transceptor do sistema radioaltímetro



Figura 17.B - Antena do sistema radioaltímetro

## 4.11 Sistema de navegação por satélite

O sistema de navegação por satélite, em inglês, *global positioning system* (GPS), é capaz de mostrar o posicionamento geoespacial de um objeto na superfície da Terra por meio do uso de satélites artificiais que estão na órbita do planeta.

O GPS é o mais conhecido sistema de navegação por satélites, mas não é o único. Existem, também, por exemplo, o *glonass* e o *galileo*, além de soluções experimentais em desenvolvimento por outros países.

Esses sistemas partilham de um mesmo princípio de funcionamento, em que o processo de obtenção da posição é chamado de trilateração. Esse processo consiste em utilizar, no mínimo, três satélites que disponibilizam informações horárias para determinação da localização (longitude, latitude e altitude) com precisão de poucos metros para o uso civil, chegando a décímetros para o uso militar. Os receptores utilizam os sinais horários emitidos pelos satélites para calcular, com precisão, o tempo e a posição geográfica em que se encontram.



**Posicionamento geoespacial:**  
determina a localização de uma pessoa ou de um meio de transporte na Terra.



Figura 18 - Indicador GPS

Por conseguinte, o receptor capta os sinais de quatro satélites para determinar as próprias coordenadas e, ainda, o tempo. Então, o receptor calcula a distância a cada um dos quatro satélites pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados: essa distância é chamada pseudodistância. Assim, as localizações dos satélites serão decodificadas a partir dos sinais de micro-ondas (tipo de onda eletromagnética) e de uma base de dados interna.

## Resumindo

Neste capítulo, foram expostos os equipamentos de navegação de bordo que são utilizados como fonte de informações e de procedimentos para a navegação aérea.

O VOR, por exemplo, permite a escolha de um rumo, em relação à estação de terra selecionada ao alcance da aeronave. O ILS apresenta uma rampa de aproximação de pista de pouso e o

*glide slope* possibilita o ângulo correto dessa aproximação. O *marker beacon* indica a posição da aeronave ao longo de sua descida em direção à pista. O DME fornece a distância da aeronave em relação a uma estação de VOR em terra.

Já o ADF permite identificar a direção em relação a uma estação NDB. O ATC *transponder* tem a finalidade de fornecer uma identificação positiva da aeronave na tela de radar do controlador de tráfego aéreo. Em resumo, o sistema de navegação *Doppler* faz uso do fenômeno de mesmo nome para indicar a localização da aeronave em relação ao seu destino. O INS possibilita localizar o norte magnético em razão da rotação do globo terrestre. O sistema de navegação por satélite é capaz de mostrar o posicionamento geoespacial da aeronave por meio do uso de satélites artificiais que estão na órbita do nosso planeta. E, por último, o radioaltímetro é utilizado para medir a distância vertical da aeronave em relação à Terra.

## Capítulo 5

### Transmissor localizador de emergência

O transmissor localizador de emergência TLE, em inglês, *emergency locator transmitter* (ELT), emite um sinal de alarme nas frequências de emergência civil ou militar com o objetivo de fornecer uma orientação para os órgãos de busca e salvamento em caso de acidente.

É um equipamento cujas dimensões são um pouco menores em relação ao volume de uma caixa normal de sapatos, nas tradicionais cores vermelha e amarela de equipamentos de emergência.

#### 5.1 Operação do transmissor localizador

O ELT é acionado automaticamente em decorrência de impacto da aeronave com o solo. Ele pode ser acionado por meio de um controle na cabine de comando ou de interruptor no próprio transmissor.

Na aviação civil, são utilizadas as frequências de 121,5 e 406.0 MHz, com potências de transmissão de 1,5 e 5 W, respectivamente. O ELT instalado em aviões militares opera também na frequência de 243.0 MHz.

O transmissor pode estar localizado em qualquer lugar da aeronave. No entanto, a localização ideal é a mais próxima possível da cauda, perto ou no estabilizador vertical. Ademais, o equipamento deve estar acessível para permitir o monitoramento da data de substituição da bateria e para armar ou desarmar a unidade. Um controle adicional para armar/desarmar pode ser instalado na cabine do piloto.

O transmissor localizador de emergência normalmente está instalado no estabilizador vertical ou no interior do cone de cauda da aeronave. No caso de acionamento por impacto (por meio do sensor localizado no transmissor), só poderá ser desligado por um controle localizado no próprio transmissor.

O teste operacional do transmissor de emergência pode ser executado sintonizando-se um receptor de comunicações na frequência de emergência (121,5 MHz) e ativando-se o transmissor mediante o controle remoto. Desliga-se o equipamento logo que o sinal de emergência seja ouvido.

O acionamento voluntário do ELT deve ser feito apenas para teste, o que deve durar o mínimo possível, e quando estiver sendo utilizado por algum sobrevivente de acidente enquanto se desloca atrás de socorro. O ELT, quando ligado, aciona os órgãos de busca e salvamento,

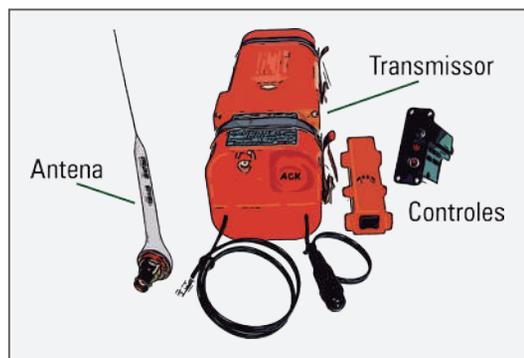


Figura 19 - Conjunto do ELT ACK 406/121,5 MHz

em inglês, *search and rescue* (SAR), e, caso esse acionamento seja inadvertido, haverá sérios transtornos ao sistema SAR.

## 5.2 Localização da aeronave

O ELT envia sinais de emergência após a colisão da aeronave com o solo. Em seguida, do solo, encaminha sinais para satélites, que os retransmitem a estações receptoras na Terra. Estas, por sua vez, enviam os sinais para um centro de controle de missão que, por conseguinte, envia para um centro de coordenação de salvamento, possibilitando dar início às buscas. A precisão da indicação dada pelo ELT pode chegar a alguns metros.

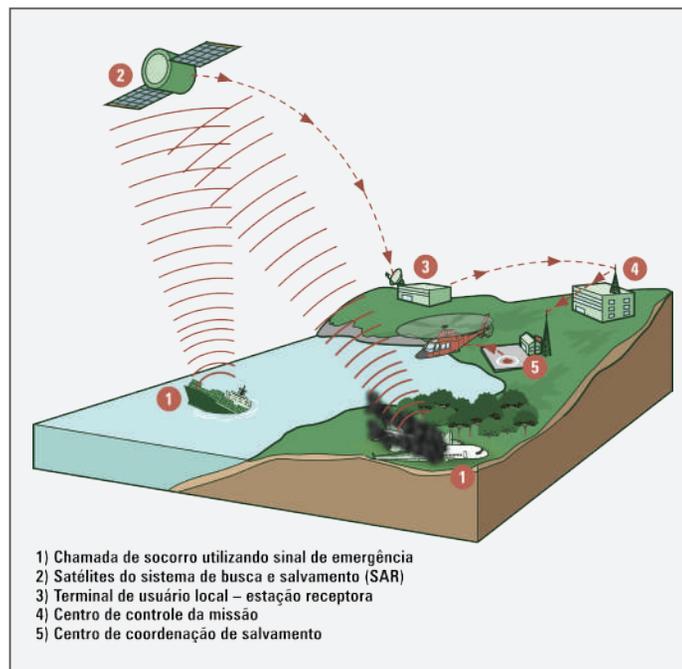


Figura 20 - Visão geral do sistema internacional de busca e salvamento por satélite

## 5.3 Inspeção do ELT

A inspeção do ELT deve ser feita anualmente para verificação das condições de instalação, corrosão da bateria, operação dos comandos e do sensor de impactos e presença de suficiente energia radiante na antena.

A fonte de energia dos transmissores localizadores de emergência é a bateria. Quando ativada, ela deve ser capaz de fornecer energia para transmissão do sinal por, no mínimo, 48 horas. A vida útil é o período de tempo durante o qual ela pode ser estocada sem perder capacidade de operar continuamente o ELT por 48 horas.

As baterias podem ser de níquel-cádmio, lítio, dióxido de magnésio, ou do tipo *células secas* e devem ser trocadas ou recarregadas quando atingirem 50% de sua vida útil, ou quando o



**Células secas (baterias):**  
tipo de bateria em que a solução eletrolítica existe na forma pastosa.

transmissor tiver sido usado por tempo acumulado superior a 1 (uma) hora. Nesse sentido, ao observar essas condições, permite-se que o ELT opere adequadamente, se ativado.

Salienta-se que a data de substituição da bateria deve estar visível no exterior do transmissor, a qual deve ser calculada a partir dos dados do fabricante. Esse ponto é a referência para calcular a sua permanência em um ELT, ou seja, a bateria deverá ser trocada ou recarregada com 50% do seu tempo de estocagem, sem requerer adição de água. Quando for necessário substituí-la, deve-se sempre usar a bateria recomendada pelo fabricante do ELT.

Não se deve usar a bateria do tipo utilizado em lanternas, uma vez que suas condições e vida útil são desconhecidas.

## **Resumindo**

Neste capítulo estudou-se sobre o ELT, um transmissor que emite um sinal de alarme nas frequências de emergência civil ou militar e destina-se a fornecer uma orientação para busca e salvamento em caso de acidente.

Foi possível conhecer que sua operação deve ser automática em decorrência de impacto da aeronave com o solo. Ele também pode ser acionado por intermédio de um controle na cabine de comando ou de interruptor no próprio transmissor.

Explicou-se, ainda, que a inspeção do ELT deve ser feita anualmente para verificação das condições de instalação, corrosão da bateria, operação dos comandos e do sensor de impactos e presença de suficiente energia radiante na antena.



# Capítulo 6

## Instalação de equipamentos de comunicação e de navegação

Instalação de equipamentos de comunicação e de navegação é uma atividade na qual o mecânico habilitado em célula tem grande relevância. Ele é responsável por preparar ou reparar os locais de instalação, como recorte de chapas metálicas para montagem de equipamentos, suportes, antenas, etc. e também o local de passagem da fiação de alimentação, integração com outros equipamentos e com as antenas.

Ao substituir, instalar ou modificar equipamentos que fazem parte dos sistemas de comunicação da aeronave, devem-se levar em consideração alguns detalhes, como tamanho e peso dos equipamentos, carga elétrica, localização, espaço físico disponível. Alterações anteriores também devem ser levadas em conta, uma vez que pode haver modificação do projeto de tipo da aeronave.

### 6.1 Características da instalação

A instalação do equipamento deve ser precedida de ações devidamente planejadas. O resultado deve facilitar trabalhos de inspeção das condições do sistema, manutenção dos equipamentos, **cablagens**, **dutos**, antenas, remoção e instalação conforme a necessidade.

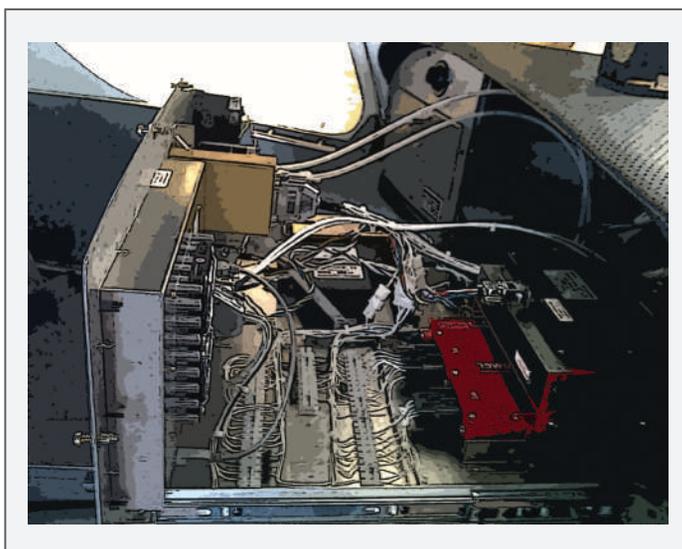


Figura 21 - Painel de instrumentos aberto

Os dados técnicos recomendados pelo fabricante da aeronave na escolha do local de instalação do equipamento e suas partes devem ser analisados, pois, como responsável pelo projeto de tipo, ele tem as melhores informações para o início do planejamento. Caso não haja informação à disposição ou o fabricante não tenha previsto algum tipo de instalação, deve-se escolher



**Cablagens:** conjunto dos cabos necessários a determinado equipamento ou serviço de transmissão.

**Dutos:** tubo (ou cano) cilíndrico oco comprido geralmente fabricado em cerâmica, metal ou plástico.

um local na aeronave que tenha a rigidez física suficiente para suportar o peso e o tamanho do equipamento. Decerto, é necessário aguentar as forças que agem dependentemente da inércia, com o intuito de não resultar em danos nem para o equipamento nem para a estrutura adjacente, ou outros sistemas da aeronave.

Ao se instalar equipamentos no painel de instrumentos da aeronave que não tenham provisão prevista para tal, deverá ser analisada se a estrutura básica tem condições de sofrer alterações. Exemplo: recorte para abertura. Normalmente, instala-se uma cantoneira para reforçar a região.

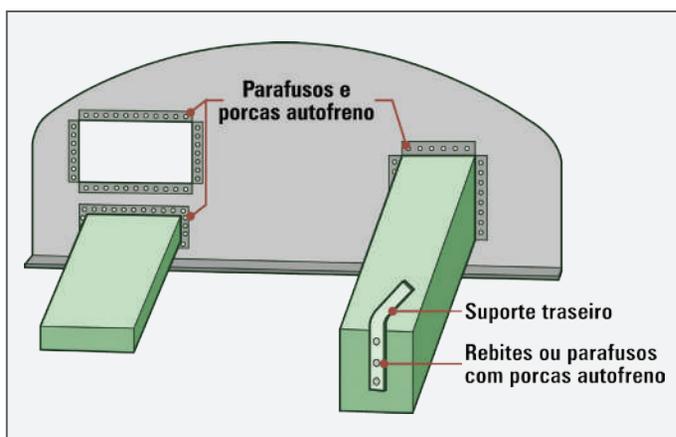


Figura 22 - Instalação típica de equipamento rádio em um painel estacionário de instrumentos

A instalação deve ser feita de forma firme, evitando a queda do equipamento ou o acometimento de outros acessórios. Para isso, devem ser usados parafusos apropriados, como, por exemplo, os autofrenantes, pois evitam que a instalação fique frouxa (solta) devido à vibração. Ademais, é necessário evitar que o equipamento rádio fique muito próximo de outros equipamentos ou outras estruturas. Nesse sentido, deve haver um espaço adequado que evite danos mecânicos em virtude do atrito e das vibrações decorrentes da operação normal da aeronave ou, ainda, anormal, como no caso de pouso brusco e turbulências.



**Inércia:** propriedade que têm os corpos de não modificar por si próprios o seu estado de repouso ou de movimento.

**Cantoneira:** peça metálica composta de duas abas, simétricas ou não, formando um ângulo de 90 graus.

**Autofrenantes:** qualidade que determinados parafusos e porcas possuem, uma vez que não necessitam de meios auxiliares de frenagem.

**Chapas defletoras:** placa que envolve as cablagens para fins de isolamento.

**Carenagens:** estrutura ou componente aerodinâmico; revestimento protetor de certas peças de avião, para reduzir a resistência do ar.

**Coolers:** conjunto de dissipação térmica para diminuição do calor.

A fiação não deve passar próxima de dutos ou acessórios que contenham substâncias inflamáveis, como, por exemplo, as tubulações de combustível da aeronave, para evitar o risco de incêndio e até de explosões. Se não for possível manter esse afastamento, devem ser adotadas medidas de proteção, como instalação de chapas defletoras ou carenagens com o intento de isolar a cablagem e evitar a contaminação pelos materiais inflamáveis, caso haja falha nas respectivas tubulações.

## 6.2 Arrefecimento e umidade

O calor e a umidade excessivos são dois grandes inimigos para os equipamentos elétricos, eletrônicos e instrumentos. Devido a isso, ao planejar a instalação de novos equipamentos, devem ser adotadas medidas que possam dissipar o calor de forma rápida, como, por exemplo, a instalação de exaustores ou coolers.

Nesse planejamento, é necessário prever, também, como evitar a entrada de água nos compartimentos de abrigo, pois a umidade provoca oxidação e pode, inclusive, ocasionar curtos elétricos capazes de danificar o equipamento e originar danos maiores à aeronave.

## 6.3 Isolamento da vibração

A vibração do equipamento rádio, do seu compartimento e das suas partes, é um fator a ser evitado, pois que esses acessórios possuem uma sensibilidade muito elevada e podem sofrer danos ou interferências indesejáveis na sua operação. De acordo com o tipo de aeronave, a frequência e a amplitude da vibração da estrutura podem ser muito diferentes de outros tipos de aeronaves.

Com a finalidade de evitar esse problema, normalmente, são utilizadas bases apropriadas que absorvem a vibração, isolando ou atenuando a sua força. O peso do equipamento deve ser levado em conta na escolha das bases para não exceder a capacidade dos amortecedores.

A princípio, para os equipamentos instalados no painel dos pilotos, não há necessidade de proteção, uma vez que ele está preparado para absorver a vibração. Ressalta-se, portanto, que os equipamentos precisam ficar distantes entre si para evitar atrito. Contudo não se deve descartar o peso deles, em virtude de ser preciso reforçar as bases do painel, as quais devem ser inspecionadas periodicamente com o intuito de realizar as devidas substituições no caso de serem detectados problemas.

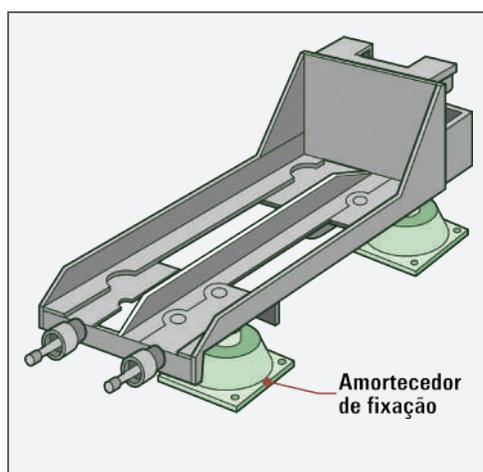


Figura 23 - Base típica à prova de choques

Com vistas a verificar se os amortecedores não estão danificados, é necessário inspecioná-los periodicamente para verificar se a elasticidade e a dureza não foram afetadas e se a base está bem firmada.

A base não deve ser muito flexível nem muito rígida para evitar que as vibrações se prolonguem de forma inadequada após o choque inicial. Os amortecedores são normalmente feitos de material isolante, à prova de choque e, por esse motivo, deve haver uma ligação do equipamento eletrônico com a estrutura da aeronave a fim de servir como fio massa (*bolding*), por meio de fios ou lâminas metálicas de cobre ou alumínio.

## 6.4 Redução da radiointerferência

A radiointerferência pode atrapalhar o funcionamento correto dos equipamentos rádios e, devido a isso, devem ser adotadas medidas capazes de minimizá-la.

Pode-se usar o método do isolamento que consiste em afastar as fontes geradoras de radiofrequências dos circuitos de entrada do equipamento afetado. Isso quer dizer que, ao se afastar o fio de entrada da antena em alguns centímetros da fonte de interferência, praticamente elimina-se o ruído em um equipamento receptor. Essas fontes de interferência podem ser comutadores, sistemas de controle de hélice, dispositivos elétricos rotativos, sistemas de ignição, reguladores de voltagem e linhas de energia de CA.



**Bolding:** tipo de malha metálica com a finalidade de atuar como fio terra.

**Radiointerferência:** fortes ruídos recebidos no receptor que interferem na qualidade do sinal recebido.

**Comutadores:** dispositivo eletrônico que muda a direção de uma corrente elétrica.



**Terra (fio terra):** tipo de conexão que permite que picos de energia sejam diretamente encaminhados para a estrutura da aeronave, de modo que sejam absorvidos, evitando danos aos equipamentos.

O uso de elementos *bolding* também é útil para diminuição dessas interferências, pois funcionam como fio massa, ligando o equipamento à estrutura da aeronave e realizando o fio terra.

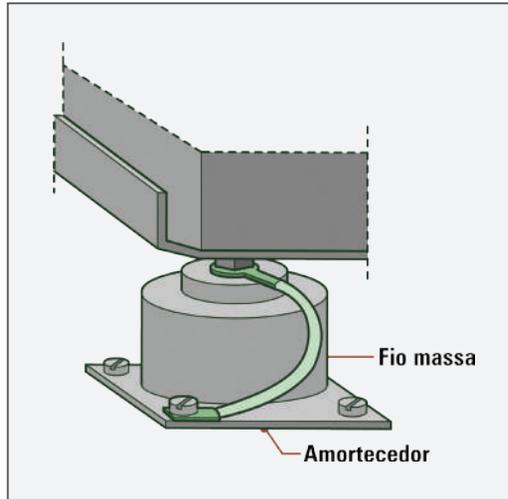


Figura 24 - Elemento *bolding*

## 6.5 Descarregadores de estática

Descarregadores de estática, em inglês, *static dischargers*, ou, ainda, *static wicks*, são componentes instalados com a finalidade de descarregar a energia estática acumulada na superfície da aeronave devido ao atrito com o ar. Essa eletricidade pode causar danos e/ou interferências nos equipamentos eletrônicos embarcados.



Figura 25.A - Finalidade dos descarregadores estáticos

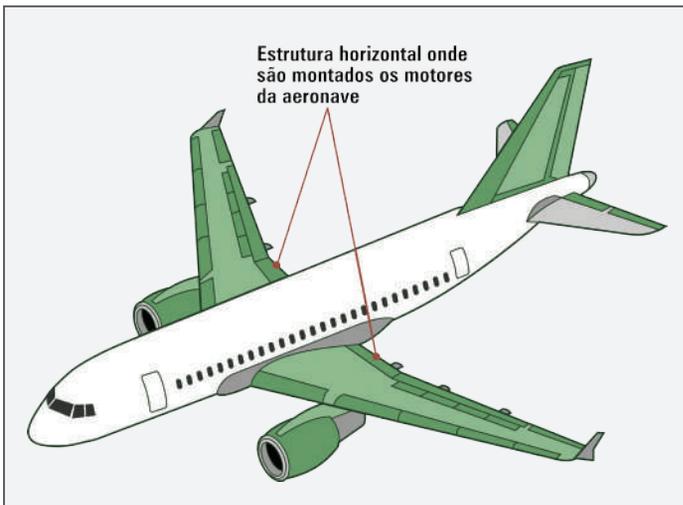


Figura 25.B - Localização dos descarregadores de estática na aeronave

Os principais tipos de descarregadores de estática encontrados são:

- de cabo trançado flexível - impregnado de prata ou carbono e recoberto com vinil;
- de cabo trançado metálico semiflexível;
- de campo nulo.

Eles são fixados por meio de parafusos metálicos à estrutura da aeronave e são objetos de verificação periódica para análise de suas condições.

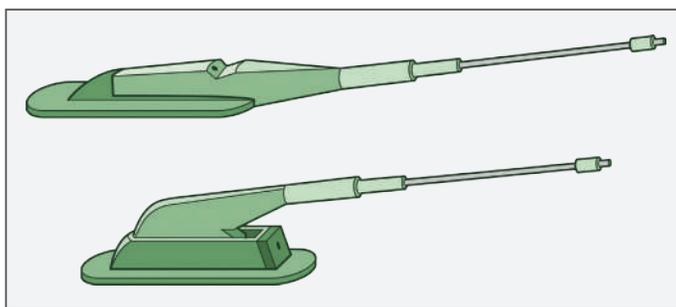


Figura 26 - Exemplos de descarregadores estáticos do tipo cabo trançado flexível

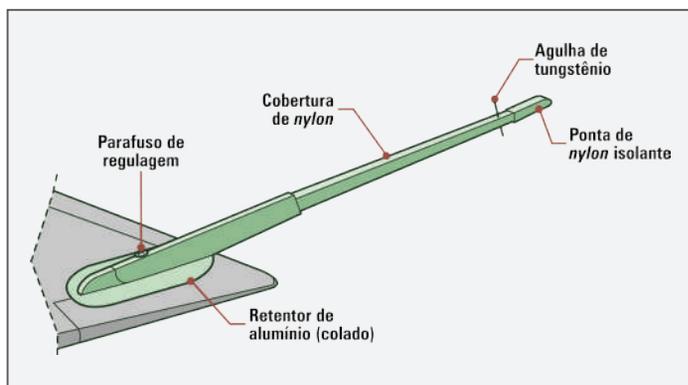


Figura 27 - Descarregador de estática do tipo campo nulo

Os do tipo campo nulo são rebitados à estrutura da aeronave, podendo utilizar adesivos epóxi para melhor fixação.



**Adesivos epóxi:** plástico termofixo que se endurece quando se mistura com um agente catalisador ou endurecedor.

**Polarização:** medida da variação do vetor (arranjo tridimensional) do campo elétrico das ondas eletromagnéticas em relação ao tempo.

**Impedância:** oposição que um meio material oferece à propagação do campo eletromagnético.

## 6.6 Instalação de antenas na aeronave

O mecânico de aeronaves precisa dominar o conhecimento básico acerca do equipamento rádio, principalmente quanto à instalação e à manutenção da antena.

Existem diversos tipos de antenas que podem variar de forma e tamanho, de acordo com sua finalidade. Portanto, elas devem estar bem fixadas e colocadas em locais que sejam livres de interferência, ter a mesma polarização que a estação terrestre e ter a mesma impedância que o transmissor ou o receptor a que estão ligadas.

Para que seja feita uma boa instalação de antena, deve-se utilizar um gabarito colocado sobre a linha de centro longitudinal da localização desejada. Após isso, os furos de fixação devem ser abertos na chapa da fuselagem e o furo para passagem do cabo da linha de transmissão deve estar de acordo com seus diâmetros.

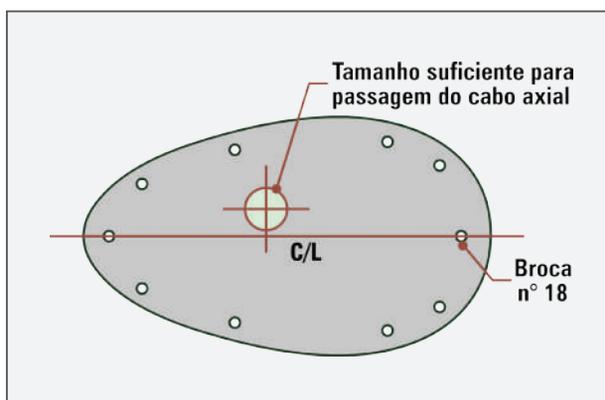


Figura 28 - Gabarito para instalação de antena

Também deve ser instalada uma chapa de reforço com espessura suficiente para aumentar a rigidez da fuselagem naquele ponto, principalmente no caso de aeronave pressurizada.

Após isso, a antena é instalada na fuselagem e os parafusos são fixados adequadamente, proporcionando boa fixação na **gaxeta**. Caso esta não seja utilizada, deve ser providenciado selamento entre a antena e a fuselagem com a utilização de pasta de cromato de zinco ou outro material selante equivalente.

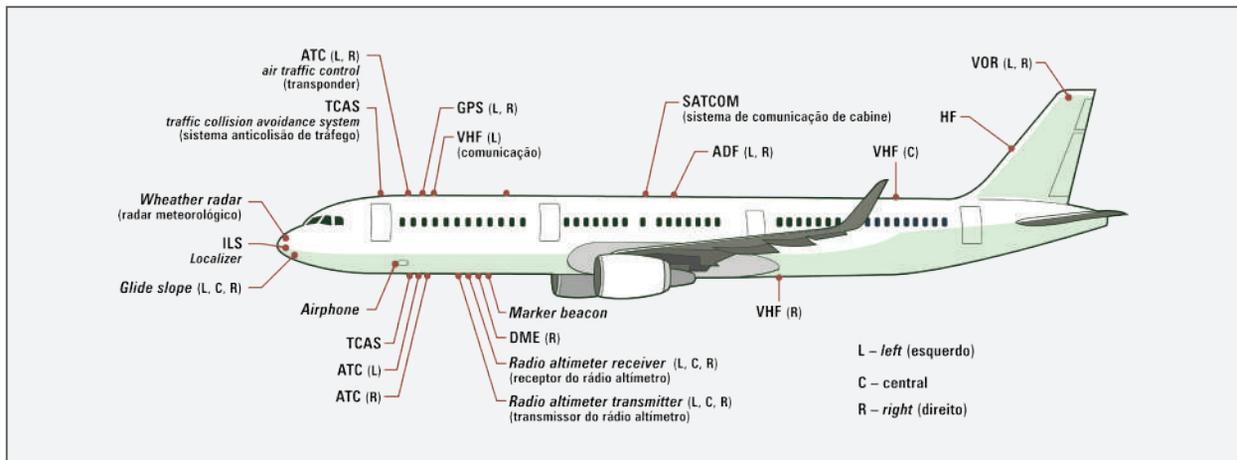


Figura 29 - Exemplo de localização de antenas dos seguintes equipamentos



## 6.7 Linhas de transmissão

**Gaxeta:** trançado de material compressível (borracha) que se coloca nos bordos das antenas, para melhor se garantir a vedação junto à fuselagem.

**Casadores de impedância:** pequeno aparelho de montagem simples que não necessita de energia de uma fonte de voltagens para funcionar. Corrige os problemas de casamento errado entre o cabo e a antena.

Nas linhas de transmissão que ligam os equipamentos receptores ou transmissores à antena, devem ser utilizadas fiações blindadas (cabos coaxiais) que atenuem consideravelmente interferências eletromagnéticas indesejáveis. A função dessa linha é conduzir, com perda mínima, a energia de radiofrequência obtida pelo amplificador de potência do transmissor à antena para que esta seja irradiada.

No caso do equipamento receptor, a linha de transmissão liga a antena ao primeiro circuito sintonizado desse receptor.

O comprimento das linhas de transmissão pode variar de acordo com o tipo de equipamento transmissor ou receptor. Alguns desses equipamentos precisam de linhas que tenham o tamanho de acordo com os pulsos de radiofrequência. O comprimento correto das linhas produz atenuações mínimas aos sinais transmitidos ou recebidos, portanto, devem-se levar em conta as instruções contidas no manual de instalação do fabricante do equipamento para determinação do tipo e do tamanho aplicável da linha de transmissão.

Devido às suas características, como linha não balanceada que funciona com uma antena balanceada, o cabo coaxial é muito utilizado nas instalações de linhas de transmissão. Para isso, é necessário estabelecer o correto casamento de impedância de modo que possa aumentar a eficiência na transferência de energia, podendo-se utilizar **casadores de impedância** (*balun*), que fazem parte da antena e só são visíveis quando ela é desmontada. Para melhor eficácia, esses cabos não devem ser instalados ao longo de outros conjuntos de fios e nem fixados a eles.

Caso seja necessário desviar o cabo coaxial, o diâmetro da curva deve ser pelo menos 10 vezes maior que o diâmetro do cabo.

## **Resumindo**

Neste capítulo, foram vistos os cuidados especiais para instalação de equipamentos que fazem parte dos sistemas de comunicação e navegação, uma vez que deve haver uma observação criteriosa com o intuito de evitar danos aos componentes e à estrutura da aeronave.

Foram vistas, também, as precauções que devem ser adotadas para minimizar interferências eletromagnéticas entre os equipamentos da aeronave para um funcionamento com o máximo de eficiência. Tais serviços são feitos ou supervisionados, em sua maioria, pelo mecânico de manutenção aeronáutica especializado em célula de aeronaves.



# Capítulo 7

## Manutenção do equipamento rádio

Para que uma manutenção seja realizada adequadamente, é necessário observar os procedimentos inseridos nas instruções de aeronavegabilidade continuada disponibilizadas pelo fabricante do equipamento ou pela autoridade de aviação civil.

### 7.1 Rotina de manutenção

Uma aeronave deve cumprir compulsoriamente um programa de manutenção recomendado pelo fabricante ou aprovado pela autoridade aeronáutica, de modo que a condição de voo segura possa ser garantida. A rotina de manutenção refere-se a tarefas de inspeção e/ou manutenção de sistemas e partes da aeronave. O seu propósito é verificar o funcionamento correto e a substituição dos componentes que tenham atingido o limite de horas, ciclos e calendário previstos pelo fabricante por ocasião da aprovação do projeto de tipo da aeronave.

Podem ser considerados como instruções de aeronavegabilidade continuada: manuais de manutenção, manuais de revisão geral, manuais de operação, catálogos de peças, diagramas elétricos, diretrizes de aeronavegabilidade, boletins de serviço, etc.

Tanto o programa de inspeção quanto as tarefas de manutenção estão detalhados nessas publicações e devem ser observados, obrigatoriamente, de acordo com a tarefa a ser realizada.

Encontram-se, no manual de manutenção da aeronave, instruções de instalação ou remoção de equipamentos do sistema de comunicações e navegação, assim como outros equipamentos. O manual de instalação do próprio equipamento também é importante, pois apresenta informações primordiais no planejamento de modificação da aeronave e seus sistemas, conforme aplicável. Isso é necessário para posterior aprovação pela autoridade aeronáutica no caso de ser considerada uma grande modificação.

O manual de diagrama elétrico também é muito importante. Ele é útil para o cálculo de carga elétrica e até de possíveis interferências que possam acontecer.

O técnico, portanto, precisa estar atento aos detalhes e às instruções a respeito da instalação de equipamentos. Dessa maneira, evitam-se falhas ou mau funcionamento em decorrência de um trabalho inadequado. São exemplos de um serviço mal executado: conexões dos cabos frouxas, fios ligados de forma inversa, podendo provocar a queima do equipamento, cabos condutores (*bonding*) deficientes, frenagem ineficiente e falta de teste operacional após a instalação.

## 7.2 Procedimentos de manutenção

Aspectos importantes a serem verificados na manutenção é o bom estado das bases nas quais os equipamentos foram montados e a verificação da presença de substâncias contaminantes, como graxas, líquidos inflamáveis e até água, procurando investigar a origem de tais materiais. O principal objetivo é evitar contaminações futuras, além da limpeza adequada do local.

Na verificação das cablagens, devem ser observados:

- condições físicas da fiação;
- fixação (devem estar devidamente *frenadas*);
- rupturas;
- sinais de curto, como pontos de queima da fiação e instalação;
- conexões que não podem estar frouxas nem provocar mau contato.

Ressalta-se a relevância em realizar testes operacionais no sistema para verificar seu bom funcionamento. Caso contrário, deverão ser tomadas as medidas corretivas necessárias. Por exemplo, pode ser feita a remoção do equipamento para enviá-lo a uma oficina de manutenção certificada e, caso seja necessário, a instalação de um equipamento substituto.

Para todas as tarefas de manutenção, inspeção, instalação e remoção de equipamentos, devem ser observadas as instruções aplicáveis de aeronavegabilidade continuada. Ademais, é importante verificar se os elementos *bonding* estão desempenhando a ligação eficiente do equipamento eletrônico, montado em uma base, com a estrutura da aeronave executando, de forma eficiente, seu papel como fio massa.

## Resumindo

Neste capítulo, explicou-se que a execução da manutenção adequada é bastante exigida pela autoridade aeronáutica, sendo, portanto, fator primordial ao bom funcionamento dos sistemas de comunicação e de navegação da aeronave.

Além disso, foi exposta a importância de se observar as instruções de aeronavegabilidade continuada com o propósito de evitar falhas nas tarefas desempenhadas, como instalação e/ou remoção de equipamentos, reparos, manutenção e itens de inspeção.

A realização de testes operacionais foi outro ponto apresentado, pois demonstra as condições de funcionamento dos equipamentos, a fim de que as falhas sejam notadas antecipadamente e corrigidas antes da realização do voo. Esses testes podem ser realizados pelo mecânico de manutenção aeronáutica especialista em célula e também pelos pilotos da aeronave.



**Frenadas:** travadas, apertadas.

# Unidade 4

## Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

O 14 BIS foi o primeiro aparelho mais pesado que o ar a alçar voo. Desde então, profissionais buscam superar os limites das aeronaves em relação à velocidade, ao tamanho, às altitudes, etc.

Com efeito, a superação de limites envolve problemas que exigem soluções. No que diz respeito às altitudes de voo alcançadas pelas aeronaves, na medida em que sobem na atmosfera, a temperatura diminui em torno de 2 °C para cada 1.000 pés (0,65 °C para cada 100 metros). Com isso, a formação de cristais de gelo torna-se um problema à estrutura da aeronave, impondo desafios.

Os incêndios também são problemas a enfrentar. As aeronaves possuem materiais e produtos químicos altamente inflamáveis, utilizados nos sistemas para o conforto e o perfeito funcionamento. Por isso, há necessidade de um sistema de proteção contra fogo, visando à segurança da aeronave e dos passageiros.

Para apresentar as particularidades desses temas, esta unidade está dividida em sete capítulos. O primeiro apresenta os sistemas antigelo e um breve resumo de como se processa a formação de gelo. No segundo, são explicitados o funcionamento, a manutenção e a operação dos sistemas pneumáticos. A atuação do ar quente, a fim de evitar o gelo e manter as superfícies secas, é tratada no terceiro capítulo.

Em seguida, o quarto traz informações a respeito da formação de gelo e do excesso de água nos para-brisas, nas hélices e no tubo de *pitot*. No quinto capítulo, são apresentados os sistemas que evitam o acúmulo de água. O sexto, por sua vez, explica os sistemas para detectar e para proteger as aeronaves contra o fogo. Finalmente, no sétimo, abordam-se os materiais e as formas de extinguir fogo.



# Capítulo 1

## Sistema de proteção contra gelo

As aeronaves são dotadas de um sistema de proteção que provê meios para remover ou impedir a formação de gelo em suas estruturas a qualquer custo. Isso porque o gelo afeta a aerodinâmica das superfícies de comando de voo, a entrada e os ductos de ar dos motores, as hélices, os para-brisas, as antenas do sistema de comunicação, tomadas de temperatura e tomadas de pressão atmosféricas para o sistema de navegação.

### 1.1 Introdução

Quanto maior a altitude de voo, maior o problema relacionado à formação de gelo na superfície das aeronaves, afetando diretamente a segurança de voo.

O aquecimento dos oceanos, rios e lagos, provocado pelo Sol, faz com que minúsculas partículas de água passem do estado líquido para o gasoso e subam na atmosfera por meio do ar quente, que é mais leve. Na medida em que alcançam altitudes elevadas, nas quais a temperatura é mais baixa, as partículas condensam-se e, novamente, passam do estado gasoso para o líquido. Este vapor d'água pode atingir altitudes de temperaturas tão baixas que o ar transforma-se em cristais de gelo, formando as nuvens. De acordo com a altitude, as nuvens podem conter partículas de água no modo líquido ou como vapor, resultando em diferentes formas de gelo na superfície das aeronaves que as cruzam. Essa formação ocorre quando a temperatura do ar está abaixo de seu ponto de congelamento.

Assim, quando uma aeronave voa entre as nuvens, podem ocorrer diferentes formações de gelo, dependendo da aparência de cada uma delas. Uma nuvem, com partículas de água líquida, chocando-se contra as superfícies da aeronave, forma gelo sólido ou vidrado (*glaze ice*). Porém, se a umidade é condensada, forma-se um gelo granuloso, conhecido como neve (*rime ice*).

Nesses casos, alguns aspectos devem ser considerados:

- o gelo vidrado forma-se com maior rapidez e adere-se à superfície da aeronave mais firmemente do que o gelo granuloso. É raro encontrar uma área de gelo que seja de um só tipo;
- o perigo para os aviões encontra-se nas gotas de água que se congelam no impacto com a estrutura e que formam o gelo vidrado;
- as pequenas gotas produzem o gelo granuloso, enquanto as grandes gotas produzem o gelo vidrado.

As nuvens são classificadas, internacionalmente, de acordo com a sua aparência e com a altitude em que se encontram. A Tabela 1 mostra a classificação das nuvens.

Tabela 1 - Classificação das nuvens

Séries	Tipos
Altas Acima de 6.000 m	<i>Cirrus</i> (Ci)
	<i>Cirrostratus</i> (Cs)
	<i>Cirrocumulus</i> (Cc)
Médias Entre 2.000 e 6.000 m	<i>Altostratus</i> (As)
	<i>Alto cumulus</i>
Baixas Abaixo de 2.000 m	<i>Stratus</i> (St)
	<i>Stratocumulus</i> (Sc)
	<i>Nimbostratus</i> (Ns)
Desenvolvimento vertical	<i>Cumulus</i> (Cu)
	<i>Cumulonimbus</i> (Cb)

A Figura 1 apresenta as informações contidas na Tabela 1, mostrando as diferentes aparências das nuvens na atmosfera, conforme a altitude em que se encontram.

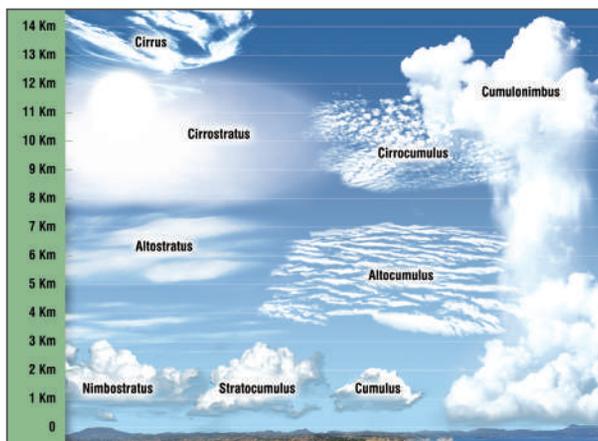


Figura 1 - Nuvem *cumulonimbus* (Cb)



Figura 2 - Nuvem *cumulonimbus* (Cb)

Para a aviação, a formação mais perigosa é a nuvem do tipo *cumulonimbus* (Cb), que deve ser evitada, a qualquer custo, pelos pilotos. Essa nuvem é formada por gelo na parte superior, gelo e água no meio e água na parte inferior, como pode ser observado na Figura 2.

Mesmo que a aeronave passe a algumas dezenas de quilômetros de distância da nuvem *cumulonimbus* (Cb), dependendo de sua altitude, podem ocorrer grandes danos, turbulências e, inclusive, sua queda.

## 1.2 Efeitos da formação do gelo

Dependendo da área afetada, a formação de gelo na estrutura da aeronave traz diferentes consequências. Entretanto, a mais grave está relacionada à sua forma aerodinâmica. O gelo acarreta a perda dos efeitos que o fluxo de ar traz às superfícies, principalmente às asas e à empennagem da aeronave.



Figura 3 - Forças que atuam na aeronave

Para melhor compreensão, a Figura 3 mostra as forças que atuam na estrutura de uma aeronave.

Como é possível notar, a aeronave é suportada pela ação de quatro forças:

- avanço (tração) - fornecida pelo motor (motor a reação) ou pela hélice e, por essa razão, há sistema antigelo nesses dois componentes;
- sustentação - gerada pelas asas, por diferença de pressão, causada pelo fluxo de ar entre a parte superior e inferior;

- arrasto - atua contra o avanço e, por isso, as aeronaves são construídas em formato aerodinâmico, causando o menor arrasto possível;
- gravidade (peso) - atua puxando a aeronave sempre para baixo e, por esse motivo, as aeronaves atuais utilizam materiais cada vez mais leves.

Para que a aeronave fique suspensa na atmosfera, é necessário manter sempre o avanço maior do que o arrasto e a sustentação maior do que a gravidade. Assim, o sistema antigelo atua para manter a perfeita aerodinâmica, diminuindo o arrasto, e para o correto funcionamento do motor e da hélice, garantindo a força do avanço (tração). É importante destacar que, se essas duas forças falharem, a aeronave cai.

A atuação do sistema antigelo depende de algumas estruturas e de alguns componentes para proteger a formação do gelo.

### a) Bordo de ataque das asas

A formação de gelo no bordo de ataque das asas afeta diretamente a força de sustentação, visto que, com a alteração do perfil aerodinâmico, o fluxo de ar fica totalmente alterado, provocando a perda de sustentação.

### b) Bordo de ataque dos estabilizadores

Os estabilizadores são responsáveis pelas estabilidades longitudinal e lateral, em função do fluxo de ar que escoar em sua estrutura. Se o gelo não for evitado, a aeronave perde a estabilidade.

### c) Entrada de ar dos motores

Neste local, o gelo causa o bloqueio da entrada de ar, provocando uma queda na velocidade da aeronave.

d) Tubo de *pitot*

Este equipamento é o responsável pelas tomadas de pressão e de velocidade do ar, é utilizado para os sistemas de velocidades e de altitudes da aeronave. A sua obstrução, com a formação de gelo, gera a perda desses sinais de referência, o que pode levar à queda da aeronave.

e) Sensor de ângulo de ataque

As aeronaves possuem este sensor para facilitar seu posicionamento para o pouso. O gelo causa o travamento do sensor, provocando um pouso totalmente errado, o que pode causar danos muito sérios ou, até mesmo, acidentes.

f) Para-brisa

Para que os pilotos tenham uma excelente visibilidade, é necessário que o para-brisa seja dotado de um sistema que o mantenha sempre transparente. Os cristais de gelo formam uma leve camada, deixando-o totalmente opaco.

g) Hélices

Nas aeronaves dotadas de hélices, para realizar a força de tração, a formação de gelo impede a capacidade de tração, provocando a queda. Assim, um sistema de segurança contra a formação de gelo para este tipo de aeronave é fundamental.

## 1.3 Prevenção da formação do gelo

A prevenção contra o gelo deve ser muito eficaz, pois a segurança de voo é extremamente importante. Para tanto, existem dois sistemas: o antigelo e o degelo. O primeiro não permite a formação de gelo nas estruturas da aeronave. O segundo, por sua vez, admite que se forme uma camada de gelo para, logo em seguida, quebrá-la. Ambos podem funcionar à base de resistência elétrica, com fluidos anticongelantes e ar quente à base de pressões pneumáticas.

## 1.4 Degelo da aeronave no solo

Quando a aeronave está em solo, estacionada, deve ser desligada. Logo, o sistema contra o gelo fica inoperante, pois, geralmente, trabalha com ar pneumático **sangrado** do compressor do motor.

Assim, as aeronaves que operam em regiões de frio extremo necessitam de um sistema de degelo de apoio em solo. Isso porque, por menor que seja o tempo de estacionamento, as asas e os estabilizadores sofrem um congelamento. Os ductos de ar também podem sofrer sérios danos, porque com a aeronave parada não existe o ar de impacto que os mantêm em uma temperatura de segurança.

Os sistemas de degelo da aeronave no solo operam com fluidos à base de álcool (etileno glicol), jateados com equipamentos especiais para remover o gelo. Minutos antes da decolagem, o fluido é aplicado para evitar um novo congelamento.



**Sangrado:** o ar é removido da seção de compressão do motor.

O processo de descongelamento no solo segue alguns passos. O primeiro é o degelo de 200 a 240 litros por avião. O fluido laranja de degelo é misturado com água e aplicado à superfície do avião a 82 °C. Quanto mais frio, menos água é usada na diluição. O segundo é o antigelo, são 100 litros por avião. O fluido é aplicado sem água. O resultado é um pequeno filme verde que previne a formação de gelo na fuselagem. O avião fica protegido por até uma hora. Quando o avião acelera para decolar, o fluido descola-se e quando o avião inicia a subida está limpo e seco. A Figura 4 ilustra o processo de degelo para remover a neve de uma aeronave em solo.

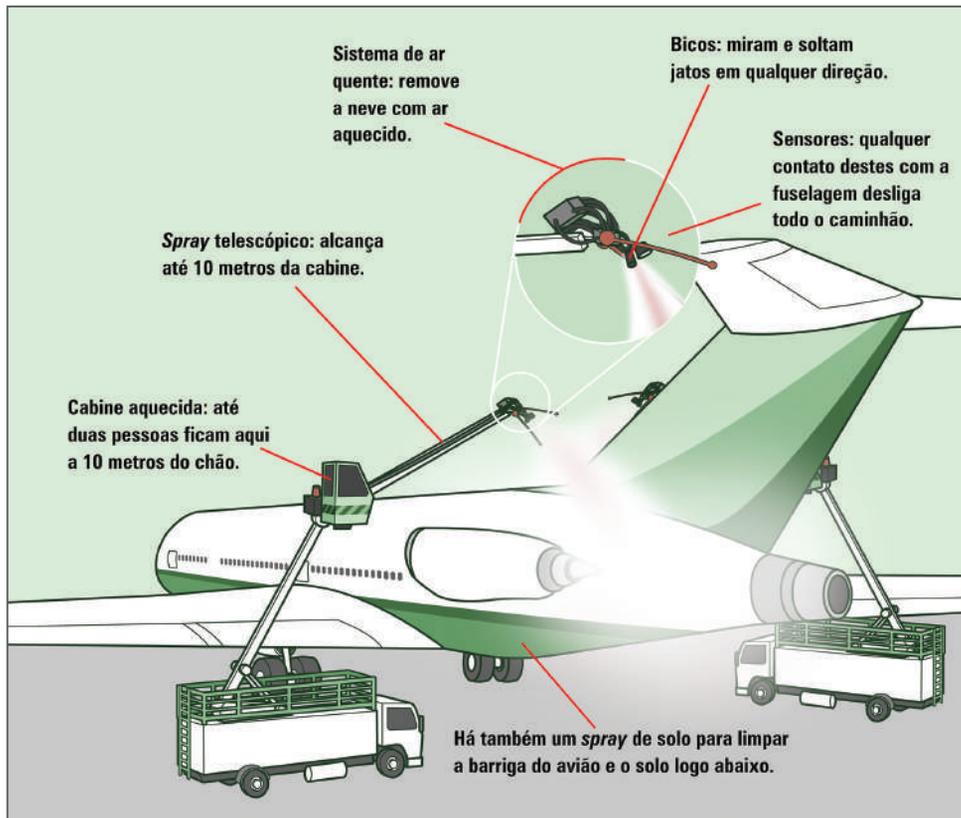


Figura 4 - Descongelamento no solo

## Resumindo

As nuvens possuem diferentes aparências de acordo com sua formação e, quando se chocam contra as superfícies da aeronave em voo, resultam em gelo sólido ou em gelo granulado. Com a finalidade de garantir a segurança dos voos, sistemas de proteção contra o gelo têm sido aprimorados constantemente.

Há dois sistemas de prevenção: o antigelo, que não permite a formação de gelo nas estruturas da aeronave, e o degelo, que permite a formação de uma camada de gelo para, logo em seguida, quebrá-la.

Entretanto, o gelo também pode se formar quando a aeronave encontra-se estacionada em solo. Em regiões de frio extremo, o sistema de degelo é feito por meio do jateamento de fluidos antes da decolagem, o que impede a formação de gelo na fuselagem, garantindo que a aeronave esteja protegida durante a subida.



# Capítulo 2

## Sistemas pneumáticos de degelo e antigelo

No início da aviação, o sistema pneumático era muito complicado, uma vez que os motores utilizados eram os convencionais, mas mesmo assim, foi muito utilizado com o auxílio de bombas de ar pneumático.

Com o advento dos motores a reação, que são grandes geradores de ar comprimido, as aeronaves puderam atingir maiores altitudes e, dessa forma, precisaram de um sistema de proteção contra o gelo mais eficiente.

### 2.1 Conceito e operação dos sistemas

As aeronaves em operação nos dias de hoje utilizam dois sistemas pneumáticos para evitar a formação de gelo em suas superfícies: o degelo e o antigelo. O sistema de degelo permite que o gelo se forme para, depois, quebrá-lo. O sistema antigelo sequer permite a formação do gelo.

#### 2.1.1 Sistema de degelo

O sistema de degelo utiliza uma bota de degelo (*boots*), instalada nos bordos de ataque das asas e dos estabilizadores (horizontal e vertical).

O ar pneumático, sangrado dos compressores dos motores ou de outro sistema que o forneça, passa por uma rede de tubulação. Com a pressão controlada, o ar é capaz de inflar e de desinflar as botas. Esse processo quebra qualquer formação de gelo que tenha ocorrido.

#### 2.1.2 Sistema antigelo

O sistema antigelo não permite a formação de gelo. Esse processo ocorre em decorrência de um sistema composto por uma rede de tubos que percorre a parte interna dos bordos de ataque das asas, as empenagens e o radome. O ar é sangrado do compressor do motor e, por intermédio de válvulas, sensores, temporizadores, etc., mantém as superfícies aquecidas, evitando a formação de gelo.



**Radome:** parte frontal no nariz da aeronave; em seu interior está instalada a antena do radar.

Atualmente, com as novas tecnologias, as aeronaves possuem sistemas mais inteligentes e sensíveis para controlar a formação de gelo. Um computador recebe sinais dos detectores de formação de gelo e dos sensores de temperatura, como mostra a Figura 5.

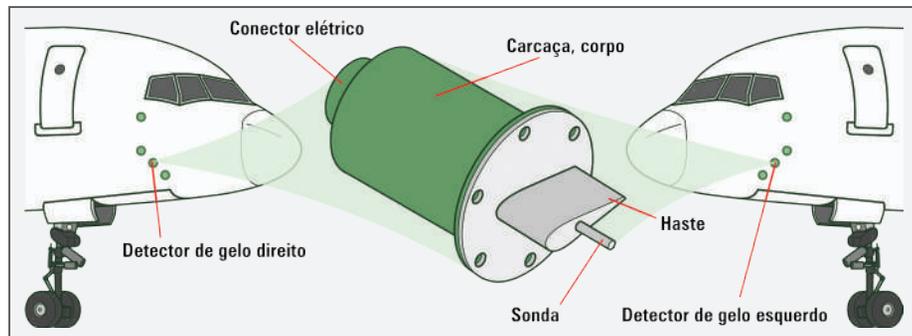


Figura 5 - Detector de gelo

As informações recebidas são processadas e sinais são enviados para a abertura de válvulas de corte, controladores de pressão de ar, válvulas distribuidoras, temporizadores e sistemas de alarmes que monitoram todo o processo de controle da formação do gelo.

Caso ocorra algum problema durante esse processo, o sistema emite alarmes sonoros e visuais no painel de comando, fornecendo informações para que a tripulação tome as providências necessárias. Tais problemas são gravados no computador, a fim de que ações preventivas e de manutenção possam ser executadas o mais breve possível.

### 2.1.3 Funcionamento do sistema de degelo

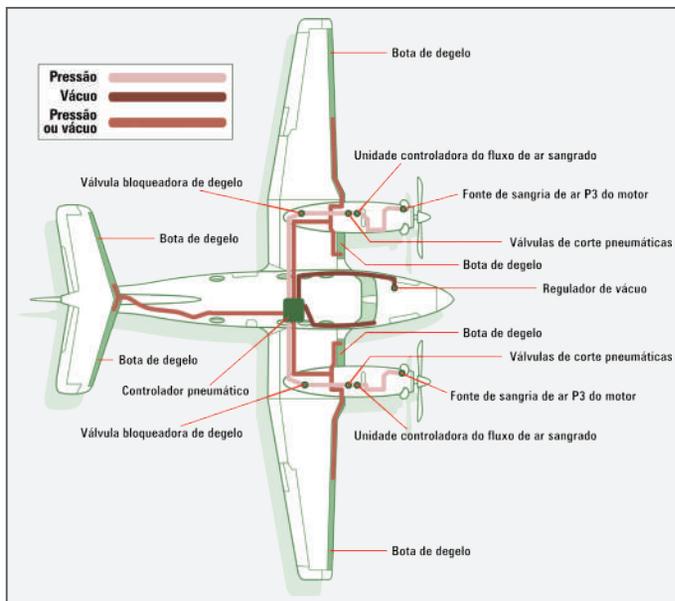


Figura 6 - Sistema esquemático de degelo por meio de boots

O sistema é operado da cabine de comando, possuindo detectores de formação de gelo que emitem um aviso para que os tripulantes possam comandá-los. A Figura 6 mostra o sistema.

O funcionamento do sistema de degelo ocorre da seguinte forma:

O painel de comando do sistema de degelo, instalado na cabine de comando, possui o botão de ligar ou desligar o sistema. Quando ligado, o sensor (geralmente instalado no nariz do avião) capta a formação de gelo e envia sinal para o controlador do sistema.

O controlador mandará sinal para as válvulas de corte, que irão permitir que o fluxo de ar sangrado dos motores seja direcionado para as válvulas seletoras.

Antes de chegar às válvulas seletoras, a pressão do fluxo de ar é controlada por meio de um regulador de pressão.

As válvulas seletoras enviam o fluxo de ar para os boots de cada asa em uma sequência estabelecida por um temporizador, o qual possui um circuito que comanda as válvulas em uma sequência determinada com duração programada.

Dentro do sistema, existem também os separadores de água, os quais eliminam toda a água que venha com o fluxo de ar.

## 2.2 Degeladores infláveis (*boots*)

Os *boots* são fabricados de borrachas macias e possuem várias câmaras que se inflarão quando a pressão de ar for direcionada para seu interior. Eles possuem uma entrada de ar e uma saída, geralmente a borracha na saída é feita de elastômero sintético policloropreno, que facilita a descarga de energia estática acumulada e possui maior resistência à deterioração por elementos químicos (Figuras 7.A e 7.B).

Eles são fixados nos bordos de ataque das asas e dos estabilizadores com cola especial ou por meio de tiras metálicas presas com parafusos ou, ainda, uma combinação dos dois.

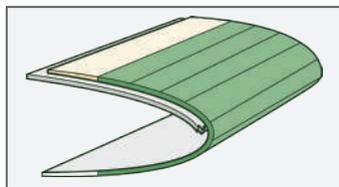


Figura 7.A - Boots não inflado

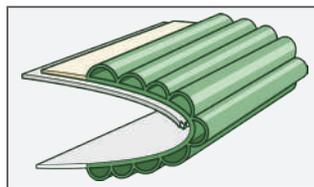


Figura 7.B - Boots inflado

## 2.3 Componentes do sistema de degelo

Os componentes de um sistema de degelo podem variar de aeronave para aeronave, pois elas possuem características operacionais e necessidades diferentes de proteção contra gelo.

Geralmente, o sistema possui os seguintes componentes: bombas de ar (aeronaes com motor convencional), válvula de segurança, válvula de regulação de pressão, separador de óleo, combinação de regulador, válvula descarregadora e separador de óleo, válvula controladora de vácuo, seletora, controlador e dutos.

### 2.3.1 Bomba do ar girada pelo motor

Este tipo de bomba é muito usado por aeronaves que possuem motores convencionais (a pistão), visto que eles não possuem um compressor para ter um fluxo de ar constante e com pressão suficiente para o sistema de degelo.

As bombas, em geral, são fabricadas com palhetas rotativas que absorvem o ar e, por meio destas, são direcionadas para o sistema de degelo. A Figura 8 mostra um modelo de bomba de ar.

As bombas ficam acopladas na caixa de acessórios do motor que, quando em funcionamento, fornecerá rotação suficiente para que elas possam manter um fluxo de ar constante no sistema. São lubrificadas com óleo do motor por meio do acoplamento junto à caixa de acessórios, porém, existem bombas com componentes à base de carbono que não necessitam de óleo de lubrificação.

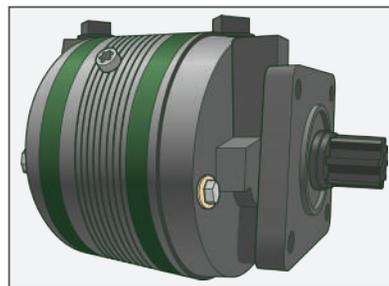


Figura 8 - Bomba de ar

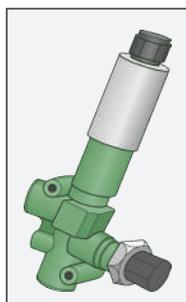


Figura 9 - Válvula de segurança

### 2.3.2 Válvulas de segurança

As válvulas de segurança (Figura 9) são anexadas ao sistema, na linha de pressão do fluxo de ar, após as bombas de ar ou as sangrias de ar dos motores. A válvula de segurança possui um solenoide para abrir e fechar um dreno de ar, a fim de que possa controlar a pressão no sistema. O solenoide recebe sinal elétrico de um transmissor de pressão na linha, o que garante um valor determinado para que o sistema possa trabalhar com segurança.

### 2.3.3 Separador de óleo

O separador de óleo, de acordo com a Figura 10, é instalado nos sistemas que utilizam as bombas de ar, estas recebem óleo do motor para a sua lubrificação. Em razão de o eixo da bomba ser lubrificado com óleo do motor, às vezes algum óleo vaza para o sistema de degelo. Diante disso, o separador é utilizado para retirá-lo do sistema, retornando-o ao reservatório do motor.

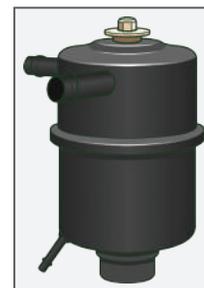


Figura 10 - Separador de óleo

### 2.3.4 Combinação de regulador, válvula descarregadora e separador de óleo

Esta parte incorpora, em um só componente, três funções básicas no sistema de degelo:

- um regulador de pressão, geralmente operado com diafragma, o qual mantém constante a pressão do fluxo de ar no sistema, de acordo com a altitude de voo;
- uma válvula operada por intermédio de solenoide, para descarregar o ar quando o sistema antigelo estiver desligado e, desse modo, facilitar o funcionamento da bomba sem nenhuma carga;
- um separador de óleo para drenar quaisquer indícios de óleo que possam vir da bomba de ar.

### 2.3.5 Válvula de regulação da sucção

Existe uma linha de sucção para ajudar na operação de desinflar os *boots*, ligada com a própria bomba de ar. A válvula fica conectada à linha de entrada de ar da bomba, pois, ao mesmo tempo em que a bomba pressuriza o ar através da sua linha de saída, ela causa uma sucção na linha de entrada, sucção esta que estará ligada na linha de saída de ar dos *boots*, facilitando o seu processo de desinflagem. Nessa linha é instalada a válvula para regular a sucção de ar dos *boots* (Figura 11).

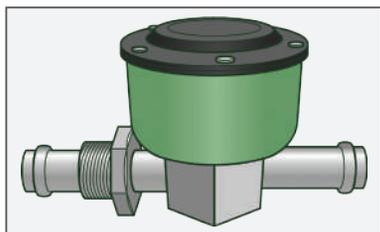


Figura 11 - Regulador de *vacuum*

### 2.3.6 Válvula seletora a solenoide

Como o sistema de degelo utiliza os *boots*, e, nesse processo, eles são inflados e desinflados por períodos regulares, uma válvula seletora é utilizada. O comando dela é dado por intermédio de um solenoide, que recebe sinal elétrico do controlador eletrônico. Tal válvula possui uma entrada de ar principal de pressão do sistema e duas saídas. Uma saída é ligada à atmosfera, com vistas a eliminar a pressão excedente que chega ao *boot*; a outra, é ligada à linha de sucção, de modo a puxar o restante de ar que não foi eliminado para a atmosfera.

Nesse contexto, têm-se duas botas, (A) e (B), de acordo com a Figura 12, para demonstrar o funcionamento da válvula:

- o controlador manda um sinal para desinflar a bota (A), o solenoide recebe esse sinal e a válvula seletora faz ligação da linha de sucção com a bota (A), de modo que ela seja desinflada. Ao mesmo tempo, a válvula liga a linha de pressão com a bota (B), para que ela seja inflada;
- quando o controlador inverte o sinal para o solenoide, este comanda a válvula para que a linha de sucção atue na bota (B), que estava inflada e, ao mesmo tempo, faz a ligação da linha de pressão com a bota (A), inflando-a.

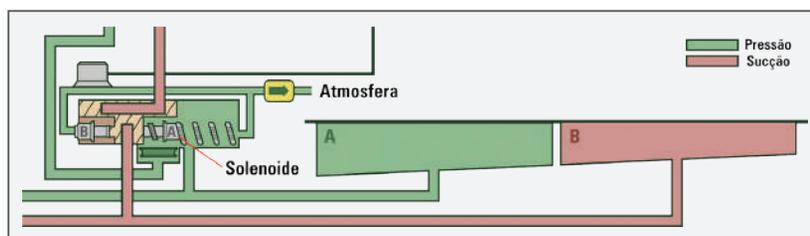


Figura 12 - Esquema de uma válvula seletora

### 2.3.7 Controle eletrônico de tempo

O controlador eletrônico é que fará todo o processo de comando das válvulas seletoras, de acordo com tempos determinados. A Figura 13 mostra um exemplo de controle do tempo no processo de inflar e desinflar as botas de degelo.

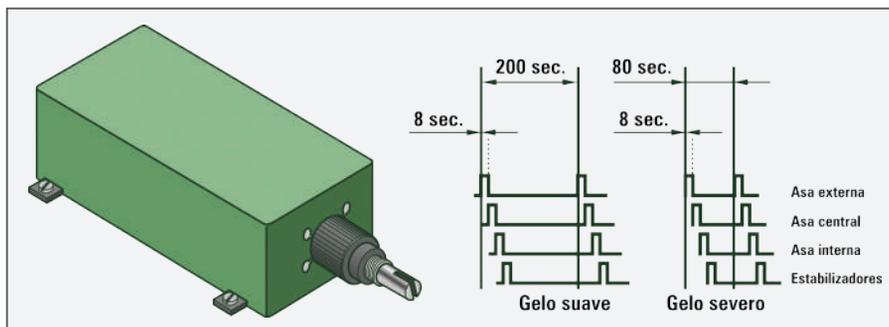


Figura 13 - Controlador eletrônico

Esse exemplo apresenta duas condições de gelo:

*Light ice (LT ICE)* - gelo suave - e *heavy ice (HVY ICE)* - gelo severo.

No modo suave, o tempo do ciclo dura 200 segundos, cada bota fica oito segundos inflada e 168 segundos desinflada. No modo severo, o ciclo é de 80 segundos, sendo oito segundos inflada e 48 desinflada, pois o controlador comanda quatro superfícies de voo: asa externa (*outer wing*), asa central (*central wing*), asa interna (*inner wing*) e estabilizadores.

### 2.3.8 Separador d'água

Na linha do sistema, encontram-se instalados separadores d'água, pois a atmosfera contém moléculas de água, as quais vão se juntando à medida que se comprime o ar. Eles são instalados após as válvulas reguladoras de pressão, onde o excesso de água é extraído por ação centrífuga devido ao movimento giratório do ar no seu interior, enviando o ar sem partículas de água para as válvulas distribuidoras. O excesso de água mantém-se em um coletor instalado no separador até ser drenado para a atmosfera.

### 2.3.9 Dutos do sistema pneumático de degelo

O ar sangrado dos motores, ou mesmo vindo de uma bomba, apresentará, além de alta pressão, uma temperatura elevada, por essa razão, os dutos do sistema são confeccionados de aço inoxidável, de titânio e, em alguns pontos, de alumínio.

Nos lugares onde a temperatura é elevada e pode-se ter contato com outro sistema ou mesmo alguma fiação elétrica, as tubulações são revestidas com mantas protetoras para que o calor não seja irradiado. Para se ter ideia da temperatura com a qual um sistema antigelo trabalha, cita-se o caso da aeronave C-130, na qual a temperatura do ar que será injetado no bordo de ataque fica em torno de 170 °C.

## 2.4 Manutenção do sistema pneumático de degelo

A manutenção do sistema pneumático varia muito entre modelos de aeronave, visto que existem vários fabricantes no mundo. Algumas aeronaves são fabricadas para usos determinados e necessitam de sistemas melhores que outras. Os fabricantes trazem nos manuais técnicos todo o processo de manutenção, testes operacionais, pesquisa de panes e inspeções necessárias, visando sempre ao perfeito funcionamento do sistema pneumático de degelo para garantir a segurança do voo.

### 2.4.1 Checagens operacionais

As checagens operacionais precisam ser feitas periodicamente, para verificar o perfeito funcionamento do sistema. Essa verificação é sempre feita por mais de um operador, pois é necessário um elemento dentro da cabine para operar o sistema, enquanto um observador fica fora da aeronave. Em virtude de o sistema trabalhar com ar pneumático e a fonte principal de ar ser o motor da aeronave, é necessário dar partida no motor ou pode-se utilizar uma fonte de ar pneumático externa à aeronave.

Esse teste verifica, por meio de instrumentos na aeronave, como está a pressão do fluxo de ar, a sucção do sistema e cronometra o tempo do ciclo de funcionamento.

### 2.4.2 Ajustes

Se for constatado algum problema durante a checagem operacional, as unidades do sistema possuem pontos para executar alguma regulagem necessária.

Por exemplo, durante uma leitura no instrumento de pressão, verificou-se que a pressão no sistema está abaixo do normal. Geralmente, este ajuste é realizado na válvula reguladora de pressão do sistema. Para aumentar a pressão, a válvula reguladora possui um parafuso que funciona da seguinte forma: gira-se o parafuso no sentido horário, isso faz com que uma mola interna receba mais força sobre ela. Essa mola atua em uma esfera que bloqueia a vazão do ar para a atmosfera. Assim, a pressão do sistema terá de aumentar para vencer a força da mola novamente e, com a leitura nos instrumentos, vai-se regulando até o valor previsto nos manuais técnicos.

Todos os procedimentos de ajuste e regulagem estão previstos nos manuais técnicos do sistema, por isso é essencial o estudo desses manuais por quem realiza a manutenção.

### 2.4.3 Pesquisa de panes

Para cada sistema, existe uma relação das panes que mais acontecem. Nesse sentido, os manuais técnicos listam as correções a serem adotadas para resolver o problema.

Quando uma aeronave está em desenvolvimento, os problemas surgem e as soluções são adotadas. Ambos são documentados e, depois, descritos nos manuais técnicos, para o caso de acontecer novamente, subsidiando, assim, o operador da aeronave na correção da falha.

Em caso de todas as soluções apresentadas nos manuais não conseguirem resolver o problema, a única solução restante é a troca do componente.

A Tabela 2 mostra uma pequena lista de possíveis panes no sistema de proteção contra o gelo, com a causa provável e as soluções que podem ser adotadas.

Tabela 2 - Pesquisa de panes (*troubleshooting*)

Pane	Causa provável	Solução
Instrumento de pressão oscilando.	Vazamento na tubulação de pressão.	Apertar todas as conexões frouxas. Se houver tubulação furada, fazer o reparo ou substituir.
	Pane no instrumento.	Substituir por outro.
	Bota de degelo furada.	Fazer o reparo ou substituir.
	Vazamento na válvula reguladora de pressão.	Fazer a regulagem ou substituir.
	Vazamento na válvula de alívio de pressão.	Fazer a regulagem ou substituir.
Instrumento de pressão não indica, mas a pressão de vácuo está normal.	Falha na linha de pressão.	Reparar ou substituir a tubulação.
	Instrumento de pressão em pane.	Substituir.
	Falha na válvula de alívio de pressão.	Regular ou substituir, se for necessário.
	Falha na válvula reguladora de pressão.	Regular ou substituir, se for necessário.

#### 2.4.4 Inspeção

Os manuais técnicos das aeronaves listam todas as inspeções que a tripulação e o pessoal da manutenção devem executar. Para a tripulação, geralmente é uma inspeção visual sempre no pré-voo e no pós-voo, a fim de verificar se houve algum dano durante o voo, ou quando o pessoal está executando abastecimento ou algum outro tipo de trabalho perto da aeronave.

Se for detectado algum arranhão nas botas, sujeira de óleo, combustível ou outro produto químico, existe a necessidade de executar uma limpeza antes da aeronave decolar.

Existem, ainda, as inspeções programadas, em que a aeronave deverá passar por teste dos componentes, verificação de vazamentos, deterioração das botas de degelo e algumas checagens operacionais, realizadas de tempos em tempos para verificar o perfeito funcionamento do sistema.

#### 2.4.5 Manutenção dos degeladores infláveis

Tendo em vista o material de fabricação ser à base de borracha e sofrer muito com *intempéries* – hora frio e hora quente –, produtos químicos e arranhões, há necessidade de se ter um cuidado maior com os degeladores. O objetivo é mantê-los em bom estado de conservação e, desse modo, garantir um funcionamento perfeito, visto que falhas podem acarretar na queda da aeronave.

Em seguida, apresenta-se uma lista com os cuidados mais comuns a serem adotados, contudo, cada fabricante de aeronave traz em seus manuais cuidados específicos.



**Intempéries:** quaisquer fenômenos climáticos muito acentuados (vento ou chuva fortes, calor ou frio extremos, tempestade, seca, inundação etc.).

- Inspeccionar regularmente e reparar qualquer dano encontrado.
- Evitar o contato com solventes, óleos, graxas, combustíveis, etc.
- Lavar com sabão neutro e água limpa, quando constatar alguma sujeira.
- Durante os trabalhos de manutenção, nunca apoiar escadas ou outro tipo de base nos degeladores. Se houver necessidade de apoiar, utilize um sistema para proteger o contato com a borracha.
- Quando executar abastecimento ou serviços de lubrificação, evitar esfregar ou apoiar a mangueira nos degeladores
- Não pisar sobre os degeladores.
- Após a lavagem dos degeladores, secar bem e aplicar um produto à base de silicone para conservar as borrachas. Existem produtos químicos para a proteção contra o ozônio e a poluição. Os manuais técnicos trazem a especificação desses produtos.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que o sistema de antigelo, por meio das botas de degelo (*boots*), é utilizado por uma grande quantidade de aeronaves. Verificou-se, ainda, o funcionamento, a pesquisa de pane, sua operacionalidade e a manutenção dos *boots*. É importante lembrar que aqui foi dada apenas uma visão geral e que cada modelo de aeronave funciona com detalhes técnicos especificados pelo fabricante.

Os sistemas de proteção contra gelo pneumático são os mais empregados atualmente, em virtude de as aeronaves usarem os motores a reação e estes serem uma fonte de ar poderosa, eficaz contra o gelo, de baixo custo de manutenção por ter poucos componentes utilizados, além de não produzirem poluição ambiental e não serem uma fonte de incêndio.

O sistema de degelo por meio dos *boots* está sendo substituído pelo sistema antigelo devido a perfis aerodinâmicos modernos, a materiais compostos nas superfícies de voo e à manutenção mais simples.

Nos manuais técnicos das aeronaves, é possível encontrar todo o funcionamento, manutenção, reparos, operação, etc., sendo, por isso, imprescindível o estudo detalhado deles e a consulta constante quando da execução do trabalho.



# Capítulo 3

## Sistemas térmicos antigelo

Além do sistema de degelo utilizando as botas de borracha, muitas aeronaves utilizam um sistema térmico por meio do ar quente. Esse sistema aproveita o ar quente que pode ser sangrado de um compressor de motor a turbina, um sistema de aquecedor a combustão ou o ar quente de exaustão dos motores convencionais.

Em razão da evolução dos motores e de toda a nova tecnologia empregada nas modernas aeronaves, o sistema de proteção contra gelo é o pneumático com ar sangrado dos compressores.

### 3.1 Características dos sistemas térmicos de antigelo

Uma das principais características deste sistema em relação aos que utilizam os boots é quanto ao trabalho de manutenção, pois exige menos trabalho e, em consequência, torna-se mais econômico.

Assim, é possível atingir mais itens da aeronave que são as asas, a empenagem, a entrada de ar dos motores e os radomes.

### 3.2 Antigelo usando aquecedores a combustão

Este sistema utiliza o ar de impacto contra a aeronave, o qual é canalizado para um aquecedor a combustão, que o distribui através da tubulação para o bordo de ataque das superfícies e, posteriormente, é enviado para a atmosfera.

O sistema incorpora interruptores de segurança e de ciclagem para garantir um funcionamento em ciclos, a fim de evitar um superaquecimento e também para que o sistema possa ser desligado caso o fluxo de ar de impacto diminua a sua pressão nos dutos de admissão.

É utilizado um aquecedor para cada superfície de voo, conforme se pode ver na Figura 14, a aeronave possui um aquecedor em cada asa e mais um para a empenagem.

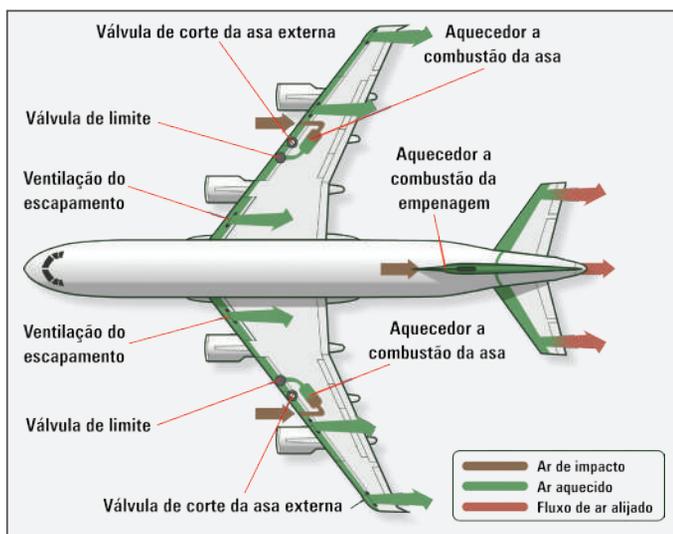


Figura 14 - Aeronave utilizando aquecedor a combustão

### 3.3 Antigo usando aquecedores a gás de exaustão

Este sistema aproveita a troca de calor entre o ar de impacto que flui pelos cilindros e os gases de exaustão destes, os quais são canalizados por meio de uma tubulação para o sistema de antigelo das superfícies de voo.

Os gases de exaustão de todos os cilindros são dirigidos para uma única saída, conectada a um sistema de aquecimento do ar que flui através dos cilindros, este último sistema é responsável por manter uma temperatura de segurança para o perfeito funcionamento do motor.

Ainda assim, o sistema de aquecimento possui uma camisa (tubo que envolve o tubo central) composta de uma tubulação no centro. Essa tubulação central é por onde saem os gases de exaustão do motor.

Uma outra tubulação (camisa) envolvendo a tubulação central e protegida por uma **mufra** para que o calor não se dissipe é o caminho do ar de impacto que retira o calor dos cilindros e é novamente aquecido mediante irradiação da tubulação no centro.

Esse ar de impacto, agora aquecido, é direcionado ao sistema através de uma válvula em sua saída. Nesta parte, existe uma borboleta, para deixar passar o ar quando o sistema está desligado e quando é detectado um sobreaquecimento dentro das superfícies.

O sistema antigelo, usando aquecedores a gás de exaustão, foi muito utilizado no início da aviação com aeronaves equipadas com motores radiais. Atualmente, é muito difícil encontrá-lo em operação. A Figura 15 mostra um motor com esse sistema instalado.



**Mufra:** cobertura de recipientes para suportar grandes calorías.

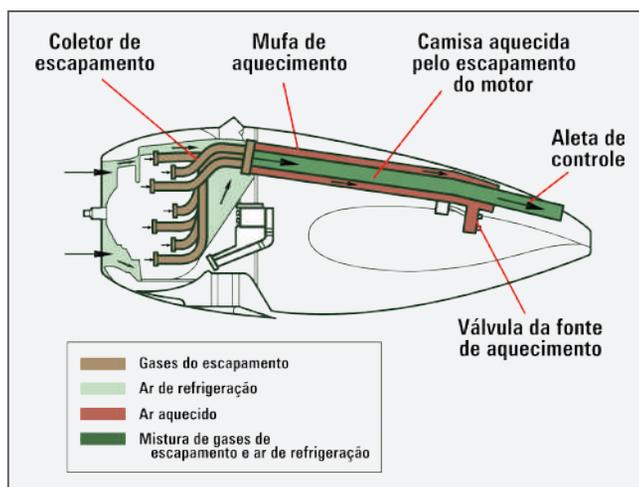


Figura 15 - Sistema antigelo usando aquecedores a gás de exaustão

### 3.4 Antigo usando ar de sangria do motor

As aeronaves mais modernas utilizam cada vez mais motores a reação, porque usam combustíveis mais baratos (querosene). Outra razão é que elas conseguem atingir maiores altitudes de voo, porquanto empregam em seus sistemas de antigelo uma sangria de ar no motor, um

compressor que possui um poder enorme de sucção de ar e, conseqüentemente, uma fonte poderosa de ar comprimido.

Uma das propriedades do ar, quando comprimido, é seu poder de aumentar a temperatura a altos valores, podendo chegar, em alguns casos, a 600 °C, o que facilita muito o sistema de antigelo, pois somente canaliza e controla para valores de segurança à aeronave.

### 3.4.1 Antigelo do motor da aeronave

A formação de gelo na entrada de ar dos motores poderia trazer graves conseqüências ao seu funcionamento, motivo pelo qual neles há um sistema de antigelo, variando de motor a motor. Esse sistema funciona por meio do ar quente sangrado dos compressores e direcionado à carcaça da entrada de ar no motor ou por intermédio dos *boots*, que inflam e desinflam, evitando, assim, a formação de gelo.

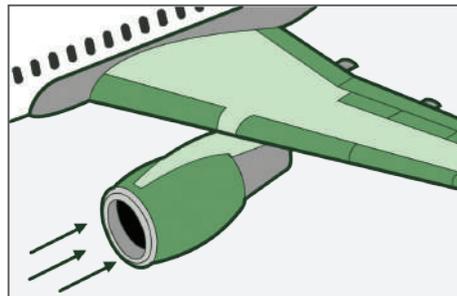


Figura 16 - Entrada de ar nos motores

### 3.4.2 Antigelo no radome

O radome é a peça que forma o nariz da aeronave e é o compartimento onde fica instalada a antena do radar. Como ele fica bem à frente da aeronave, possui um sistema de ar quente que circula, evitando a formação de gelo na parte externa e mantendo a temperatura para que o sistema do radar possa funcionar perfeitamente.

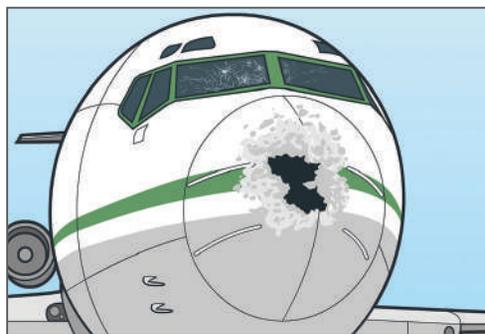


Figura 18 - Radome atingido por gelo

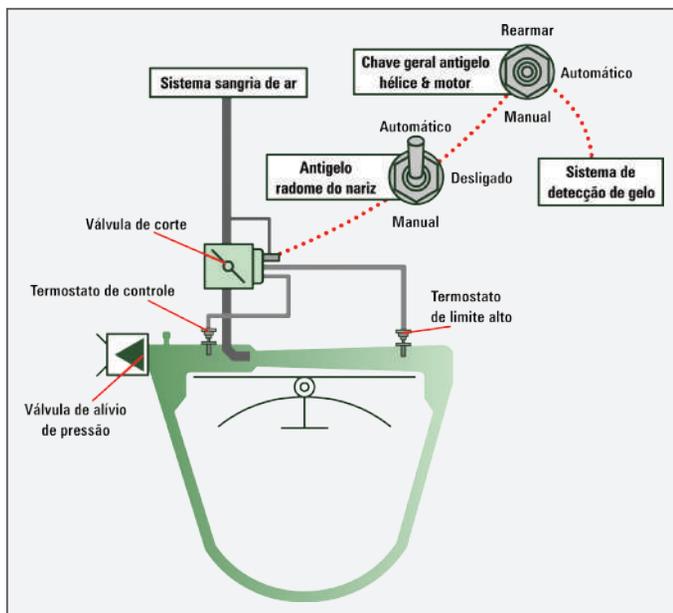


Figura 17 - Esquema do antigelo no radome de uma aeronave de porte médio-pesada

### 3.4.3 Antigelo nas asas e na empennagem

O sistema consiste em uma sangria de ar no compressor da aeronave, que, através de tubulações, é direcionada ao bordo do ataque das superfícies de voo. O sistema possui válvula de corte, válvulas de segurança de pressão, interruptores de segurança contra um superaquecimento, separador d'água, sensores de formação de gelo e de temperatura.

De acordo com as Figuras 19.A e 19.B, o ar, depois de ser sangrado dos compressores da

aeronave através de uma válvula de corte, dirige-se a uma rede de tubos até chegar aos bordos de ataque das asas e da empenagem, onde se encontram instalados tubos com vários furos. Esse tubo recebe o nome de tubo piccolo.

O sistema possui válvulas de segurança para controlar a pressão dentro dos tubos e sensores de temperatura para que não haja um superaquecimento e possui também interruptores para luzes indicadoras na cabine de comando.

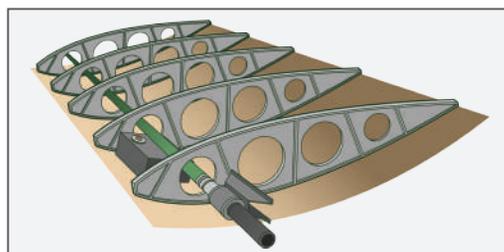
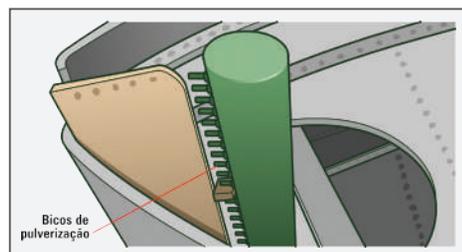


Figura 19.A - Tubulação distribuidora do antigelo na parte interna do bordo de ataque da asa



19.B - Montagem dos ejetores no bordo de ataque das asas

O sistema ilustrado na Figura 20 é apenas ilustrativo. Todas as aeronaves possuem sistemas com suas particularidades, mas, de uma forma geral, o funcionamento é muito semelhante ao que está explicado. Por isso, é sempre importante consultar o manual técnico da aeronave para fazer uma manutenção correta.

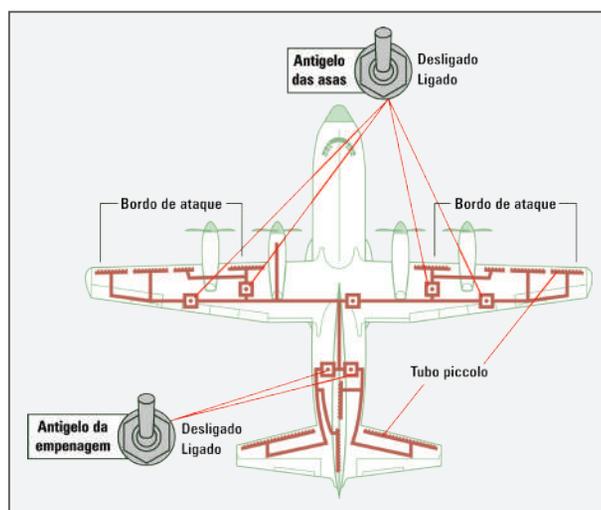


Figura 20 - Desenho esquemático do sistema antigelo da aeronave

### 3.5 Antigelo por meio de resistência elétrica

O sistema antigelo por meio de resistência elétrica é utilizado em itens nos quais seria impossível empregar ar pneumático, devido à operação complexa durante o funcionamento ou ao tamanho do item, como, por exemplo, as hélices, o tubo de *pitot* e os pontos de drenagens de água utilizada na aeronave, respectivamente.

### 3.5.1 Antigelo na hélice

A hélice faz parte do grupo motopropulsor da aeronave e necessita de um sistema de antigelo, a fim de permitir a sua perfeita funcionalidade em operações em que há a possibilidade de formação de gelo. Esse sistema pode ser com álcool, sendo vaporizado na hélice, ou utilizando uma resistência elétrica instalada no bordo de ataque, protegida com uma manta de borracha (*boot*).

O sistema funciona por meio de um painel do sistema antigelo na cabine de comando e possui um controlador que estabelece intervalos de tempo programados, formando um ciclo de ligado e desligado, a fim de não permitir um aquecimento anormal.



Figura 21 - Antigelo nas hélices

### 3.5.2 Antigelo do tubo de *pitot*

Por ser um instrumento de medição primordial à navegação aérea, necessita estar sempre funcionando em qualquer condição meteorológica, pois sem ele fica impossível o funcionamento do sistema de navegação.

O antigelo no tubo de *pitot* é realizado mediante resistência elétrica, que o mantém sempre aquecido, evitando, assim, a formação de gelo. É importante tomar muito cuidado em caso de entupimento e nunca tocá-lo com as mãos assim que a aeronave aterrissa, porque se pode sofrer queimaduras gravíssimas.

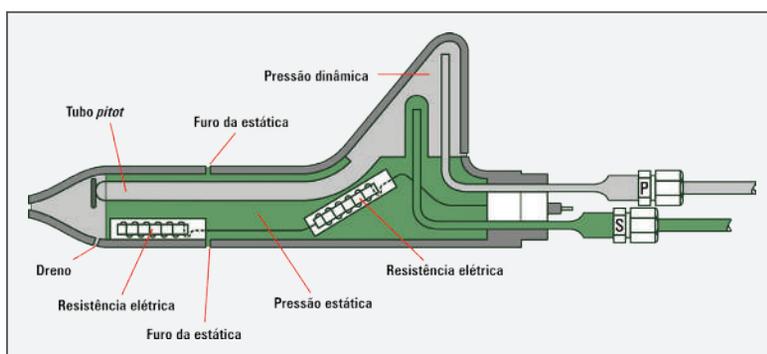


Figura 22 - Tubo de *pitot*

### 3.5.3 Aquecedores de drenos

Os sistemas das aeronaves que trabalham com água, lavatórios, pias de banheiro, ar-condicionado possuem drenos com vistas a eliminar a água para a atmosfera. Nesses sistemas, são utilizados aquecedores nos drenos, pois, em condições de temperatura baixa, a água poderia congelar e bloquear as saídas. O sistema utiliza um aquecedor que funciona com uma resistência elétrica, mantendo, assim, a saída de água.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que o conhecimento dos sistemas antigelo das aeronaves é fundamental para a tripulação e os técnicos que trabalham na operação e manutenção, a fim de garantir o perfeito funcionamento e a segurança de voo.

Os motores são responsáveis pela força de tração e consolidam-se como a fonte do ar pneumático para todo o sistema de antigelo, que manterão as estruturas que fornecem toda a sustentação e estabilidade para o voo. Os itens que funcionam com resistência elétrica necessitam ser verificados constantemente, visto que eles e os sensores são primordiais para a segurança do voo.

# Capítulo 4

## Sistemas de controle do gelo do para-brisas

Durante um voo, uma fina camada de gelo pode vir a se formar no para-brisas da aeronave, dificultando a visibilidade da tripulação. Para que isso não aconteça, as aeronaves possuem um sistema de aquecimento por meio de uma resistência elétrica ou da ejeção de um líquido anticongelante, que pode ser o álcool.

### 4.1 Sistema de descongelamento de para-brisas

Os para-brisas são fabricados por mais de uma camada de vidros, alimentada com energia de 28 VDC, na qual correm fios de uma resistência elétrica. Dessa forma, eles estão sempre aquecidos, evitando, assim, a formação de gelo.



VDC: sigla de voltagem de corrente contínua.

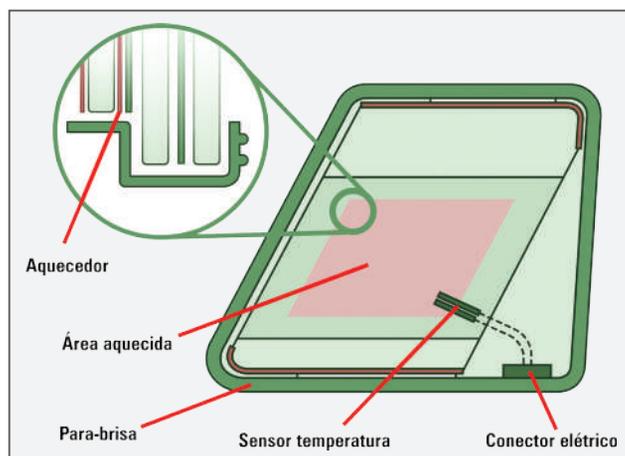


Figura 23 - Para-brisa com sensor e resistência elétrica

### 4.2 Funcionamento

Como todos os sistemas da aeronave são duplos, eles possuem dois sensores de temperatura ou mais, geralmente dois controladores, um painel para ligar e desligar e disjuntores de segurança.

Quando o sistema é acionado, mediante o controlador, a resistência é aquecida e o controlador mantém e monitora a temperatura por meio de um sinal recebido dos sensores em uma determinada temperatura, ficando em torno de 40 a 45 °C.

## 4.3 Manutenção

A manutenção do sistema é composta de checagem operacional para certificar-se do funcionamento correto e, em caso de problemas, é feita a substituição do componente que apresentou problema.

A checagem operacional varia entre as aeronaves, mas, para se ter uma ideia, segue o resumo de um teste, como, por exemplo:

- energizar a aeronave por meio de uma fonte externa;
- no painel de comando do sistema, existe um interruptor marcado **TESTE**, que, geralmente, possui mais de uma posição, nesse exemplo, leve-o para a esquerda;
- nesse mesmo painel, há uma luz indicadora, marcada com **INOP** (sistema inoperante), que deverá acender, e, no **PMA** (painel múltiplo de alarmes), acenderão as luzes do sistema, indicando que ele está desligado;
- quando se voltar o interruptor **TESTE** para o centro, a luz **INOP** apaga e, no **PMA**, as indicações do sistema também se apagam;
- aciona-se o interruptor **ON**, de ligar o sistema, e mantém-se o tempo necessário para constatar o aquecimento;
- imagine-se que esse sistema funcione com a temperatura de 40 a 45 °C. Quando ele atingir 40 °C, a luz **ON** estará acesa e, quando a temperatura atingir 45 °C, a luz apagará.

## 4.4 Sistema de descongelamento das janelas

Este sistema consiste em um fluxo de ar aquecido, que poderá ser o próprio sistema de aquecimento da cabine ou um aquecedor auxiliar, que passa através de uma série de tubos e saídas de ar. Quando está muito quente, as janelas costumam embaçar, para isso, o sistema utiliza o ar da ventilação da cabine.

## 4.5 Sistemas de degelo a álcool nos para-brisas e no carburador

Algumas aeronaves mais antigas possuíam um sistema de degelo à base de álcool ou um produto químico antigelo. Este produto era espirrado na base do para-brisa e o próprio ar de impacto espalhava nele todo, impedindo a formação de gelo.

Nos carburadores, na parte de admissão de ar para o motor, também havia um sistema que não deixava formar gelo, pois, se isso viesse a ocorrer, o motor não admitiria ar suficiente para o seu processo de combustão, o que causaria mau funcionamento, chegando a parar.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que acidente aeronáutico causado pela formação de gelo é muito comum, motivo pelo qual há necessidade de se manter os sistemas em funcionamento.

O estudo da previsão do tempo não é exato para se determinar um voo 100% seguro. Assim, os profissionais da área de aviação sempre estão desenvolvendo tecnologias e sistemas com o fito de garantir maior segurança.

Por fim, estudou-se o funcionamento do sistema de degelo do para-brisas e das janelas, sua manutenção e a importância para garantir um voo seguro. Nesse contexto, o entendimento do sistema, a correta operação e a manutenção são essenciais, e esta última precisa ser realizada com responsabilidade e sempre pautada nos manuais técnicos de manutenção.



# Capítulo 5

## Sistemas de eliminação dos efeitos da chuva

Quando a aeronave está em voo e se depara com uma nuvem com muita chuva, fica totalmente sem visibilidade. Em razão disso, as aeronaves são dotadas de equipamentos e sistemas para eliminar a incidência de água no para-brisa.

### 5.1 Sistemas elétricos limpadores de para-brisas

As aeronaves, de uma forma geral, possuem dois limpadores, um para cada para-brisa. São dois sistemas idênticos, mas com comandos separados. Eles são compostos de dois motores, uma unidade de controle, duas hastes, duas palhetas limpadoras e um painel de controle na cabine da tripulação.

Os motores ficam instalados abaixo do para-brisa, na seção do nariz e, geralmente, são do tipo eletromecânico, o qual transforma a energia elétrica em um movimento mecânico para as hastes dos limpadores.

O movimento é definido pelo controlador, no qual possui dois subsistemas idênticos, um para cada lado do para-brisa. Sua função é controlar a velocidade, o tempo, a sincronização e a parada de cada subsistema. Possui, ainda, uma proteção contra sobrecarga de corrente elétrica, a fim de proteger os motores.

As hastes fazem a ligação do motor com a palheta limpadora, na qual é instalada uma borracha limpadora.

O painel de comando, situado na cabine, possui a indicação *windshield wiper* ou, em português, limpa para-brisas, que possui duas seletoras, uma para o limpador direito e outra para o esquerdo, em que se pode ligar e desligar, selecionar a velocidade alta e baixa e o movimento intermitente.

De uma forma geral, o funcionamento do equipamento é semelhante, mas pode mudar de fabricante para fabricante.

A Figura 24 mostra um modelo de painel de controle e um limpador de para-brisa.

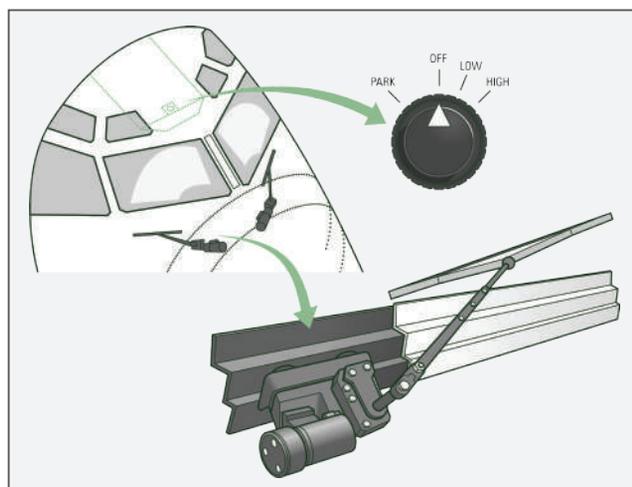


Figura 24 - Limpador de para-brisa e painel de controle

## 5.2 Sistemas hidráulicos de limpadores de para-brisas

Em um sistema de limpador de para-brisas operado hidráulicamente, o que muda em relação ao elétrico é quanto ao motor, pois, no lugar de acionamento por meio de um motor elétrico, terá um sistema que utilizará a força hidráulica.

A Figura 25 mostra os componentes representando um sistema operado hidráulicamente. O sistema contém uma válvula de controle da velocidade, usada para dar partida, parar e controlar a velocidade de operação do limpador.

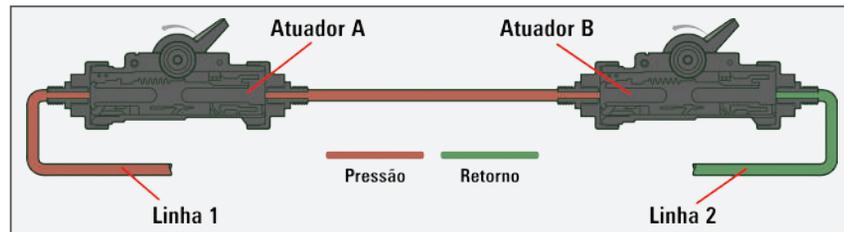


Figura 25 - Limpador operado hidráulicamente

A pressão hidráulica atua em um cilindro, o qual está ligado a uma cremalheira, fazendo o limpador se movimentar para a direita ou para a esquerda de acordo com o sentido que venha o fluxo hidráulico. Para não haver um movimento muito forte em relação à pressão hidráulica, o sistema possui uma restrição da pressão hidráulica no momento em que vai atuar na cremalheira.

## 5.3 Sistema pneumático de remoção de chuva

Algumas aeronaves possuem um sistema pneumático que utiliza um jato de ar pressurizado na base do para-brisa, impedindo o acúmulo de água. Esse jato de ar é proveniente do sistema pneumático da aeronave, que pode ser de uma sangria do compressor ou mesmo por intermédio de uma bomba girada pelo motor.

## 5.4 Repelente de chuva do para-brisas

Este sistema é a base de um produto químico borrifado constantemente na base do para-brisa, em que é espalhado pelo próprio ar de impacto. Tal produto garante uma fina camada sobre o

para-brisa, não deixando a água se acumular sobre o vidro. A Figura 26 demonstra o esquema do sistema utilizando replente.

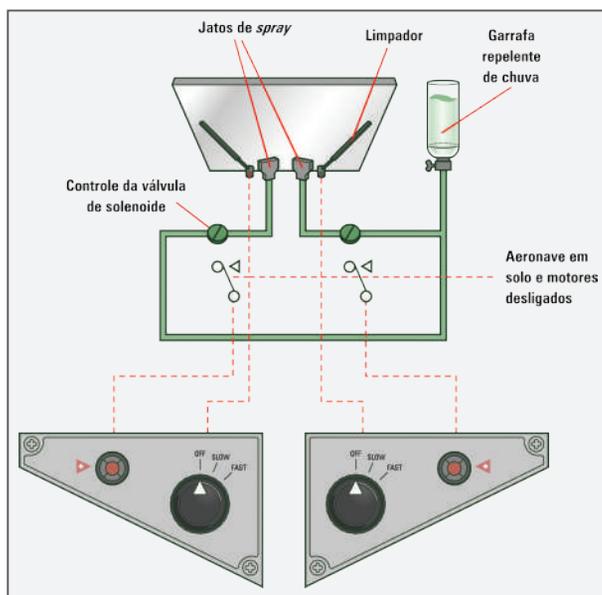


Figura 26 - Esquema do sistema utilizando replente

## 5.5 Manutenção dos sistemas de eliminação dos efeitos da chuva

A manutenção dos sistemas consta da checagem operacional, ou seja, uma vistoria periódica para testar a funcionalidade de todos os componentes e alguma troca, se for necessário.

Quanto às palhetas de borracha dos limpadores, deve haver a substituição em intervalos de tempos regulares previstos nos manuais técnicos das aeronaves, por isso a consulta é sempre obrigatória porque varia de equipamento para equipamento.

### Resumindo

Neste capítulo, viu-se que a chuva é um fenômeno natural e que, por isso, providências devem ser tomadas para que ela não interfira no voo. Nesse sentido, sistemas são criados e estão em constante aperfeiçoamento, a fim de manter a aeronave sempre com o para-brisa transparente.

Ademais, observou-se que os sistemas podem ser variados, de acordo com o tamanho e o modelo da aeronave. Eles são à base de ar pneumático (muito utilizado nos aviões de caça) e, para manter a visibilidade, usam-se produtos químicos repelentes de chuva e limpadores com uma lâmina de borracha. Contudo, todos os sistemas precisam de manutenções periódicas para o perfeito funcionamento e a segurança do voo.



# Capítulo 6

## Sistemas de proteção contra fogo

A aeronave utiliza produtos químicos altamente inflamáveis, o que configura um perigo constante. Por esse motivo, o conhecimento do sistema de proteção contra fogo – os locais onde se encontram os extintores e os procedimentos de operação deste sistema – é vital para uma resposta rápida na eliminação do perigo.

Para saber como agir, é necessário saber o que é fogo. Segundo o dicionário Michaelis (2012), fogo é toda combustão que seja acompanhada de liberação de luz, calor e, geralmente, de chamas.

Para ter fogo, os estudiosos no assunto criaram um meio de compreensão muito fácil que é o triângulo de fogo, conforme a Figura 27.

Na figura, nota-se que o fogo só existe quando três elementos estão juntos: o combustível, o **comburente** e o calor. Caso se elimine um desses, o fogo não existirá. Um exemplo básico é colocar uma vela sobre um pires, assim, ter-se-á o combustível (a cera com um fio de algodão) e o comburente (oxigênio, presente na atmosfera), porém faltará uma fonte de calor para obter o fogo. A fim de completar o ciclo – gerar o fogo –, é necessário um palito de fósforo. No momento em que o palito aceso entra em contato com o pavio umedecido com a cera, ocorre a união dos três elementos e a reação acontece gerando a chama.

Com vistas a apagar a fonte de calor, basta retirar um dos elementos, como, por exemplo, colocando um copo de modo a impedir que o oxigênio tenha contato com a reação, ver-se-á que, aos poucos, a chama se apaga devido à falta de oxigênio.



Figura 27 - Triângulo do fogo



Figura 28 - Quadrado do fogo

Esse exemplo pode ajudar a entender como o fogo existe e o que deve ser feito para apagá-lo. Todavia, atualmente, os estudiosos do assunto já possuem outra teoria – a do tetraedro do fogo, conforme mostrado na Figura 28.

O quadrado do fogo ocorre quando ele se torna incontrolável e acontece o que se chama de reação em cadeia, na qual ele se autossustenta, isto é, por meio de vários materiais, o fogo cria a sua própria fonte de elementos para manter-se.

### 6.1 Características dos sistemas de proteção contra fogo

Em relação aos sistemas de proteção contra fogo nas aeronaves, deve-se:



**Comburente:** substâncias que, em contato com algum combustível, permitem a ocorrência de uma combustão.

- detectar o mais rápido possível o princípio do fogo, motivo pelo qual são fabricados diversos sensores que acionam alarmes assim que houver uma pequena chance de acontecer um incêndio;
- extinção da ameaça por meio de elementos químicos, eliminando um dos três elementos da formação do fogo.

## 6.2 Métodos de detecção do fogo

Para se detectar o início de fogo, diversos sensores são criados a todo momento. Os métodos usados são:

- detectores de aumento da razão de temperatura;
- detectores sensores de radiação;
- detectores de fumaça;
- detectores de superaquecimento;
- detectores de monóxido de carbono;
- detectores de vapores de combustível;
- detectores de fibra ótica;
- observação pela tripulação ou passageiros.

Muitas vezes as grandes aeronaves utilizam mais de um tipo de detector, visto que, de acordo com o local da aeronave, há necessidade de um modelo específico para assegurar todos os princípios de incêndio que possam ocorrer.

Os tipos de detectores mais usados para rápida detecção de fogo são de aumento de temperatura, sensores de fumaça e detectores de superaquecimento.

### 6.2.1 Exigências de um sistema de detecção de fogo

As aeronaves atuais são complexas, possuem vários equipamentos eletrônicos, são multimotoras e o seu tamanho é cada vez maior. Por esse motivo, os órgãos de certificação e fiscalização da operacionalidade das aeronaves já prescrevem exigências mínimas para os sistemas, visando sempre à segurança de voo. Um sistema ideal deve possuir as seguintes características com vistas ao atendimento das exigências de segurança:

- não causar falsos alarmes sob qualquer condição de voo;
- indicação rápida de fogo ou fumaça e sua exata localização;
- precisão na indicação de que o fogo foi extinto;
- indicação de que o fogo foi reativado;
- indicação contínua da duração do fogo;
- possibilidade de testar eletricamente o sistema detector desde a cabine da aeronave;
- detectores resistentes a danos causados por exposição a óleo, água, vibração, temperaturas extremas e manuseio;

- detectores que tenham pouco peso e sejam facilmente adaptáveis em qualquer posição de montagem;
- detectores instalados em circuitos operados diretamente do sistema de força da aeronave sem inversores;
- exigências mínimas de corrente elétrica quando não houver indicação de fogo;
- cada sistema detector deverá acender uma lâmpada na cabine, indicando a localização do fogo ou fumaça e deverá ter um sistema de alarme sonoro;
- um sistema detector separado para cada motor.

## 6.3 Sistemas de detecção de fogo e de fumaça

O sistema de detecção deverá alertar a tripulação o mais rápido possível para que tome a atitude correta. Os detectores são escolhidos e instalados em quantidade de acordo com o local onde possa ocorrer um incêndio.

Normalmente, as aeronaves são divididas em: área dos motores, cabine de comando e passageiros, toaletes, área de bagagens e área do gerador elétrico auxiliar, em inglês, *auxiliary power unit* (APU). Os sistemas detectores de uso mais comum são o sistema de interruptor térmico, sistema de par térmico, sistema de circuito contínuo, sistema de elemento contínuo, detector de fumaça por ionização e detector fotoelétrico.

### 6.3.1 Sistema de interruptor térmico

O nome se refere a um interruptor térmico. É um sistema de alerta que acenderá uma lâmpada ou fará soar uma campainha. O interruptor é instalado em um local sensível ao fogo, assim que a temperatura começar a subir, ele fecha o circuito e acende a lâmpada de aviso de início de fogo.

Em linhas gerais, utiliza-se mais de um interruptor, conectados em paralelo um com outro, mas o conjunto estará em série com as luzes indicadoras. Se um aumento de temperatura ultrapassar um determinado valor em qualquer seção do circuito, o interruptor térmico fechará, completando o circuito da lâmpada indicadora de fogo ou da condição de superaquecimento.

O sistema pode ser testado quanto ao seu funcionamento por meio de uma chave teste (*test switch*). Essa chave é utilizada para checar toda a fiação e o filamento da lâmpada. Os detectores estão ligados em paralelo entre dois circuitos completos da fiação, assim, o sistema pode resistir a uma falha, que pode ser uma abertura no circuito elétrico ou um curto para a massa, sem indicar um falso alarme de fogo.

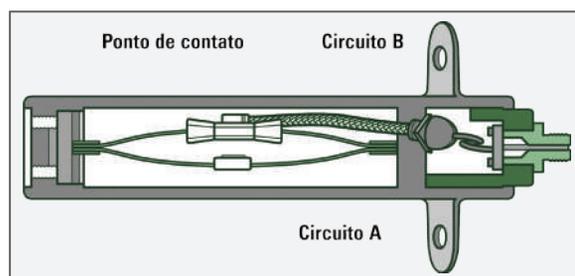


Figura 29.A - Interruptor térmico

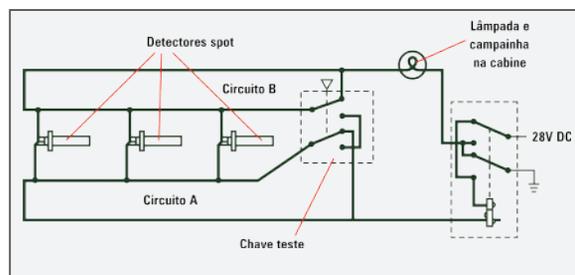


Figura 29.B - Esquema elétrico do interruptor térmico

Uma dupla falha pode existir antes que um falso alarme de fogo possa ocorrer. No caso de uma condição de fogo ou de superaquecimento, o interruptor do detector *spot* fecha, completando o circuito para soar um alarme.

### 6.3.2 Sistemas de par térmico

O detector que utiliza o sistema de par térmico não acende lâmpada e não faz soar uma campainha. Este sistema é utilizado para detectar um superaquecimento em algum equipamento. Na aviação, ele é empregado na indicação da temperatura nos motores, a fim de que estes possam operar dentro de limites especificados pelo fabricante. Em 1822, o físico Thomas Seebeck descobriu que a junção de dois metais gera uma tensão elétrica em função da temperatura.

Nos motores convencionais mais antigos, os termopares foram fabricados utilizando o ferro + **constantã**, conhecido como tipo (J), possuindo uma faixa de medição de -40 a 750 °C.

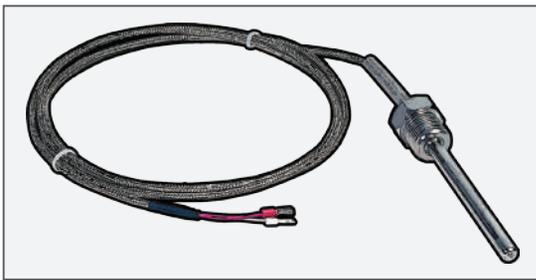


Figura 30 - Termopar utilizado nos cilindros dos motores

Nas aeronaves mais novas, com motores mais atuais e equipamentos mais sofisticados, os termopares são do tipo (E), fabricados com **cromel** + **constantã**. Este termopar tem uma elevada sensibilidade ( $68 \mu V / ^\circ C$ ), que o torna adequado para baixas temperaturas.

O termopar, conforme a Figura 30, é instalado no cilindro do motor que sofrerá maior aquecimento e o seu sinal é enviado para o painel da aeronave.

Como o motor a reação trabalha com uma faixa de temperatura maior, os termopares são do tipo (K), fabricados de **cromel** + **alumel**, e a sua faixa de trabalho é entre -200 e 1.200 °C, tendo uma sensibilidade de, aproximadamente,  $41 \mu V / ^\circ C$ .

Este sistema é instalado na região do motor mais quente, geralmente na saída da câmara de combustão. Conforme a Figura 31, o terminal de cromel é o metal positivo e o de alumel, o negativo.

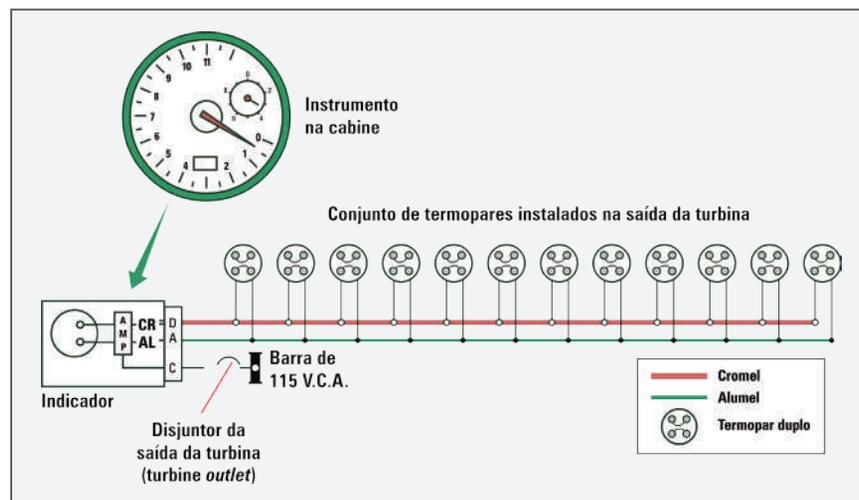


Figura 31 - Conjunto de termopar no motor a reação



**Constantã:** liga metálica utilizada na produção de fios para a fabricação de resistores elétricos (comumente, resistências elétricas) e em termopares.

**Cromel:** liga metálica de 90% Ni (níquel) e 10% Cr (cromo) utilizada em termopares.

**Alumel:** liga metálica de níquel, com manganês, alumínio, silício e ferro, utilizada na fabricação de resistores elétricos.

O sistema de leitura funciona com sondas instaladas no motor, que recebe o nome de junção quente e terá uma leitura da parte quente do motor. Do lado de fora, existe uma sonda denominada de junção fria e uma caixa de controle em que é instalado um resistor escravo.

O sistema funciona de uma forma que não importa qual seja a temperatura externa, negativa, zero graus ou positiva, pois o que tem relevância no instrumento é a temperatura do motor, sem sofrer interferência da temperatura externa. Por isso, o sistema possui um sensor na parte externa e um resistor escravo, o qual sente a temperatura externa e a elimina da leitura no instrumento.

Se não houvesse o resistor escravo (compensador), o motor teria uma temperatura quando estivesse no solo e, quando atingisse grandes altitudes, teria uma nova temperatura. Os motores possuem limites operacionais de temperatura para que seus componentes internos não sofram danos, motivo pelo qual a temperatura que o ar está sendo admitido não pode interferir. Esse limite operacional é fornecido pelo fabricante, medido em um banco de ensaios e precisa ser o mesmo para quando o motor estiver no solo com uma temperatura local de 35 °C ou quando ele estiver a grandes altitudes com temperatura de -40 °C.

O sistema funciona basicamente desta forma: quando a junção quente e a junção fria estiverem na mesma temperatura, não há diferença de tensão, assim, a leitura no instrumento do motor será a temperatura dele. Quando existe um aquecimento em consequência do funcionamento do motor, o resistor escravo bloqueia o sinal da junção fria, para que não interfira na leitura da temperatura do motor.

### 6.3.3 Sistema detector de circuito contínuo

O local onde ficam instalados os motores das aeronaves é uma região altamente sujeita a fogo, tendo em vista a quantidade de acessórios que trabalham com fluidos inflamáveis (gasolina, querosene, óleo hidráulico, etc.). Além disso, por ser uma região sempre com temperaturas elevadas em razão da combustão e de válvulas de sangria de ar no compressor, é utilizado um sistema detector de circuito contínuo.

Os motores das aeronaves ficam expostos a uma grande variação térmica e sofrem todas as intempéries da natureza, necessitando, com isso, de um sistema que garanta um sensoramento constante para proteção do motor e da aeronave. Eles devem possuir um bom desempenho de detecção e resistência para suportar este ambiente em que está instalado. A Figura 32 mostra o detector que fica instalado no nariz da aeronave.

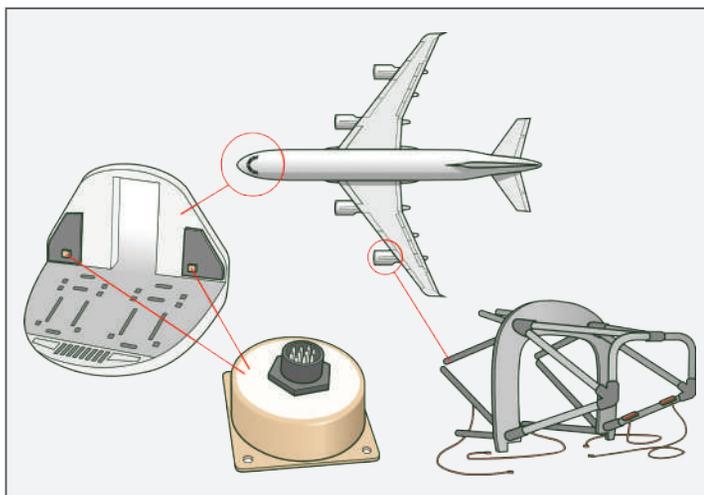


Figura 32 - Detector de fogo do motor



**Termistor:** resistência elétrica que varia o seu valor de acordo com a temperatura a que está submetida.

**Eutético:** substância que se comporta como se fosse pura somente durante o ponto de solidificação ou de fusão.

O sistema de circuito contínuo utiliza condutores envolvidos com um material de proteção, formando um **termistor**, ou seja, sua resistência elétrica diminui à medida que sofre aquecimento, fechando o circuito de alarme de fogo. Os tipos podem ser fabricados com um elemento condutor ou com dois. O sistema com dois condutores internos é envolvido por um material termistor e coberto com uma proteção de uma liga de níquel-cromo endurecível por precipitação, que possui grande resistência à corrosão e suporta altas temperaturas, conforme mostra a Figura 33. Como ele utiliza dois condutores, um fica ligado ao fio terra enquanto o outro à unidade de detecção de fogo.

Ocorrendo um princípio de fogo, o aumento da temperatura é sentido na área onde está instalada a fiação do sistema. Como a resistência cai proporcionalmente ao aumento da temperatura, ocorre um desbalanceamento da resistência elétrica através da fuga de corrente elétrica no condutor que está ligado ao fio terra. Essa diminuição da resistência gera um sinal à unidade de detecção, informando que houve um desbalanceamento na resistência elétrica. A unidade de detecção de incêndio monitora esta resistência e envia um alerta de incêndio ao painel da aeronave.

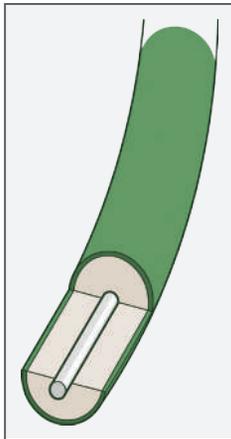


Figura 34 - Fiação do sistema com um condutor

O sistema com um condutor funciona da mesma forma do que possui dois condutores. A diferença é que o primeiro tem no seu interior somente um condutor, conforme a Figura 34, envolvido com sal **eutético**, isso tem a propriedade de abaixar rapidamente o seu valor de resistência, assim que detectar um aumento de temperatura.

Quando o sistema sente um superaquecimento, em qualquer parte da fiação, a mistura de sal eutético diminui rapidamente a resistência do condutor, fazendo com que um sinal elétrico chegue a unidade de detecção de incêndio e, mediante circuitos internos, um sinal é enviado ao painel de instrumento na cabine.

O sistema desliga automaticamente os alarmes assim que a fiação sente um resfriamento na área, resultando em que o elemento sensível à temperatura (sal eutético) aumente a resistência do condutor e o sinal seja cortado da unidade de detecção. O sistema entra em estado de alerta e espera novamente, a fim de que possa captar um novo superaquecimento.

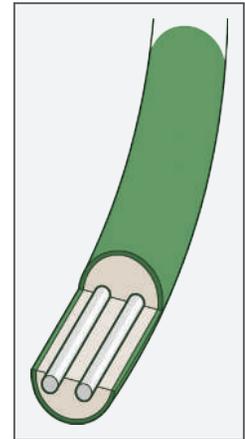


Figura 33 - Fiação com dois condutores internos

### 6.3.4 Sistemas de elementos contínuos

O modelo de sistema Lindberg é um exemplo de elemento contínuo que funciona por meio de pressão pneumática. Ele é composto por uma fiação fechada hermeticamente, que possui em

seu interior um gás sensível à temperatura e, em uma extremidade, um diafragma que será o interruptor de fechamento dos contatos do sistema.

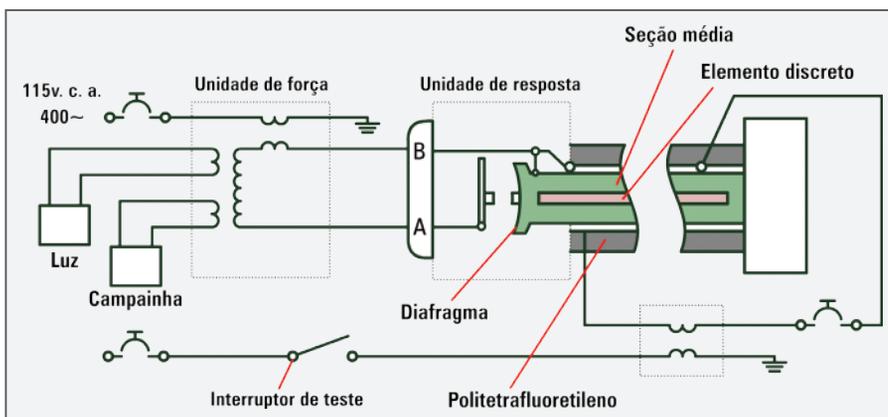


Figura 35 - Esquema do sistema Lindberg

Quando ocorre um superaquecimento na área onde está a tubulação do sistema, o gás internamente expande, aumentando a pressão na área do diafragma e fazendo com que os contatos elétricos se fechem. Aciona-se, em seguida, o aviso de fogo que, normalmente, é uma luz ou campainha no painel de comando do sistema de proteção contra fogo.

O sistema ainda incorpora um interruptor de teste, para examinar o sistema nas manutenções operacionais previstas nos manuais técnicos de manutenção da aeronave.

### 6.3.5 Detector de fumaça por ionização

Este detector de fumaça, geralmente instalado nos toaletes das aeronaves, são detectores que sentem a presença de fumaça e disparam um alarme de fogo. O sistema funciona por meio de uma fonte de um produto radioativo, que ioniza as partículas de ar, entre o eletrodo positivo e negativo, mantendo uma corrente elétrica.

Quando a fumaça passa entre os dois eletrodos, esse equilíbrio da corrente elétrica é quebrado, resultando na interrupção da corrente e, por consequência, no acionamento do alarme de fogo. Este sistema pode realizar também o acionamento de jato de água e disparar algum produto para eliminar o fogo, conforme Figuras 36.A e 36.B.

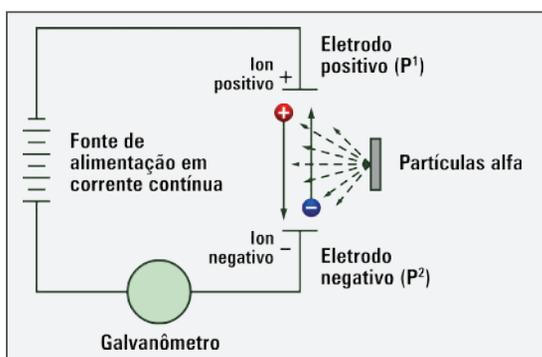


Figura 36.A - Princípio operacional de um detector

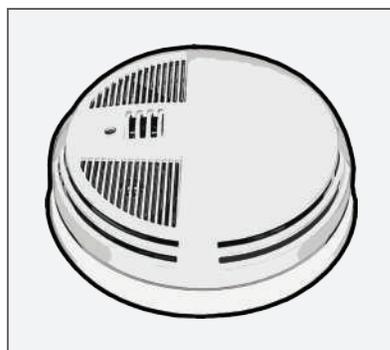


Figura 36.B - Detetores de fumaça por ionização



**Fotocélula:** dispositivo que permite obter corrente elétrica pela ação de um fluxo luminoso.

### 6.3.6 Detector de fumaça fotoelétrico (ou ópticos)

São os que funcionam por meio de uma **fotocélula** e de uma fonte de luz e são instalados em locais onde se espera uma grande formação de fumaça. Na aviação, os locais em que se instala este sistema são os compartimentos de bagagens. O motivo do funcionamento é que, se houver um princípio de fogo, esses ambientes geram muita fumaça, que bloqueará o feixe de luz até a fotocélula, gerando um sinal para o alarme de fogo.

A arquitetura do sistema é feita com uma série de detectores, os quais garantem uma segurança para um falso alarme. Geralmente, é necessário o sinal de mais de um dos detectores para que o alarme seja acionado.

## 6.4 Características dos agentes extintores

Por se tratar de uma aeronave, os agentes extintores utilizados não podem ser tóxicos. Alguns precisam combater incêndios causados com líquidos inflamáveis e, ao mesmo tempo, em equipamentos elétricos, como é o caso dos agentes utilizados na área dos motores. Precisam ter um longo período de estocagem, não podem congelar a baixas temperaturas da atmosfera, normalmente encontradas em voo. Os agentes mais comuns utilizados são classificados em dois tipos: o hidrocarboneto halogenado e o gás frio inerte.

Como estudado no início deste capítulo, o fogo acontece pela união de três elementos: calor + combustível + comburente. Desse modo, os agentes atuam no processo de combustão eliminando um dos três elementos para que o fogo cesse.

Os agentes halogenados não contêm átomos de hidrogênio no composto, sendo mais estáveis no calor associado ao fogo e considerados mais seguros. É provável que atuem como uma interferência química no processo de combustão, entre o combustível e o oxidante, fazendo um resfriamento químico.

O gás frio inerte age eliminando o oxigênio do processo. Os gases mais eficientes e mais usados como agentes extintores são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e nitrogênio ( $\text{N}$ ), este último encontrado nas formas líquida e gasosa.

O dióxido de carbono tem sido muito utilizado nos incêndios com líquidos inflamáveis e em equipamentos elétricos, motivo pelo qual nas aeronaves eles são usados nas áreas do motor, no trem de pouso e no APU. Normalmente, o dióxido de carbono é um gás, mas ele pode facilmente se tornar líquido quando está sobre alta pressão. Quando é descarregado para a atmosfera, a maior parte expande-se para o gás, absorvendo o calor. O calor absorvido pelo gás resfria o líquido remanescente e se torna um sólido branco (um tipo de neve de gelo seco). Como o dióxido de carbono é mais pesado que o ar, ele substitui o ar sobre as superfícies que estão com fogo, assim, ele retira o oxigênio, fazendo com que o fogo se apague.

O nitrogênio é um agente extintor ainda mais eficiente, pois o seu resfriamento é maior, proporcionando quase duas vezes o volume de gás inerte para o fogo em relação à mesma quantidade de dióxido de carbono, resultando, assim, em maior diluição do oxigênio.

A principal desvantagem do nitrogênio é quanto ao seu processo de armazenamento, pois ele necessita de um condensador e de tubulações especiais que o mantenham a uma temperatura de  $-195,7\text{ °C}$  ( $-320\text{ °F}$ ), sua temperatura na forma líquida.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que um incêndio, ou mesmo um princípio de incêndio, é um problema muito sério na aviação, pois as pessoas estão em um local fechado e não têm como sair. Toda a tripulação e o pessoal responsável pela manutenção do sistema devem ser exaustivamente treinados e aperfeiçoar seus conhecimentos nesta área, visto que qualquer erro poderá gerar graves acidentes.

Em adição, estudou-se o alto risco à segurança do voo e a dificuldade de se detectar um incêndio em certos compartimentos da aeronave, tais como motores, compartimentos de carga, área do APU, etc. Dessa forma, os sistemas de detecção são aperfeiçoados constantemente, pois a rapidez e a exatidão do problema necessitam de ações para eliminar as falhas antes que se torne incontrolável.



# Capítulo 7

## Sistemas de extinção de fogo

Os detectores de fogo enviam o sinal de alerta para o painel de controle, localizado na cabine de comando da aeronave, para que a tripulação tome ciência do problema e atue de forma a extinguir o fogo. Os sistemas de extinção foram sendo aperfeiçoados e melhorados para garantir maior segurança de voo, de acordo com cada aeronave.

Os sistemas de extinção de incêndio são divididos em dois tipos: o convencional, que foi o primeiro a ser utilizado nas aeronaves e que usa uma garrafa de dióxido de carbono; e o de alta razão de descarga, em inglês, *high rate of discharge* (HRD), que utiliza os agentes extintores de hidrocarbonetos halogenados (halons).

### 7.1 Sistemas extintores de fogo, de CO<sub>2</sub>, dos motores convencionais

Este sistema equipava as aeronaves mais antigas, e ainda faz parte de algumas que estão em uso. É composto por uma garrafa de dióxido de carbono e, por meio de uma rede de tubos, é descarregado na região do motor. No motor, encontra-se uma tubulação em forma de anel envolvendo a região dos acessórios, pois é a área em que o risco de um incêndio é maior, conforme a Figura 37.

O sistema é operado da cabine por meio de uma seletora para distinguir quando a aeronave tem mais de um motor. Por intermédio de um cabo de comando, a válvula de segurança é acionada, descarregando o dióxido de carbono sobre o motor que, em contato com ar atmosférico, tem uma grande expansão em forma de uma neve, expulsando o oxigênio e abafando o fogo.

No caso de a aeronave ser maior, com quatro motores, um sistema à base de dióxido de carbono é usado. Ele possui um conjunto de garrafas desse gás, para que opere de uma forma onde possa ser utilizada mais de uma garrafa no mesmo motor.

As aeronaves já possuíam detectores de fogo, os quais acionavam alarmes por meio de luzes e avisos sonoros na cabine, onde, por intermédio de um punho corta fogo, a garrafa era acionada. Algumas garrafas eram ligadas mecanicamente, por meio de um cabo de comando, enquanto

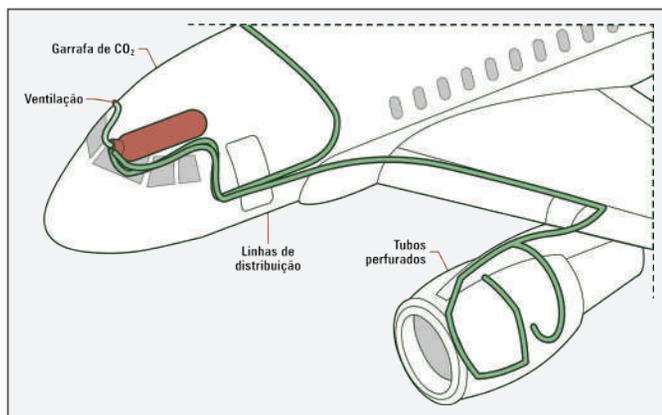


Figura 37 - Sistema convencional de extinção de fogo

outras, por uma válvula comandada com solenoide. Nesse sistema, a válvula de segurança na garrafa possuía um lacre que se quebrava quando recebia um sinal elétrico, liberando o gás para a rede de tubos.

## 7.2 Sistema de proteção de fogo de turbojato

Os motores turbojato necessitam de um controle maior quanto à proteção contra fogo, pelo fato de atingirem temperaturas mais altas quando estão em funcionamento e pelo grande fluxo de ar. Sistemas foram e estão sempre em desenvolvimento a fim de garantir maior segurança para as aeronaves.

O sistema de proteção consiste em uma fiação que funciona por meio de termopares ou circuito contínuo, instalado ao redor da região de maior risco para ocorrer um incêndio no motor, geralmente onde se localiza todo o sistema de combustível, motores elétricos, geradores de energia, sistema hidráulico e região de escapamento.

Como demonstrado na Figura 38 e explicado no capítulo seis, a fiação detecta um sobreaquecimento e, por meio de sinal elétrico junto à unidade de controle de proteção contra fogo (Figura 39), avisos são emitidos na cabine de comando (Figura 40).

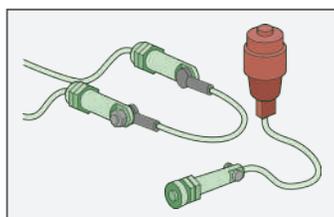


Figura 38 - Elemento sensível do sistema

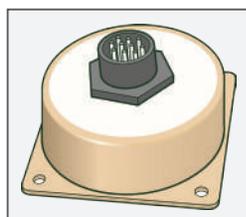


Figura 39 - Unidade de controle



Figura 40 - Painel de comando na cabine

O painel possui punhos de comando de acordo com a quantidade de motores que a aeronave possui, no caso da Figura 40, observam-se dois punhos, pois é uma aeronave bimotora.

## 7.3 Sistema de extinção de fogo de motores a turbina

O sistema de extinção pode variar de aeronave para aeronave. Será relatada a aeronave com dois motores por já ter sido mostrado em capítulos anteriores. Uma aeronave com dois motores possui duas garrafas que armazenam o agente extintor, que, através de tubulações, será descarregado na região do motor.

Nessa área, as tubulações possuem pontas furadas em locais próximos aos acessórios, na do escapamento e na região que compreende a câmara de combustão, pois, nesses locais, a possibilidade de acontecer um incêndio é maior, devido ao fato de ser a área mais quente do motor e concentrar-se nas tubulações de combustível.

A localização das garrafas na aeronave varia de fabricante para fabricante de aeronaves. Algumas ficam localizadas na parte inferior da fuselagem, outras na parte superior. O sistema permite que se utilize uma garrafa por motor ou, ainda, duas garrafas em um único motor por meio dos punhos de comando. Para ficar mais claro, um exemplo é o motor direito da aeronave estar com um princípio de fogo:

- a fiação do sistema de detecção recebe um sobreaquecimento e, por meio de sinal elétrico, informa a unidade de proteção, a qual enviará sinal de alerta para a cabine, que acenderá uma luz de alerta padrão (*master warning*) na frente do painel, uma campainha tocará, a palavra **FIRE** (fogo) acenderá no punho correspondente do motor no painel de comando de extinção, exemplo na Figura 41;
- o piloto imediatamente aciona o alarme de fogo, puxa o punho correspondente e gira para a esquerda. Neste momento, dispara um sinal elétrico para a garrafa n° 1, que é descarregada no motor direito. No momento em que o piloto puxou o punho, como medida de segurança para a aeronave, o sistema ainda incorpora sinais elétricos para acionar válvulas de corte no sistema de combustível, sistema hidráulico e a sangria de ar comprimido do referido motor, a fim de evitar a propagação do incêndio;
- se for detectado pelo sistema que com uma garrafa não foi possível extinguir o fogo por completo, o piloto gira o mesmo punho no sentido contrário e, imediatamente, a garrafa n° 2 será descarregada no motor direito, pois o sistema é montado de uma forma que, com apenas um punho, pode-se acionar as duas garrafas (Figura 42);
- o mesmo procedimento acontece para o motor esquerdo.



Figura 41 - Painel de comando com motor direito acionado

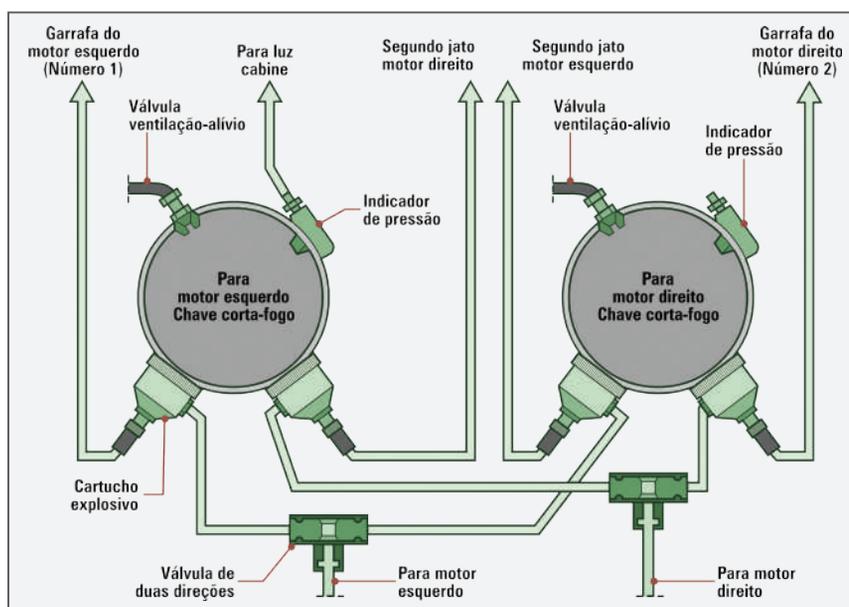


Figura 42 - Esquema da montagem de um sistema com as garrafas

## 7.4 Proteção de fogo no solo dos motores a turbina

Tendo em vista que as aeronaves estão cada vez maiores, a proteção contra o fogo nos motores em solo é sempre uma preocupação, pois a chance de o motor incendiar-se no momento da partida é muito grande. Dessa forma, os equipamentos de combate a incêndio e o pessoal da brigada contra incêndio estão sempre alertas e em constante treinamento.

As aeronaves com motor a turbina possuem, em seus alojamentos, janelas por onde injetam-se os agentes químicos para combater o princípio de incêndio, pois, muitas vezes, o sistema da aeronave ainda está indisponível.

Um problema sério é que o excesso de agentes químicos nos motores pode trazer consequências desastrosas para estes, principalmente se o agente químico for jogado na entrada de ar, onde será **succionado** para dentro, causando troca de motores e revisão geral.



**Succionar:** termo empregado quando o motor suga o ar para dentro. Exemplo: o ar é succionado pelo compressor.

## 7.5 Práticas de manutenção dos sistemas de detecção de fogo

O sistema de detecção de fogo trabalha com fiações elétricas e sensores que requerem um cuidado muito especial para que não sejam danificados ou mesmo que não funcionem no momento que precisar. Listam-se, a seguir, os cuidados mais comuns, mas deve-se sempre consultar o manual de manutenção para seguir os procedimentos corretos relativos ao sistema em que se estiver trabalhando.

### 7.5.1 Inspeção dos elementos sensores

Os manuais técnicos das aeronaves trazem uma série de recomendações de acordo com o modelo. Por essa razão, a consulta e o estudo dos manuais devem ser um hábito para o profissional que atua na área. Na inspeção, alguns itens devem ser verificados em todas as aeronaves:

- a fiação do sistema detector quanto ao esmagamento entre os painéis de fechamento de inspeções do motor e entre os acessórios;
- a fiação quanto ao desgaste causado por atrito, provocado entre carenagens, berço do motor e acessórios;
- pedaços de fios elétricos ou outras peças metálicas para evitar curto circuito nos terminais dos detectores;
- a condição das borrachas de fixação da fiação quanto ao amaciamento, tendo em vista que o contato com produtos químicos utilizados no motor podem deixá-las moles ou o calor excessivo do motor pode ressecá-las (Figura 43).

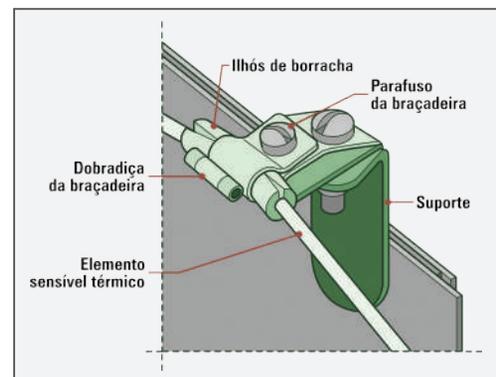


Figura 43 - Sistema de amortecimento da fiação

As figuras são meramente ilustrativas e não devem ser usadas em uma manutenção real. É necessário sempre consultar os manuais técnicos das aeronaves.

### 7.5.2 Teste do sistema de detecção de fogo

O sistema de detecção de fogo é praticamente um sistema elétrico. Ele deve ser sempre testado quanto à sua resistência elétrica, se os terminais não apresentam fuga de corrente, continuidade da fiação, etc. Todas as aeronaves trazem em seus manuais técnicos os procedimentos a serem realizados e os equipamentos necessários a isso. A fim de ilustrar melhor, foram elencados itens que são executados em um teste.

- conectar uma fonte elétrica na aeronave. Antes de executar esse item, deve-se primeiro checar todo o painel da aeronave, em especial o painel do sistema de detecção de fogo, verificando se o punho não está puxado nem girado para um dos lados e a chave do comando do sistema está desligada.
- o painel de comando possui um botão para teste do sistema, quando é pressionada a luz no punho acende **FIRE**, a luz na frente do painel acende **MASTER WARNING** e o alarme sonoro dispara os outros. Como as aeronaves são de tamanhos e modelos diferentes, alarmes e luzes estão sempre sendo modificados e aperfeiçoados.
- nas aeronaves mais modernas, com toda a tecnologia instalada, há uma central eletrônica (computador) que gerencia todos os itens e sensores do sistema, e, quando algum deles apresenta problema, é automaticamente identificado e mostrado na tela para o piloto.
- deve-se tomar cuidado no momento do teste dos conectores elétricos, pois podem estar energizados. Primeiramente, desligam-se todos os disjuntores relativos ao sistema no qual será realizado o teste e, com auxílio de um multímetro, verificam-se os terminais, conforme a Figura 44.

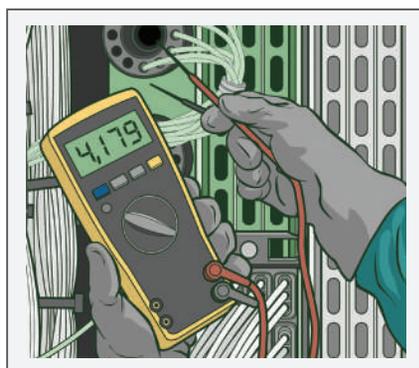


Figura 44 - Uso de multímetros em terminais elétricos

Os testes nos sistemas são específicos para cada aeronave, por isso, sempre se deve consultar os manuais técnicos das aeronaves, a fim de garantir um excelente trabalho de nível técnico e a segurança do voo.

## 7.6 Pesquisa de panes do sistema de detecção de fogo

As panes no sistema de detecção de fogo são causadas por problemas elétricos ou por alguma unidade do sistema que falhou. Quando as aeronaves estão novas, é difícil acontecer problemas, mas, à medida que envelhecem, surgem alguns problemas: luzes queimam, fiação elétrica é danificada, componentes atingem tempo de vida limite, etc.

### Procedimentos

Muitas vezes, os procedimentos são resolvidos com a substituição dos componentes do sistema.

Os manuais de manutenção das aeronaves trazem exemplos de uma série de panes e os passos para resolvê-las, mas também acontece bastante de o problema somente ser solucionado com a substituição do componente.

## 7.7 Práticas de manutenção do sistema extintor de fogo

A manutenção do sistema de extinção de fogo é baseada na checagem regular dos itens que o compõem: recipientes dos agentes extintores, remoção e reinstalação dos cartuchos e válvulas de descarga, checagem das tubulações do sistema quanto a vazamentos e teste de continuidade dos componentes elétricos do sistema.

Em seguida, são apresentados alguns procedimentos comuns aos sistemas.

- Checagem de pressão das garrafas

As garrafas ou mesmo os extintores portáteis disponíveis na aeronave contêm um mostrador que informa o valor da pressão interna do recipiente (Figuras 45 e 46). Regularmente, essa pressão necessita ser checada, pois, se houver algum vazamento no recipiente, ela cairá, e, se precisar acionar o sistema, ele não funcionará. Esses itens também sofrem testes hidrostáticos em intervalos recomendados pelo fabricante, por essa razão a consulta dos manuais técnicos é importante.

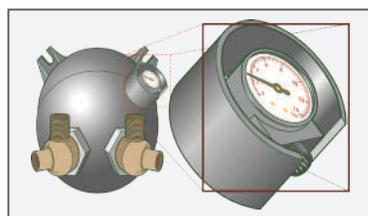


Figura 45 - Mostrador da garrafa



Figura 46 - Mostrador no extintor manual

- Cartuchos de descarga

As garrafas utilizadas nos sistemas de extinção possuem um cartucho que, ao receber um sinal elétrico por meio do punho de comando, é disparado e quebra um selo, para liberar o agente extintor. Este cartucho possui um tempo de vida previsto pelo fabricante e, com o seu vencimento, necessita ser substituído.

Há modelos de garrafas que utilizam as válvulas e os cartuchos como sendo um único componente e, dessa forma, basta substituir a válvula. No entanto, atualmente as garrafas utilizam válvulas separadas do cartucho, conforme mostram as Figuras 47.A e B. Na montagem, deve-se tomar cuidado, porque existem folgas que têm de ser obedecidas para não falhar ao receber o comando.

Não se pode utilizar um cartucho em outra válvula de descarga, visto que essa folga é determinada pelo fabricante e varia de um conjunto para outro.

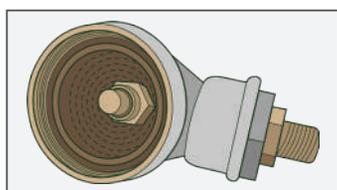


Figura 47.A - Válvula de descarga

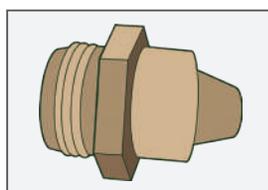


Figura 47.B - Cartucho

- Reservatórios dos agentes extintores

Os agentes extintores ficam acondicionados em garrafas esféricas de aço (Figura 48). Nos dias atuais, os sistemas utilizam quatro tamanhos diferentes, de acordo com a área a que estão destinados a proteger. Podem ser, aproximadamente, de 3,5 litros (menor) a 15,5 litros (maior).

O de tamanho maior possui um peso aproximado de 20 quilos. O menor é usado para sistemas que atendem apenas a uma unidade (como exemplo, um motor), por isso possui somente uma válvula de descarga. O maior é utilizado em sistemas duplos, em que uma única garrafa atende a duas unidades (como exemplo, dois motores). Além do agente extintor, a garrafa recebe uma carga de nitrogênio seco, o qual fornece pressão suficiente para a completa descarga do agente.

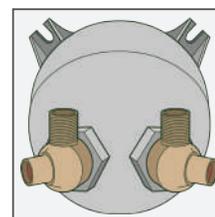


Figura 48 - Garrafa com duas saídas

- Garrafas de dióxido de carbono

As garrafas que armazenam o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) são fabricadas de aço inoxidável e possuem vários tamanhos. O peso da garrafa é dado pelo peso de  $\text{CO}_2$  que está armazenado na garrafa. Como a pressão interna dela é alta, o  $\text{CO}_2$  fica armazenado na forma líquida. Essa pressão fica em torno de 700 a 1.000 libras por polegada quadrada.

A expansão do  $\text{CO}_2$  no momento em que é liberado chega a alcançar cerca de 500 vezes o volume que se encontra na garrafa para a conversão em gás. A estocagem da garrafa não sofre interferência com baixas temperaturas, mas com as altas temperaturas podem ocorrer

rer vazamentos. A fim de evitar esse problema, os fabricantes colocam uma carga de nitrogênio seco antes de encher as garrafas com  $\text{CO}_2$ . O nitrogênio possui uma temperatura bem mais baixa que o  $\text{CO}_2$  e garante maior segurança da garrafa em ambientes quentes.



Figura 49 - Modelos de garrafa

## 7.8 Proteção e prevenção contra incêndios

A grande proteção e prevenção contra incêndios é a constante observação no momento das inspeções quanto a vazamentos de combustível, óleo hidráulico, fluido de degelo ou lubrificantes, pois esses produtos são a fonte principal de incêndios nas aeronaves.

Ao ser verificado qualquer vazamento em algum sistema, medidas corretivas devem ser tomadas de imediato. Isso porque o menor vazamento que houver de combustível, ou outro fluido, poderá ficar acumulado em lugar de difícil acesso na estrutura da aeronave, gerando vapores, que, com algum aquecimento ou um curto circuito, ocasionarão uma explosão e um incêndio. Alguns exemplos:

- o sistema de combustível é o mais preocupante, pois contém um grande poder de combustão e, dependendo da aeronave, a área que fica condicionada é enorme. Muitas vezes, é detectado um vazamento na raiz da asa e, quando é checado, verifica-se que o vazamento é em uma tubulação na ponta da asa;
- fluidos hidráulicos são muito inflamáveis, e o seu acúmulo dentro da estrutura é um problema sério e precisa ser resolvido rápido;
- materiais utilizados na proteção de ruídos, como, por exemplo, a espuma, tornam-se muito inflamáveis se estiverem embebidos de algum óleo;
- fluidos perto de aquecedores por combustão tornam-se perigosos, principalmente se houver vapor acumulado;
- nas aeronaves que utilizam oxigênio líquido em algum sistema, o cuidado com a limpeza é primordial, haja vista que ele entra em combustão quando em contato com óleo ou graxa.

O uso dos sistemas de extinção de incêndio é muito útil, porém a melhor maneira é prevenir para que nunca aconteça.

Um lugar muito preocupante para os operadores na aviação é o interior das cabines, pois é um local que possui muitos equipamentos elétricos e uma grande quantidade de fiação.

Todas as partes que são ornamentadas utilizando tecidos de lã, algodão e materiais sintéticos recebem um tratamento para tornarem-se resistentes ao fogo. Testes têm mostrado que espuma ou esponja de borracha são altamente inflamáveis, no entanto, se elas forem envolvidas com tecidos resistentes à chama ficariam pouco perigosas de se inflamarem, como resultado de uma ignição produzida pelo contato acidental de um cigarro aceso ou um papel queimando.

A proteção contra incêndios no interior da aeronave é feita com extintores portáteis. Quatro tipos de agentes extintores de fogo são previstos para a extinção de incêndios no interior das aeronaves, de acordo com os materiais daquele local: água, dióxido de carbono, produto químico seco e hidrocarbonetos halogenados.

- a) Extintores de fogo com água são usados primariamente em fogo da classe (A) de origem não elétrica. O cilindro possui um punho que, ao ser girado no sentido horário, aciona um cartucho de  $\text{CO}_2$ , que irá pressionar o interior do cilindro, fazendo com que a água saia através de um bico de descarga. O jato d'água é controlado por um gatilho na parte superior do cilindro.
- b) Extintores de fogo com dióxido de carbono são utilizados para incêndios da classe (C), ou seja, os de origem elétrica. O cilindro de  $\text{CO}_2$  possui um tubo longo no interior com um bico de descarga não metálico e com o formato cônico de um megafone, o qual permite a expansão do gás no momento da saída próximo à fonte do fogo para abafá-lo. O gatilho é frenado com um arame, que se rompe com o próprio acionamento.
- c) O extintor de fogo com produto químico seco pode ser usado em todas as classes de incêndio, no entanto, não se pode utilizar dentro da cabine, pois haveria um grande acúmulo de pó no ar, prejudicando a visibilidade, e danificaria todos os equipamentos elétricos que entrassem em contato com o produto. O cilindro possui um bico ejetor fixo, o qual é dirigido para a fonte de fogo a fim de abafá-lo. O gatilho é também frenado com arame, que se rompe no momento que o primeiro é acionado.
- d) O grande problema do uso do  $\text{CO}_2$  no combate a incêndio, onde encontram-se pessoas, é a intoxicação. Possivelmente, a sua substituição será para os hidrocarbonetos halogenados, pois possui um teor muito baixo quanto à intoxicação e uma grande eficiência em incêndios de baixa concentração. Para se ter ideia de sua eficiência, ele apaga fogo com uma concentração de 2% por volume. Se utilizasse o  $\text{CO}_2$ , seria necessário 40% do mesmo volume para apagar o fogo. Como sua toxicidade é baixa, ele pode ser usado em locais ocupados por pessoas, sem privá-las do oxigênio que necessitam. Outra vantagem é que o extintor não gera nenhum resíduo químico após o uso.

Um que é muito utilizado nos extintores portáteis a bordo das aeronaves é o halon 1301, devido às seguintes características:

- sua baixa concentração é bastante eficiente;
- ele pode ser utilizado em compartimentos ocupados por pessoas;
- ele é eficiente em todos os três tipos de fogo;
- nenhum resíduo permanecerá após o seu uso.

Os tipos de extintores a serem usados dentro das aeronaves seguem regras e requisitos técnicos para a sua instalação. Alguns acidentes ocorreram no passado, os quais justificam esses procedimentos técnicos.

- a) Um extintor do tipo lata de aerossol comum foi instalado em uma bolsa, atrás da cadeira do piloto, explodiu sozinho, destruindo o estofamento do assento. Com a explosão, o interior ficou danificado pela espuma. A causa foi uma elevada temperatura quando a aeronave encontrava-se em solo, a temperatura do ar exterior chegou a 32 °C (90 °F). Além do perigo de explosão, o tamanho do extintor é inadequado para o combate até mesmo dos menores incêndios.
- b) Foi instalado um extintor de pó químico próximo a um aquecedor de ar do piso. Por uma razão desconhecida, a posição da unidade foi revertida e o extintor ficou diretamente na frente do aquecedor de ar. Durante o voo, com o aquecedor em operação, o extintor superaqueceu e explodiu, enchendo o compartimento com o pó químico. A proximidade dos aquecedores de ar deverá ser considerada, quando selecionar a localização de um extintor manual.

Ao realizar a substituição ou mesmo manutenção dos extintores, deve-se sempre consultar o manual técnico da aeronave que traz a localização dos extintores e os tipos que são utilizados no local.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que os sistemas de extinção contra o fogo são diversificados em tamanho, quantidades de componentes, sensores, alertas, luzes, de acordo com cada tipo de aeronave e tamanho.

As companhias de aviação estão sempre investindo em sistemas, equipamentos, treinamento de pessoal, para que, quando o profissional notar um vazamento de combustível ou de óleo, ele possa ter a capacidade e a responsabilidade de agir e eliminar o problema, antes de começar.

# Unidade 5

## Sistemas elétricos

As aeronaves, desde sua invenção, têm sofrido profundas transformações, principalmente pelo desenvolvimento de duas ciências: a eletricidade e a eletrônica.

Eletricidade é a ciência que estuda os fenômenos causados pelos elétrons, permitindo o desenvolvimento de equipamentos com alta eficiência em geração de energia, transporte e monitoramento. O estudo no campo da eletricidade permitiu o surgimento de isolantes que auxiliam na máxima condução e segurança em fios e cabos elétricos. Ferramentas elétricas têm sido desenvolvidas para aumentar a rapidez e a eficiência na manutenção dos sistemas.

A eletrônica também é uma ciência que estuda os fenômenos causados por elétrons, mas que ocorrem em semicondutores e gases. Os equipamentos eletrônicos instalados em uma aeronave são chamados de aviônicos e a cada dia eles executam mais funções e necessitam de mão de obra cada vez mais especializada.

Toda a tecnologia embarcada em uma aeronave está interligada por fios, cabos, conectores e diversos acessórios que constituem os sistemas elétricos. A cada nova geração de aeronaves, os sistemas elétricos também surgem com novos dispositivos que requerem mão de obra qualificada. Dessa forma, o mecânico de aeronaves deve ter conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica e atualizar-se constantemente com novas tecnologias e técnicas de manutenção e reparo.

Esta unidade possui oito capítulos, os quais tratam, de forma genérica, dos componentes de um sistema elétrico de aeronave. Do capítulo um ao quatro são listados os componentes essenciais de um sistema elétrico, a saber, fios e cabos elétricos, massa, conectores e conduítes. Os capítulos cinco e seis discorrem sobre a instalação de equipamentos elétricos e os dispositivos de proteção. Os capítulos sete e oito, por fim, apresentam os sistemas de iluminação e sua respectiva manutenção.



# Capítulo 1

## Fios e cabos condutores

A fim de fazer instalação, manutenção e reparo de forma mais fácil, fios e cabos elétricos são organizados em **cablagens** e fixados em junções, tais como conectores e blocos de terminais.

Antes da montagem nessas junções, eles são cortados, identificados, amarrados e, às vezes, envelopados em **conduítes**. Atualmente, existe uma grande variedade de fios e cabos elétricos adequados para uso em aeronaves.

### Designação para fios condutores e cabos condutores

Os sistemas elétricos e eletrônicos de uma aeronave estão interligados por fios e cabos condutores. Portanto, eles devem ser tratados como parte integrante de uma aeronave e requerem instalação cuidadosa e manutenção contínua. A instalação incorreta e a falta de manutenção da fiação comprometem seriamente a confiabilidade do sistema. Dessa forma, o mecânico que instala e inspeciona os sistemas elétricos deve ter conhecimento e técnica.

Há diferenças entre os conceitos de fios e cabos condutores de aeronaves.

O fio é formado por um condutor (Figuras 1.A e 1.B) ou por um conjunto de condutores (Figuras 2.A e 2.B) de pequeno diâmetro e coberto com isolante. Fios formados por conjunto de condutores são os mais comuns em aeronaves, por serem mais flexíveis quando possuem um diâmetro maior.

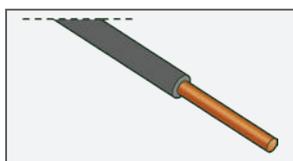


Figura 1.A - Fio formado por um único condutor

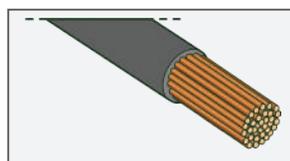


Figura 2.A - Fio formado por conjunto de condutores

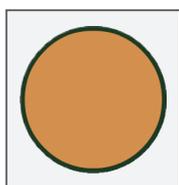


Figura 1.B - Condutor sólido

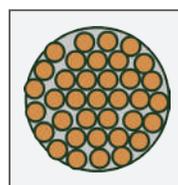


Figura 2.B - Corte vertical de conjunto de condutores

A designação do cabo em instalações elétricas de aeronaves pode ser:

- dois ou mais condutores isolados no mesmo invólucro (camada isolante externa).
- dois ou mais condutores isolados e torcidos em conjunto (par trançado).



**Cablagem:** agrupamento de fios e cabos elétricos.

**Conduítes:** tubos em metal ou plástico, usados para envolver fios e cabos elétricos com objetivo de oferecer proteção.

c) cabo childrado ou blindado - formado por dois ou mais condutores isolados e cobertos com uma malha metálica para blindagem.

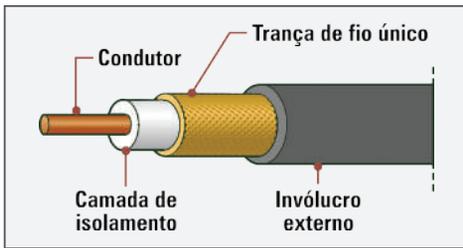


Figura 3 - Cabo coaxial

d) cabo coaxial - versão especializada do cabo blindado. O condutor interno é sólido ou trançado e pode ser de cobre ou revestido. O condutor externo forma um escudo, que é uma trança de fio único feito de cobre ou aço. Os condutores interiores e exteriores estão separados por um isolamento sólido, formando um dielétrico. O revestimento externo, ou jaqueta, fornece proteção contra fluido contaminante.

Os cabos coaxiais são normalmente utilizados para radiofrequência (RF), conectando as antenas aos receptores ou transmissores.

O condutor interno é protegido por uma trança de campos elétricos e magnéticos. Do mesmo modo, o campo de RF fica contido dentro do mesmo escudo.



**Trança:** torcida dada em fios para acomodação e melhoria estética.

**Dielétrico:** material isolante colocado entre materiais condutores.

**Bitola:** diâmetro ou grossura de um fio ou cabo elétrico.

## Bitola de fio

O fio para uso em aeronave é fabricado em bitola, de acordo com o modelo padrão especificado pela *american wire gauge* (AWG), ou, em português, escala americana normalizada.

A escala AWG numera os condutores de 0000 a 40. Qualquer substituição de fio deve ser por fio de mesmo calibre. Uma substituição por fio de menor calibre pode acarretar aquecimento e mau funcionamento.

A Tabela 1, segundo a AWG, mostra que, quanto maior o diâmetro de um condutor, menor será o número adotado na sua identificação. A maior bitola do fio mostrada nesta Tabela é o número 40. As bitolas maiores e menores são fabricadas, mas não são usadas comumente.

Tabela 1 - Escala AWG

Número do condutor segundo a escala AWG	Área da seção do condutor em mm <sup>2</sup>
40	0,005
.....	.....
18	0,82
16	1,31
14	2,08
12	3,31
10	5,53
.....	.....
2	33,63
0	53,44
00	67,44
000	85,02
0000	107,20

## Fatores que afetam a bitola do fio

São muitos fatores que os fabricantes consideram quando selecionam a bitola dos fios nos sistemas elétricos de uma aeronave, como, por exemplo:

- a) resistência mecânica - os fios e cabos devem ser resistentes à trepidação e a outras condições severas, como variação brusca de temperatura e pressão.
- b) efeito joule - a passagem de corrente em um condutor provoca aumento de temperatura. O aumento da bitola do fio faz diminuir a perda por efeito joule, porém o peso da fiação aumenta.
- c) regulação de tensão - os geradores da aeronave são capazes de manter a tensão constante na entrada da linha de alimentação. A tensão que chega a um equipamento por intermédio de um fio é a tensão de entrada menos a queda de tensão nesta linha. Se o equipamento tem consumo intermitente, a queda na linha de alimentação provoca uma flutuação na tensão, o que muitas vezes é indesejado. A diminuição da resistência da linha (fios), por meio do aumento da bitola do fio, minimiza esse efeito. Os projetos de aeronaves procuram encontrar um equilíbrio em que os equipamentos funcionem adequadamente sem aumento de peso significativo nos fios e cabos.
- d) tipo de isolante - os isolantes são para proteger os fios e condutores, contudo afetam a troca de calor com o meio ambiente e, com isso, a capacidade de corrente máxima de um condutor é alterada. A Tabela 2 mostra a influência de alguns tipos de isolantes na capacidade máxima de condução de corrente em amperes.

Tabela 2 - Capacidade do fio em conduzir corrente

-	Material isolante			
	Borracha ou plástico	Plástico, asbestos ou varcam	Asbestos impregnado	Asbesto
4	105	135	170	180
6	80	100	125	135
8	55	70	90	100
10	40	55	70	75
12	25	40	50	55
14	20	30	40	45

## Fatores que influenciam na seleção do material condutor

A fiação de uma aeronave precisa ser fisicamente flexível para permitir a sua instalação e suportar a vibração da aeronave. Existem diversos materiais usados para fabricação de condutores. Quando há necessidade de um material com alta condutibilidade, a prata é utilizada. Nos sistemas de indicação de temperatura que usam par térmico, o condutor do fio deve ser do mesmo material do par térmico. Geralmente, são o **cromel** (liga de cromo e níquel) e o **alumel** (liga de alumínio e níquel).



**Cromel:** liga de cromo (10%) e níquel (90%) utilizada na produção de termopares.

**Alumel:** liga de níquel (95%) e alumínio (5%) usada na formação de termopares e fios.

Na maioria dos aviões, os condutores são construídos a partir de cobre ou de alumínio envolvidos em material isolante. Condutores de alumínio são, por vezes, utilizados em aeronaves; no entanto, a maioria das instalações é de cobre.

Na escolha do material condutor, a primeira consideração é a influência do comprimento do fio na resistência do material. Comparando dois fios de comprimento igual, sendo um de cobre e o outro de alumínio, tem-se que a resistência do cobre é menor, mais **dúctil** e soldado mais facilmente. O alumínio, por sua vez, é 60% mais leve, porém mais caro. Uma consideração importante para a utilização de alumínio é sua capacidade de ser auto-oxidante, isso reduz o custo de fabricação em circuitos de alta voltagem, visto que o **efeito corona** é menor.

Os fios individuais de cobre precisam ser revestidos para prevenir oxidação. A escolha do revestimento para os fios depende da sua temperatura de funcionamento. Em termos gerais, três tipos de revestimento são usados: estanho, prata ou níquel, com classificações de temperatura ao condutor de, respectivamente, 135 °C, 200 °C e 260 °C.



**Dúctil:** característica do material que lhe permite dobrar ou ser moldado sem se romper.

**Efeito corona:** este efeito ocorre devido a um campo elétrico muito intenso em torno dos condutores. Assim, as partículas de ar próximas do condutor são ionizadas.

Os condutores de cobre são utilizados extensivamente em aeronaves em virtude de o material ser de:

- baixa resistividade;
- alta ductilidade;
- elevada resistência à tração;
- facilidade de solda.

## Queda de voltagem nos fios e nos cabos de uma aeronave

Em uma aeronave, a queda ideal nos sistemas de geração é de 2%. Assim, em um gerador que fornece 28 volts, a queda máxima admissível será de aproximadamente 0,56 volts nos terminais do gerador. Fios e cabos possuem resistência. De acordo com a Lei de Ohm, o produto da corrente pela resistência é igual à queda de tensão ( $V = RI$ ). A queda máxima nos fios e cabos depende de ser o funcionamento contínuo ou intermitente. Na Tabela 3, observa-se que essa queda de tensão nos fios e cabos em operação em solo pode ficar em torno de 3,5% em operação contínua e 7% em operação intermitente.

Tabela 3 - Queda de voltagem máxima recomendada em linhas de alimentação

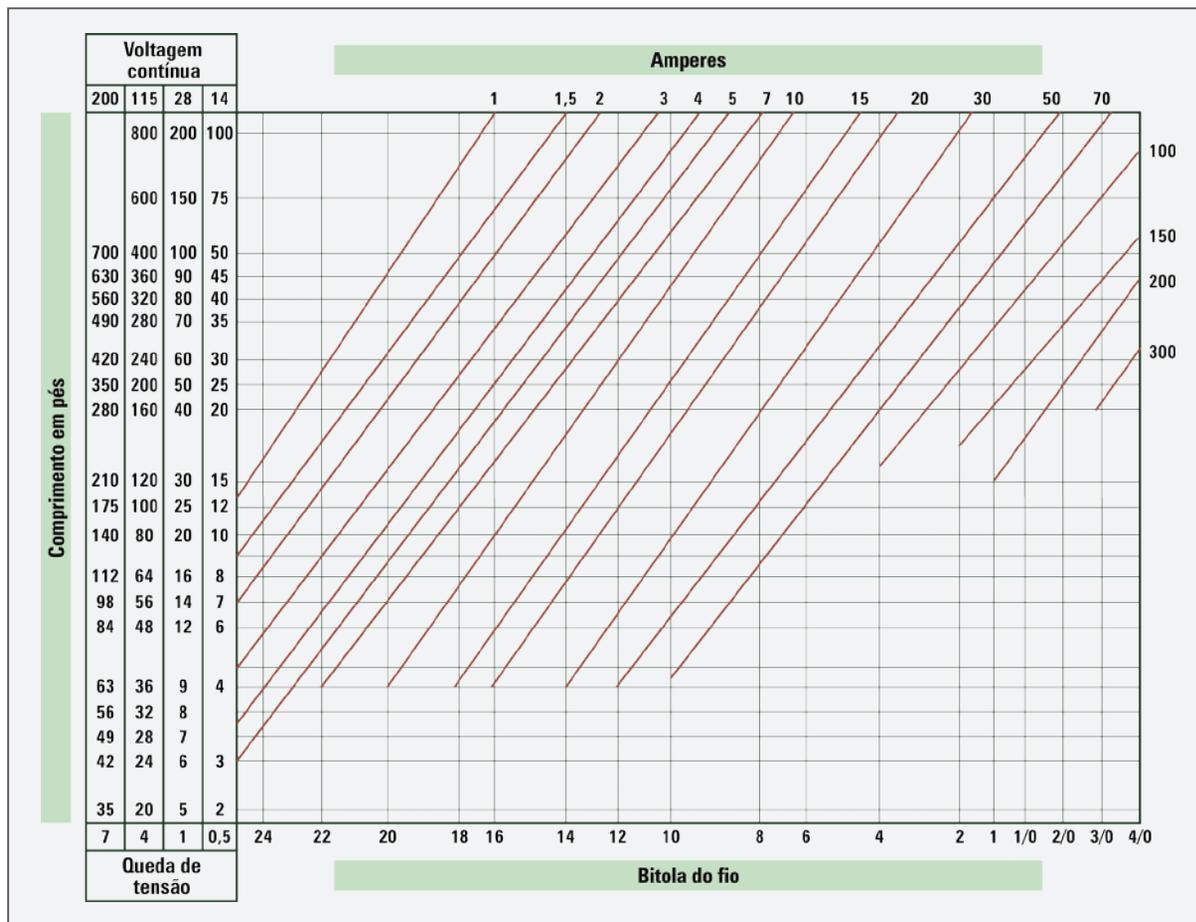
Tensão nominal	Queda máxima em operação contínua	Queda máxima em operação intermitente
14	0.5	1
28	1	2
115	4	8
200	7	14

## Instruções para usar o gráfico de fios elétricos

Nos manuais técnicos, estão definidos os tipos e calibres de fios utilizados em uma aeronave. Gráficos para escolher o condutor não são comumente utilizados pelo técnico em manutenção, porém seu conhecimento o ajuda a identificar possíveis falhas de instalação ou funcionamento precário.

O Gráfico 1 mostra a escolha do condutor para funcionamento contínuo. O comprimento dos fios é dado em pés, o calibre em AWG e a tensão em volts.

GRÁFICO 1 - Condutores elétricos tensão contínua



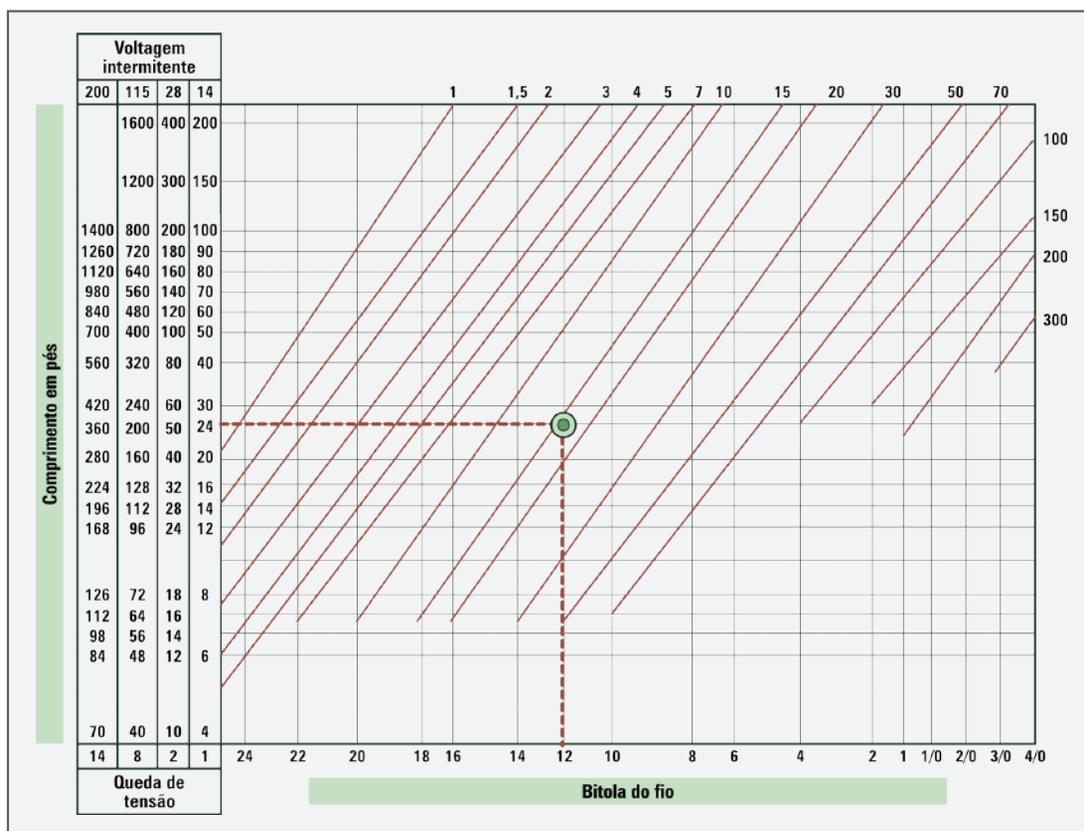
Por exemplo, para instalar uma carga de 20 amperes a 50 pés da fonte de energia, devem-se seguir os seguintes passos:

- passo 1 - a partir da escala da esquerda, encontrar o comprimento do fio de 50 pés sob a coluna de fonte de 28 V;
- passo 2 - seguir a linha horizontal correspondente para a direita até que ela encontre a linha inclinada para 20 amperes de carga;
- passo 3 - neste ponto, descer verticalmente para a parte de baixo do quadro. O valor cairá entre o nº 8 e o nº 10. Selecionar o próximo fio maior à direita, neste caso o nº 8. Este

é o menor tamanho de fio que pode ser usado sem que se exceda o limite de queda de tensão expresso na parte inferior esquerda da escala.

Esse exemplo é para carga de uso contínuo. Quando a carga é de uso intermitente, basta seguir os mesmos passos utilizando o Gráfico 2.

GRÁFICO 2 - Condutores elétricos (tensão intermitente)



## Isolamento de um condutor

Os condutores são caminhos para elétrons. Para que não se percam, é necessário isolamento do meio ambiente e de outros condutores. A fim de prover esse isolamento, são usados diversos tipos de materiais que, ao envolver o fio, garantirão a funcionalidade e ainda darão a proteção contra temperatura externa alta, atrito, líquidos e gases.

Em aeronaves antigas, são encontrados isolantes (policloreto de polivinila – PVC/*nylon*, isolante elétrico composto por poliamida e politetrafluoretileno), que deixaram de ser utilizados em novas concepções de aeronaves. O isolamento de fios em novos projetos de aeronaves é feito de isolante elétrico composto por fluoropolímeros, politetrafluoretileno e poliamida. Vale ressaltar que o desenvolvimento de melhores e mais seguros materiais de isolamento está em curso.

## Identificação de fios e cabos

A correta identificação de fios e cabos elétricos com os seus circuitos e tensões é fundamental para a segurança da operação e do pessoal de manutenção, além de ser importante para facilitar os procedimentos de manutenção. Todos os fios usados em aeronaves devem ter sua identificação estampada ao longo de seu comprimento.

A identificação é impressa sobre a capa isolante do condutor, por meio de técnica própria, sendo composta de números e letras e dividida em partes. Cada parte fornece informação específica sobre o condutor em questão.

Um exemplo é o código 2.P.215.A.20.N.ALUM. A seguir, detalha-se cada uma de suas partes.

- 2 - Número designativo de unidade

Esse número só aparece no código quando a aeronave possui dois ou mais equipamentos ou sistemas idênticos, por exemplo, dois geradores, quatro conversores, e quando se deseja manter a mesma codificação para todos os conjuntos iguais.

- P - Letra designativa de função do sistema

Essa letra indica em qual sistema o condutor é usado. A Tabela 4 contém a relação das letras usadas nesta parte do código, que são as iniciais em inglês dos sistemas que elas representam.

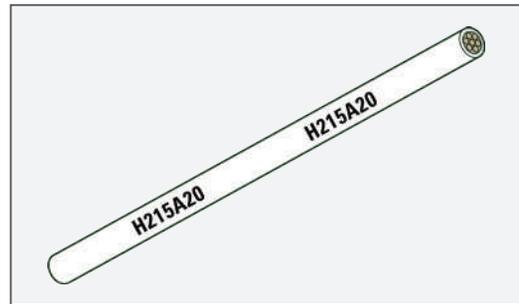


Figura 4 - Código de identificação de fio

Tabela 4 - Relação de letras do sistema

Letra	Sistema (de)
A	Armamento
B	Fotográfico
C	Superfícies de comando (comandos de voo)
D	Instrumentos diversos (exceto de voo ou do motor)
E	Instrumentos do motor
F	Instrumentos de voo
G	Trem de pouso
H	Aquecimento, ventilação e desembaçamento
J	Ignição
K	Comandos do motor
L	Iluminação
M	Miscelânea elétrica
P	Energia elétrica DC (potência DC)
Q	Combustível e óleo

R	Rádio
RD	Radiogoniômetro
RL	Comunicação HF
RM	"Marker beacon"
RN	Navegação VOR
RV	Comando VHF
RX	Gravador
RZ	Interfone
S	Radar
SA	Altímetro
SF	Radar interceptor
SG	Radar de tiro
SM	Radar de mapeamento
SN	Radar de navegação (NAV. DME. TDR)
SQ	Radar de bombardeiro
SS	Radar de busca
SX	IFF
T	Eletrônica especial
TE	Contra medidas eletrônicas
TN	Navegação especial
U	Miscelânea eletrônica
V	Cabos de controle DC para sistema AC
W	Alarme e emergência
X	Potência AC (energia elétrica AC)
YA	Armamento especial AR-AR
YB	Armamento especial AR-terra
YC	Armamento especial multifunção
YM	Orientação de mísseis

As letras (**I**) e (**O**) não são usadas no código para evitar confusão com os numerais um (1) e zero (0).

- 215 - Número do condutor

Este número, composto por um ou mais dígitos, tem por finalidade numerar os condutores de um sistema a fim de diferenciá-los dos demais condutores de uma aeronave. Nú-

meros iguais serão atribuídos a condutores que, unidos entre si, desempenham a mesma função dentro de um sistema.

- **(A)** - Letra designativa de segmento do condutor

Quando um condutor é ligado a outro condutor com o objetivo de completar um circuito qualquer, ambos são chamados de segmentos de condutor e recebem o mesmo número de identificação, pois são considerados como se fossem um só.

A letra de segmento tem por finalidade identificar cada um deles. O segmento do condutor que estiver ligado a uma fonte de força, à fonte de sinal ou à massa será, sempre que possível, identificado com a letra **(A)**. Cada segmento seguinte receberá a próxima letra do alfabeto até que o circuito seja completado.

- **20** - Bitola do condutor

Este número corresponde ao diâmetro (seção) do condutor e está de acordo com a especificação *american wire gauge* (AWG). Por exemplo, os condutores relacionados na AWG como AN22, AN20 e AN12 receberão, respectivamente, os números 22, 20 e 12.

- **N** - Letras designativas de massa, fase ou termopar

Nesta parte do código, pode aparecer uma letra que identifica massa ou fase, ou um sufixo que identifica um termopar.

As letras **A**, **B** ou **C** indicam fases de um sistema **AC** trifásico. Cada letra representa uma fase. Ex.: X 123 A 20 C.

A letra **N** indica que o condutor completa um circuito à massa. Ex.: H 215 A 20 N.

A letra **V** indica que o condutor não é ligado à massa e pertence a um sistema monofásico. Ex.: X 423 D 18 V.

Para indicar um termopar, são usados os seguintes sufixos:

CHROM - condutor de cromel.

ALML - condutor de alumel.

IRON - condutor de ferro.

CONT - condutor de **constantã**

COP - condutor de cobre.

- **ALUM** - Os condutores de alumínio são identificados com o sufixo ALUM

A identificação do fio deve estar gravada em intervalos que, no início do condutor, devem ser de três polegadas e em toda a extensão do fio, entre uma marcação e outra, em intervalos de seis polegadas no máximo.



Figura 5 - Distanciamento das marcas de identificação



**Constantã:** liga metálica utilizada na produção de fios para a fabricação de resistores elétricos (comumente, resistências elétricas) e em termopares.

## Instalação da fiação elétrica

Os fios em aeronaves são instalados na parte interna ou pressurizada sem a preocupação de revestimentos adicionais, visto que eles já possuem isolamento que os permitem resistir aos danos do meio ambiente. Essa prática é conhecida como fiação aberta e possui a vantagem da redução de peso e fácil manutenção. Somente em áreas onde as condições exigem são usados revestimentos adicionais, como, por exemplo, conduítes.

## Grupos de fios e chicotes

Os fios são frequentemente instalados em feixes para criar uma instalação mais organizada. Esses feixes de fios são chamados de chicotes ou cablagem. Um chicote de fios pode ser revestido com uma blindagem (trança metálica) para evitar interferência eletromagnética (EMI). O agrupamento de certos tipos de fios em feixes, como fios de energia desencapados e fiação que duplica equipamentos vitais, deve ser evitado. Feixes de fios devem conter menos que 75 fios ou de 1 1/2 a 2 polegadas de diâmetro.

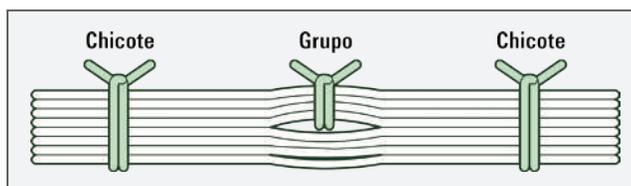


Figura 6 - Amarrações de grupos de fios e chicotes

## Fios trançados

Fios paralelos podem ser trançados atendendo à normativa técnica, ou mesmo por praticidade, conforme os seguintes exemplos:

- fios paralelos próximos da bússola magnética;
- fiação de distribuição trifásica;
- outros tipos de fios (normalmente de rádio) em concordância com o especificado nos projetos.

Devem-se trançar os fios de maneira que fique firme, um contra o outro, fazendo aproximadamente o número de voltas por pé (comprimento do fio em pés), como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Número de torcidas recomendadas

	Bitola do fio									
	#22	#20	#18	#16	#14	#12	#10	#8	#6	#4
2 fios	10	10	9	8	7 ½	7	6 ½	6	5	4
3 fios	10	10	8 ½	7	6 ½	6	5 ½	5	4	3

Verificar sempre o isolamento do fio para ver se ele não foi danificado pela trança. Se o isolamento foi rompido ou desgastado, substituir o fio.

## Emendas nos chicotes

A emenda é permitida, desde que não afete a confiabilidade e as características eletromecânicas da fiação. A emenda de fios de força, cabos coaxiais e fios de bitola grande precisa ser aprovada. As emendas em fiação elétrica precisam ser realizadas em quantidades mínimas e devem ser feitas evitando-se completamente os locais sujeitos a vibrações extremas. A emenda de fios individuais em um grupo ou feixe deve ser aprovada pela engenharia e estar localizada onde seja possível a realização de inspeções periódicas, não sendo recomendável mais de uma emenda em um seguimento de fio.

Emendas em feixes precisam estar espaçadas uniformemente para amenizar o aumento de diâmetro do feixe e evitar que ele se desloque ou cause algum tipo de congestionamento que afete a manutenção, de acordo com a Figura 7.

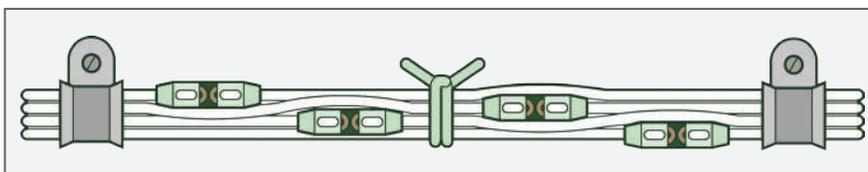


Figura 7 - Emendas afastadas em um chicote

## Frouxidão nos chicotes

Frouxidão nos chicotes é a folga necessária para que os fios não sofram danos em operação e que não seja preciso substituir fios quando for realizada manutenção ou substituição de *plugs*, tomadas ou equipamentos.

Essa folga está ilustrada na Figura 8. Pressionado o chicote com as mãos, deve-se perceber que ele não está tensionado, permitindo um pequeno deslocamento.

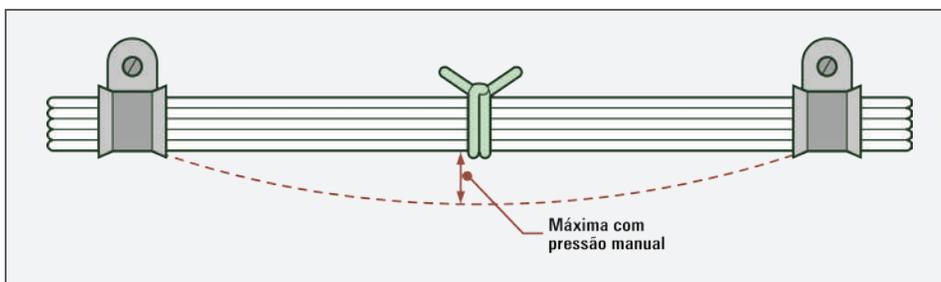


Figura 8 - Folga entre os suportes de um cablagem

## Raio de curvatura

As cablagens, para serem acomodadas na estrutura da aeronave, devem ser curvadas em vários pontos, para padronização estética e garantia de não haver danos aos fios. O raio mínimo da curva em um chicote deve ser menor do que dez vezes o diâmetro do maior fio que compõe esta cablagem. Para um fio ou cabo fora da cablagem, a curvatura mínima deve ter três vezes o seu diâmetro. Quando não for possível cumprir as exigências mínimas, a curva precisa de um tubo isolante.

Cabos de radiofrequência e termopares devem seguir instruções específicas do fabricante para evitar atenuação dos sinais.

## Instalação e encaminhamento

Os chicotes de fios seguem em paralelo ou ângulos retos com a superfície da aeronave, usando diversos recursos como braçadeiras para fixarem-se na estrutura em todo percurso, mantendo boa aparência e funcionalidade.

Sempre deve-se evitar:

- atrito;
- locais de temperatura elevada;
- servir de apoio para equipamento ou outro fim;
- contato com movimentação de pessoal;
- contato com movimentação e armazenamento de carga;
- locais onde existem vapores tóxicos, salvo se houver proteção adequada.



**Gromete:** anel isolante.

## Proteção contra fricção

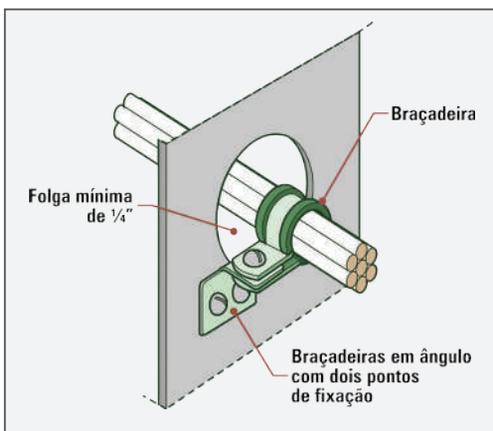


Figura 9 - Braçadeira de cabo no orifício

Atrito ou abrasão podem danificar o isolamento de um ou mais fios em uma cablagem. Dessa forma, cablagens devem ser protegidas em locais onde o contato possa comprometer o isolamento, o atrito pode ocorrer contra a estrutura ou outros componentes. Dano na camada isolante externa pode trazer sérios riscos à segurança e ao funcionamento de equipamentos.

Quando for necessário passar por uma parede, através de um orifício, a cablagem não deve tocar as bordas. Quando a distância dos fios até a borda do orifício é maior que  $\frac{1}{4}$  de polegada, a cablagem é fixada por meio de ferragens, ficando centralizada para evitar que a trepidação faça os fios tocarem as bordas do orifício.

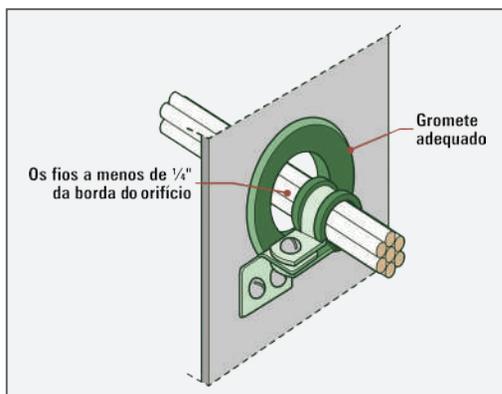


Figura 10 - Braçadeira de cabos e anel isolante no orifício

Quando a distância dos fios até a borda do orifício for menor que  $\frac{1}{4}$  de polegada, um gromete deve ser moldado ao orifício, evitando possíveis atritos com a cablagem, conforme mostra a Figura 10.

## Proteção contra alta temperatura

Altas temperaturas deterioram fios e cabos, quando possível, para a instalação de cablagens, devem-se evitar locais com essa característica.

A fiação precisa ser avaliada de maneira que a temperatura permaneça dentro da especificação máxima para o fio, levando em consideração a temperatura ambiente e o aumento de calor devido à capacidade de condução de corrente.

Os efeitos do calor residual causado por exposição ao sol, quando a aeronave estiver estacionada por períodos longos, devem ser levados em consideração. O isolante do fio deteriora rapidamente quando submetido a altas temperaturas.

Fios que obrigatoriamente são submetidos a temperaturas elevadas são diferenciados quanto ao tipo de isolante usado. Esse tipo de fio deve suportar até mesmo fogo por algum tempo sem comprometer o sistema ao qual pertence. Isolantes usados nesses fios são de fibra de vidro ou politetrafluoretileno (PTFE).

### Proteção contra solventes e fluidos

Evite áreas onde os fios são submetidos a possíveis danos causados por líquidos. Nesses locais, em que existe o risco de líquidos entrarem em contato, um tubo de plástico deve proteger os fios. Essa tubulação tem de preservá-los em toda extensão em que ocorre o risco, sendo fixada em suas extremidades.

No ponto baixo entre as extremidades da tubulação, deve-se ter um furo de drenagem de três milímetros.

Para isso, deve-se fazer o furo na tubulação após a instalação ser concluída e o ponto baixo ter sido estabelecido definitivamente. Usa-se um furador para cortar um semicírculo. Fita não adesiva pode ser utilizada como um envoltório dos fios e cabos e precisa, também, ter orifícios de drenagem nos pontos baixos.

### Proteção dos fios na área do alojamento das rodas

Os fios localizados na área do alojamento das rodas estão expostos a muitas condições inseguras, tais como graxa e proximidade de partes móveis. Para evitar danos a eles, utilizam-se proteções adequadas.

Os pontos de flexibilidade, por onde passam os feixes de fios, não podem ter tensão nos fixadores ou folgas excessivas quando as peças estão totalmente estendidas ou retraídas. Os fios devem ser direcionados de maneira que os fluidos escoem longe dos conectores.

Conduítes para proteção dos fios contra fluidos, quando usados, precisam estar equipados com furos para drenagem para evitar acúmulo de umidade.

### Precauções na instalação

Uma falha que produza um arco voltaico entre um fio elétrico e uma linha metálica condutora de algum fluido inflamável pode acarretar a perfuração da linha e causar um incêndio. Todo



**Politetrafluoretileno (PTFE):** polímero fluorado. Considerado um plástico de excelente desempenho e ótimo isolante.

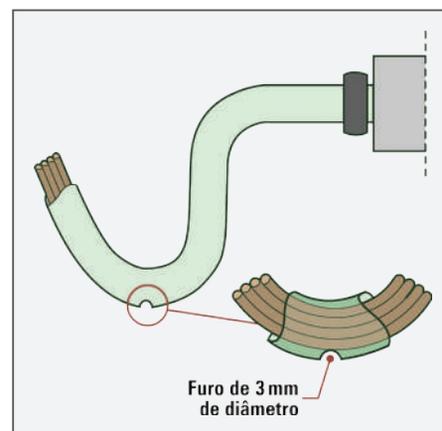


Figura 11 - Furo de drenagem no ponto mais baixo da tubulação

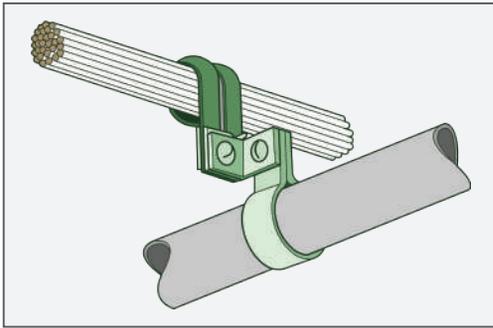


Figura 12 - Separação entre a fiação e a tubulação

esforço deve ser feito a fim de evitar esse risco, principalmente por meio da utilização de uma separação física entre a fiação e os dutos e equipamentos que contenham oxigênio, óleo, combustível, fluido hidráulico ou álcool.

Os projetos de aeronaves evitam que fios sigam juntos, exceto quando próximos ao equipamento que utiliza fios e fluidos para seu funcionamento.

A distância mínima prevista nos manuais técnicos deve ser obrigatoriamente seguida. A Figura 12 ilustra o uso de braçadeira com o objetivo de manter a separação necessária entre a tubulação de fluidos e fios elétricos.

### Instalação das braçadeiras de cabos

Braçadeiras devem ser posicionadas corretamente, de acordo com a ilustração da Figura 13. A parte de trás da braçadeira deve estar fixada na estrutura por parafuso posicionado por cima dos cabos.

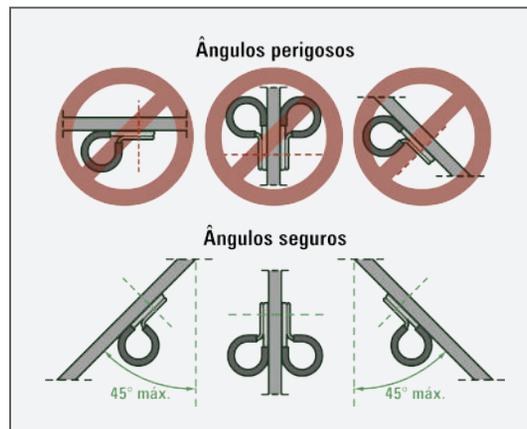


Figura 13 - Ângulos de montagem adequados para braçadeiras de cabo

As ferragens (parafuso e porcas) utilizadas em braçadeiras são ilustradas na Figura 14.

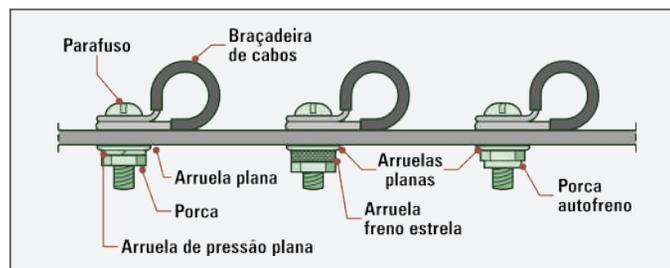


Figura 14 - Ferragens típicas de montagem para braçadeiras de cabo

Na montagem de braçadeiras, os fios devem ficar acomodados na parte interna onde existe a borracha isolante, já que um ou mais fios que escapem para a parte de aperto da braçadeira podem ser danificados.

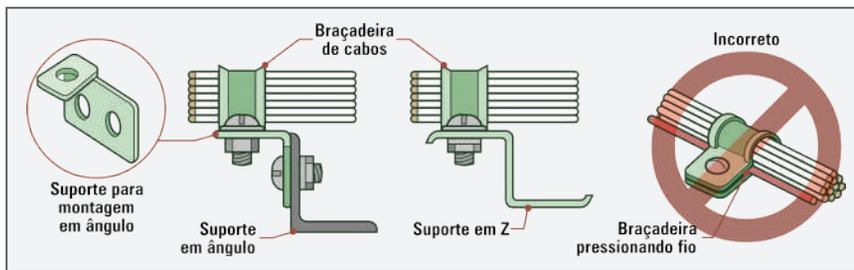


Figura 15 - Montagem da braçadeira de cabo na estrutura

As braçadeiras de cabos, usadas em chicotes elétricos, devem possuir almofadas de borracha para isolamento (MS21919). Quando fixados em estrutura tubular, uma braçadeira adicional sem almofada (AN735) faz a fixação dos cabos na estrutura.

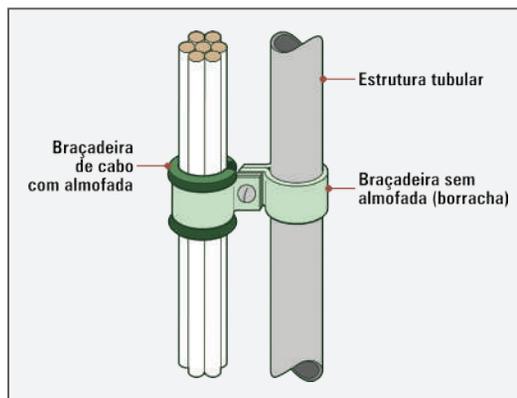


Figura 16 - Instalação da braçadeira de cabo na estrutura tubular

## Amarração e enlace dos chicotes

Barbante encerado, fitas e tiras são usados para segurar grupos ou feixes de fios para facilitar a manutenção, inspeção e instalação. A amarração não deve ser usada em áreas como rodas, próximo aos *flaps* ou dobras das asas. Amarras não são recomendadas em locais onde há trepidação.

Atualmente, braçadeiras de plástico são largamente usadas por sua praticidade e rapidez na instalação.

## Amarração com cordão inteiriço

Para amarração de cablagens, deve ser utilizado um barbante encerado que, além de ser aderente, é impermeável e durável.



**Flaps:** superfícies móveis que, localizadas nas asas, ajudam a aumentar ou diminuir a sustentação da aeronave.

Um único barbante encerado pode amarrar cablagens com até uma polegada, como se pode ver na Figura 17.

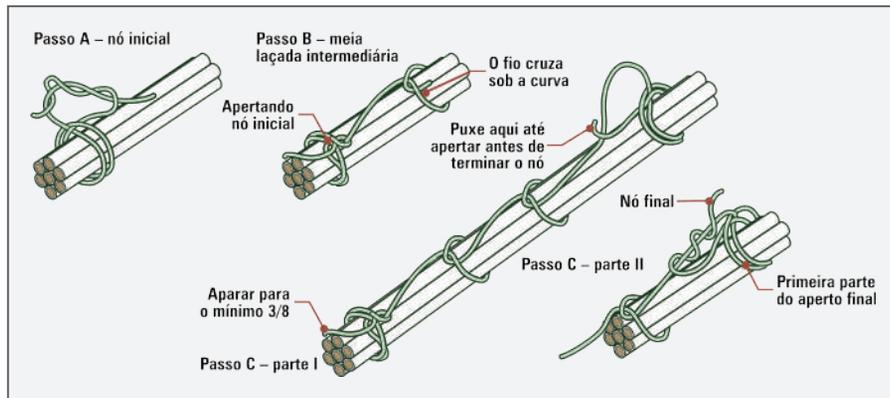


Figura 17 - Amarração com cordão único



**Engate de cravo:** tipo de nó usado em amarrações de cablagem e de carga.

**Meias-laçadas:** laços dados em torno dos fios sem finalização com nó.

O nó recomendado para esse método pode ser iniciado com um **engate de cravo**, seguido de **meias-laçadas** até o final onde se dá um nó duplicado. Nas extremidades, depois de concluída a amarração, os fios devem ser aparados.

### Amarração com cordão duplo

Um barbante encerado dobrado amarra cablagens com mais de uma polegada, como mostra a Figura 18.

Para iniciar, é usado um nó tipo laçada, ilustrado no passo A da Figura 18. As laçadas intermediárias seguem com o cordão dobrado, espaçadas, procurando uma boa estética (passo B). A amarração termina com um nó cego duplo (passo C).

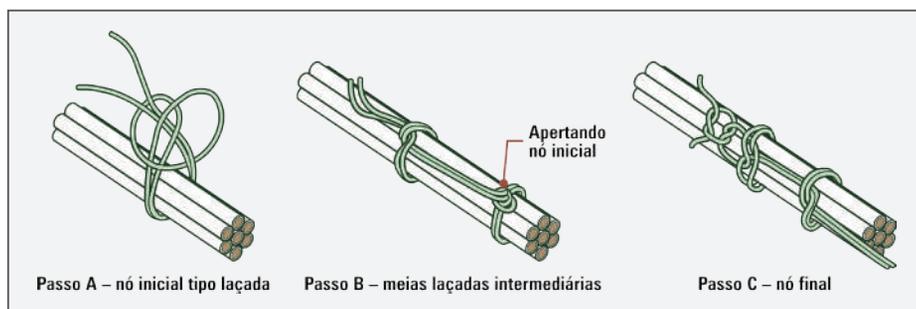


Figura 18 - Amarração com cordão duplo

### Amarração de ramificações

Ramificações são desvios de fios e formam um novo chicote, que segue outro rumo. Para manter a estética e proteção, são necessárias amarrações.

A amarração da ramificação deve iniciar na cablagem principal, um pouco antes ou após o início da ramificação, com um nó tipo engate de cravo. Usando meias-laçadas, avança-se pela ramificação que, deste ponto, segue com o procedimento normal com um ou dois cordões, dependendo do diâmetro da ramificação. A Figura 19 ilustra a amarração de uma ramificação.

## Enlace

Os enlaces consistem em um nó engate de cravo finalizado por um nó quadrado duplo. São utilizados em cablagens muito grossas, em que os nós não seguem enlaçados pela cablagem, mas são finalizados um a um, como se visualiza na Figura 20.

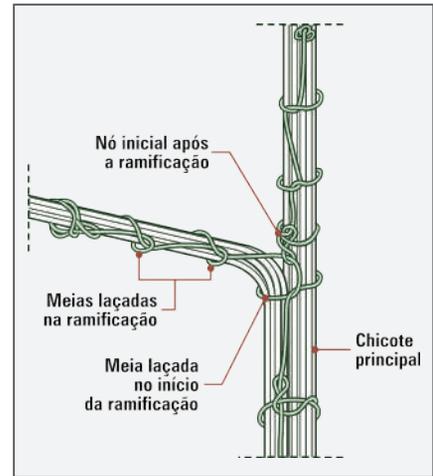


Figura 19 - Amarração de uma ramificação

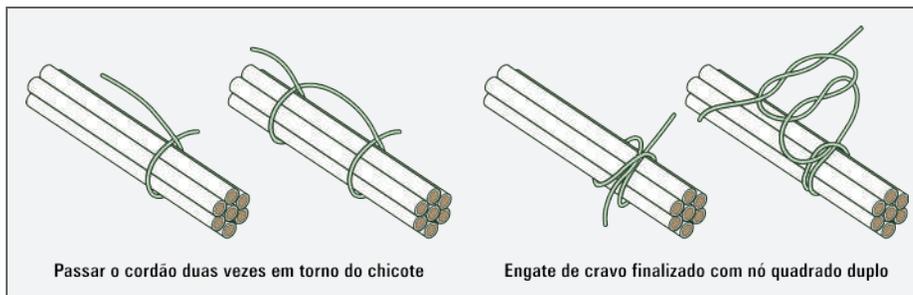


Figura 20 - Enlaçando um chicote

## Corte de fios e cabos

Para serem usados em suas posições, os fios devem ser medidos, cortados e marcados.

Para cortar os fios de cobre ou cabos de calibre pesado, uma serra de dentes finos pode ser usada. A serra de dentes finos tem 20 ou mais dentes por polegada (Figura 21). Fios de cobre pesados ou leves também podem ser cortados com tesoura de bancada.

Para calibres menores, um alicate de corte diagonal pode ser usado eficientemente (Figura 22). Não se deve cortar com alicate diagonal fios maiores que oito AWG.



Figura 21 - Serra de dentes finos

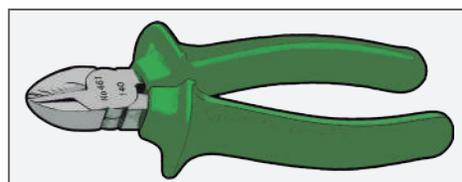


Figura 22 - Alicate de corte diagonal

O fio de alumínio é mais frágil que o de cobre, podendo deformar o corte, dessa forma, ele deve ser cortado com cuidado.

## Desencapamento de fios e cabos

O isolamento dos fios deve ser retirado em suas extremidades, onde um terminal será soldado ou crimpado (estampado).

Diversas ferramentas são usadas para desencapar fios e cabos, tais como estilete, máquinas que usam lâminas quentes e alicates manuais com várias posições para uma gama razoável de fios, conforme o alicate da Figura 23.

Os cuidados com essas ferramentas consistem em manter as lâminas limpas e observar **mossas** (trincas ou dentes) e perda do fio (corte) das lâminas. Para preparar um fio, usando o alicate da Figura 23, deve-se proceder do seguinte modo:

- passo A - colocar o alicate próximo às suas lâminas, que possuem marcações dos calibres dos fios. Selecionar o orifício para coincidir com o calibre do fio a ser preparado (Figura 23.A).
- passo B - acionar o alicate até o fim do curso.
- passo C - liberar os cabos da ferramenta e retirar o fio com o terminal pronto para ser soldado ou crimpado.

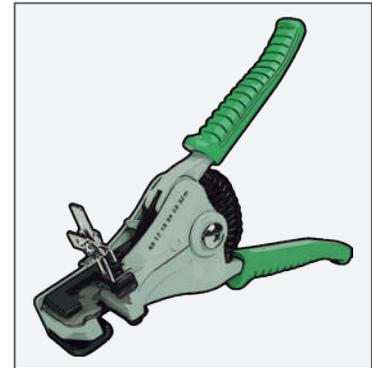


Figura 23 - Desencapador manual de fios



Figura 24.A - Passo A para desencapar fio

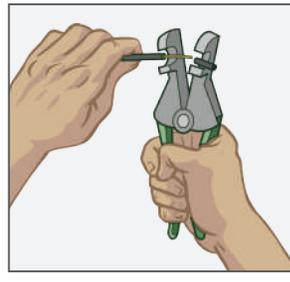


Figura 24.B - Passo B para desencapar fio

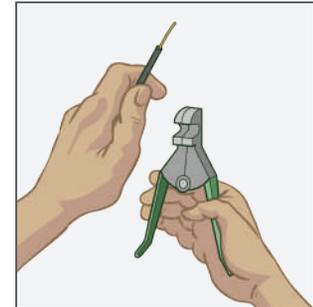


Figura 24.C - Passo C para desencapar fio

## Terminais e emendas sem solda

Nas pontas dos cabos, são colocados terminais para facilitar a conexão de fios em placas do circuito ou outros itens do equipamento. A força de tensão da conexão do fio para o terminal deve ser pelo menos equivalente à força de tensão do próprio fio, mas sua resistência deve ser insignificante em relação à resistência normal do fio.

Ao selecionar os terminais para os fios, têm-se de considerar a taxa de corrente, o tamanho (bitola) do fio e o diâmetro do isolamento, a compatibilidade do material condutor, o tamanho do terminal, a compatibilidade do material isolante, o meio de aplicação, e se será usada ou não solda.



**Mossas:** é um afundamento no revestimento de uma aeronave.

Emendas sem solda são usadas em fios, desde que seja fácil a visualização nas verificações periódicas e o local seja livre de trepidação. Existe tamanho de emenda compatível para cada bitola de fio e é necessário utilizar a ferramenta específica para o aperto. As emendas em uma cablagem devem estar espaçadas para evitar aumento de diâmetro.

## Terminais de fio de cobre

Para conectar os fios nas barras de terminais, nos contadores e nos relés, são usados terminais soldados ou não. A Figura 25 ilustra um terminal tipo **olhal**. Se vários terminais forem fixados no mesmo ponto, não podem haver espaçadores ou arruelas entre eles.

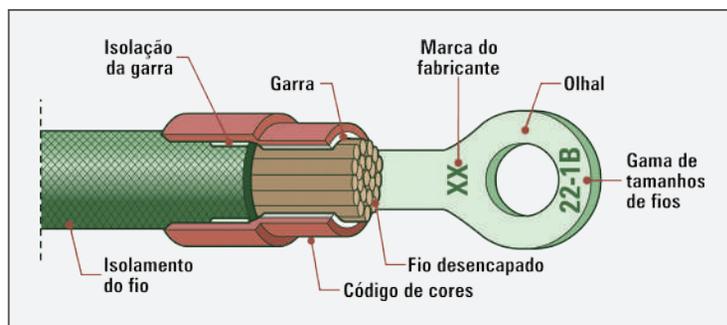


Figura 25 - Terminal pré-isolado

## Ferramentas de estampagem

Existem diversos tipos de ferramentas para crimpagem de emendas e terminais. Essas ferramentas prendem o condutor ao terminal. A Figura 26 ilustra alguns modelos de alicates para crimpagem (estampagem) de dispositivos elétricos.

Terminais não isolados, após serem **crimpados** (estampados), têm de receber uma luva que proporciona isolamento e proteção. Atualmente, as luvas mais usadas são **espaguete** termorretráteis, que, ao serem aquecidos, aderem ao terminal. Caso não seja usado um espaguete termorretrátil e fique uma folga, uma amarração será necessária. Esse procedimento está ilustrado nas Figuras 27.A e 27.B a seguir.



Figura 26 - Alicates para estampar (crimpar)

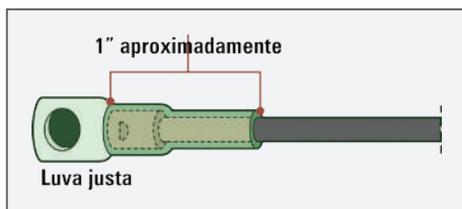


Figura 27.A - Luva isolante: luva justa

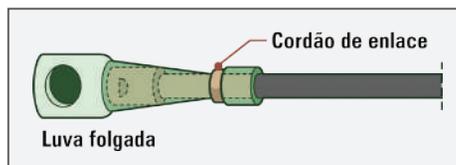


Figura 27.B - Luva isolante: luva folgada



**Olhal:** denominação dada a terminal com área de contato elétrico circular.

**Crimpados:** prender o fio a um terminal por meio de prensagem usando alicate específico.

**Espaguete:** tipo de tubo usado para envolver e proteger fios.

## Terminais de fio de alumínio

Para crimpagem de fio de alumínio, o terminal deve ser do mesmo material. Na fixação deste ao contato elétrico, sua superfície de contato deve ficar entre duas arruelas planas. Quando for mais de um terminal de alumínio, não deve haver espaçadores ou arruelas entre eles.

Na fixação do terminal na barra de terminal, deve-se ter atenção ao aperto correto do parafuso e ao posicionamento correto do terminal, a fim de garantir que a superfície de contato deste último toque integralmente a área de contato da barra de terminais. Isso evitará resistência alta na conexão com queda excessiva de tensão e aquecimento da conexão.

## Emenda de fios de cobre usando emendas pré-isoladas

Emendas pré-isoladas precisam ser instaladas com a utilização de uma ferramenta de crimpagem de alta qualidade. Essas ferramentas possuem um posicionador para o tamanho do fio e são ajustáveis. Se a dobra for muito profunda, poderá romper ou cortar tramas; se ela não for profunda o suficiente, pode não ser firme para reter o fio no terminal ou conector. Uma emenda que não é apertada o suficiente também é suscetível à alta resistência devido à corrosão que se forma entre a ponta crimpada e o fio.

A redução da bitola de um fio pode ser realizada usando uma emenda pré-isolada. As Figuras 28.A e 28.B mostram dois fios de bitolas diferentes e a Figura 29 ilustra uma emenda reduzindo uma bitola de fio.

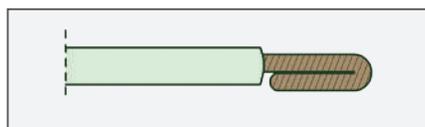


Figura 28.A - Fio fino dobrado

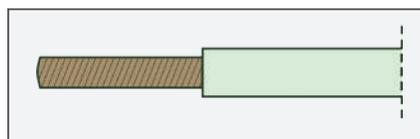


Figura 28.B - Fio grosso



Figura 29 - Emenda reduzindo bitola de fio

## Emendas de emergência

Emendas de emergência podem ser usadas para recuperação de fios em circuitos que não afetem a segurança do voo, tais como iluminação da cabine de passageiros e outros. Elas devem ser temporárias até a revisão mais próxima, quando o serviço definitivo for realizado.

Para fazer uma emenda de emergência, pode-se usar um terminal ou realizar soldagem do fio.

## Emenda com solda e composto condutor/antioxidante

A soldagem de fios é um meio eficiente de recuperação e pode ser utilizada quando não houver emendas, que são bem mais rápidas e práticas. Para uma soldagem eficiente, os passos a seguir devem ser observados.

- passo 1 - os fios devem ser preparados, removendo de suas extremidades parte da camada isolante (Figura 30). Um espaguete deve ser colocado em um dos fios para fazer isolamento após soldagem das partes.

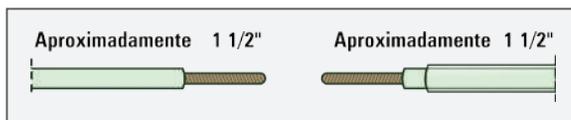


Figura 30 - Fios desencapados nas pontas

- passo 2 - os fios devem ser colocados lado a lado (Figura 31).

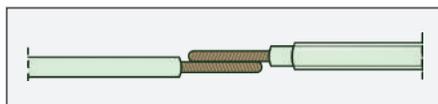


Figura 31 - Fios colocados lado a lado

- passo 3 - um dos fios é enrolado em torno do outro em, aproximadamente, quatro voltas (Figura 32).

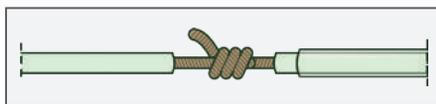


Figura 32 - Prendendo os fios

- passo 4 - a ponta livre que sobrou deve ser enrolada ao outro fio para serem soldados. Utilizar ferro e solda adequados (Figura 33).

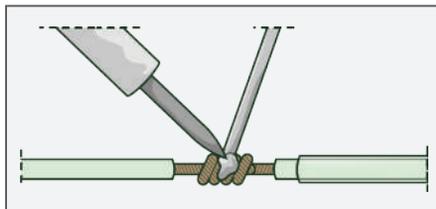


Figura 33 - Soldando os fios

- passo 5 - após o esfriamento, o espaguete deve ser colocado sobre a solda. Se for termorrestringente, o encolhimento é feito. Caso contrário, a amarração deve ser feita. Nesta etapa, se houver composto antioxidante, ele deve ser colocado no interior do espaguete antes de proceder à amarração. Nesse caso, não é recomendado o uso de espaguete termorrestringente e deve-se aguardar a cura (secagem) do composto.

## Conexão de terminais a blocos terminais

Aeronaves estão sujeitas à trepidação, para assegurar a integridade das conexões elétricas, os terminais presos aos seus blocos devem ser travados de modo a evitar afrouxamento durante voo. O bloqueio se dá pelo uso de arruelas de pressão e porcas autofreno e devem-se usar, no máximo, quatro terminais em um mesmo ponto.

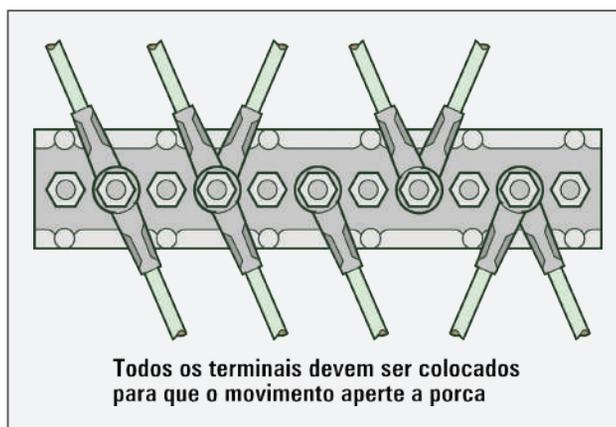


Figura 34 - Conexão de terminais presos em bloco de terminais

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que fios podem ser constituídos por um condutor sólido ou um conjunto de condutores. Quando reunidos, formam grupos que constituem diversas cablagens, distribuindo alimentação aos equipamentos e comunicação entre eles.

Fios e cabos têm de ser protegidos contra calor excessivo e áreas inundadas e devem manter distância segura de tubos que conduzem líquidos inflamáveis. Cortes nos fios, terminais e emendas seguem padrões que devem ser observados com rigor, assim como o uso de ferramentas adequadas para corte, crimpagem de terminais e emendas.

Por fim, amarrações nos fios e cablagem são feitas para proteger e garantir estética da instalação. Tratamento diferenciado deve ser dado aos fios de cobre e de alumínio quanto a uso de terminais, a emendas e a fixação em barra de terminais.

# Capítulo 2

## Ligação à massa

A ligação à massa é um meio eficiente de prover um caminho de retorno para corrente. Com maior frequência, a expressão aterramento é usada e significa ligar o condutor negativo à estrutura metálica da aeronave.

As estruturas primárias da aeronave são a fuselagem e as asas.

O aterramento é necessário em todos os sistemas elétricos de uma aeronave e tem objetivo de:

- a) proteger equipamentos eletrônicos, pessoas e estruturas contra descargas atmosféricas;
- b) proporcionar caminhos de retorno da corrente; com isso, há diminuição da quantidade de fios embarcados;
- c) oferecer blindagem aos potenciais de radiofrequência;
- d) propiciar eficiência na transmissão e recepção de sinais de rádio;
- e) combater cargas estáticas geradas pelo deslocamento da aeronave.

### Procedimentos gerais para aterramento

Para fazer um aterramento seguro e confiável, algumas precauções devem ser tomadas. São elas:

- aterrar os equipamentos e fios e cabos pontos de aterramento da aeronave. Existem várias ilhas (pontos de aterramento) distribuídas ao longo da aeronave;
- não fazer as conexões de aterramento, deve-se ter o cuidado de não danificar ou enfraquecer a estrutura da aeronave;
- quando possível, as estruturas metálicas devem estar aterradas;
- os pontos de aterramento devem ser lisos e limpos, livres de oxidação;
- o terminal de aterramento deve estar imune à vibração quando a aeronave estiver em funcionamento, expansão e contração devido à inércia;
- sempre que possível, verificar a conexão de aterramento em áreas protegidas. Buracos ou janelas de inspeção existem com o intuito de facilitar inspeção e substituição;
- não fazer ligações à massa usando material que não seja metálico;
- não mais do que quatro fios de terra devem ser ligados a um pino de aterramento comum. Módulos de terra, de acordo com normas vigentes, podem ser usados para multiplicar pontos de terra. Não usar mais do que 16 fios em um módulo de terra;
- as fontes de energia elétrica (primária, secundária e de emergência) devem ter seus aterramentos separados. Equipamentos podem ser conectados ao mesmo ponto de terra desde que a energia seja fornecida pela mesma fonte;

- o material usado para realizar aterramento é selecionado com base na resistência mecânica do tipo de material da estrutura e do terminal de ligação;
- usar um parafuso do tamanho adequado para o terminal específico. O comprimento do parafuso deve ser suficiente para apertar completamente a conexão e sobressair 3,7 mm, aproximadamente, no topo da porca;
- usar porca AN, simples ou **autofreno**, como ilustrado na Figura 35. Empregar a Tabela 6 para escolha de ferragens para uso com terminais de alumínio e a Tabela 7 para terminais de latão cobreado;



**Autofreno:** denominação dada a porcas que possuem mecanismo próprio para travamento quando apertadas.

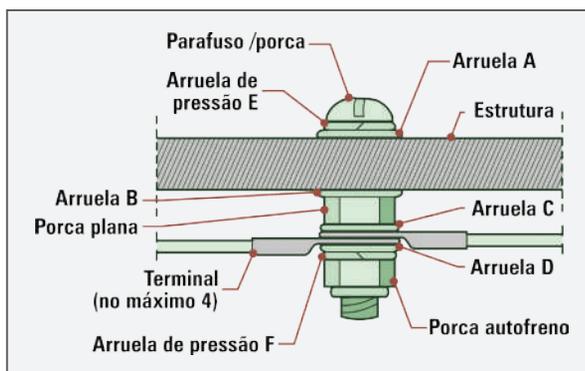


Figura 35 - Aterramento em superfície plana

Tabela 6 - Ferragens utilizadas em aterramento em superfície plana com terminais de alumínio

Terminal de alumínio							
Estrutura	Parafuso porca autofreno	Porca plana	Arruela A	Arruela B	Arruela C e D	Arruela de pressão E	Arruela de pressão F
Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Latão estanhado	Ligas de alumínio	Ligas de alumínio	Aço cadmiado ou alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado
Ligas de magnésio	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Ligas de magnésio	Ligas de magnésio	Aço cadmiado ou alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado
Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Nada	Nada	Aço cadmiado ou alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado
Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço cadmiado	Nada	Nada	Aço cadmiado ou alumínio	Aço inoxidável	Aço cadmiado

Tabela 7 - Ferragens utilizadas em aterramento em superfície plana com terminais de latão cobreado

Terminal de latão cobreado							
Estrutura	Parafuso porca autofreno	Porca plana	Arruela A	Arruela B	Arruela C e D	Arruela de pressão E	Arruela de pressão F
Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Ligas de alumínio	Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço cadmiado ou alumínio
Ligas de magnésio	Evitar conectar cobre ao magnésio						
Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Nada	Nada	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço cadmiado
Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Nada	Nada	Aço cadmiado	Aço inoxidável	Aço inoxidável

- usar porca AN âncora rebitada na estrutura quando as condições de instalação se fizerem necessárias, ilustrada na Figura 36. Empregar Tabelas 8 e 9 para escolha das ferragens ao se utilizar terminais de alumínio ou latão cobreado;

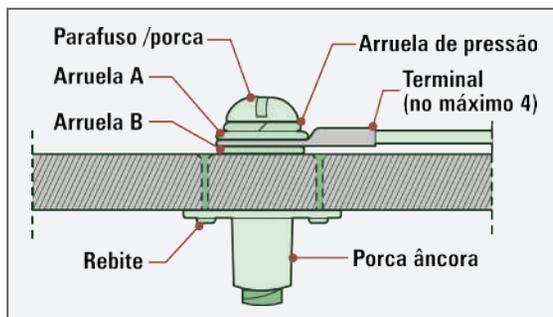


Figura 36 - Aterramento em superfície plana com porca âncora rebitada

Tabela 8 - Ferragens utilizadas em aterramento em superfície plana com porca âncora e terminais de alumínio

Terminal de alumínio					
Estrutura	Parafuso porca	Rebite	Arruela de pressão	Arruela A	Arruela B
Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado ou alumínio	Nada
Ligas de magnésio	Aço cadmiado	Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado ou alumínio	Nada ou liga de magnésio
Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço inoxidável	Aço cadmiado	Aço cadmiado ou alumínio	Nada
Aço inoxidável	Aço inoxidável ou aço cadmiado	Aço inoxidável	Aço cadmiado	Aço cadmiado ou alumínio	Aço cadmiado

Tabela 9 - Ferragens utilizadas em aterramento em superfície plana com porca âncora e terminais de latão cobreado

Terminal de latão cobreado					
Estrutura	Parafuso porca	Rebite	Arruela de pressão	Arruela A	Arruela B
Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Ligas de alumínio	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Ligas de alumínio
Ligas de magnésio	Evitar conectar cobre ao magnésio				
Aço cadmiado	Aço cadmiado	Aço inoxidável	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Nada
Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço cadmiado	Aço cadmiado	Nada

- usar arruelas de pressão, ilustradas nas Figuras 35, 36 e 37, salvo disposição em contrário prevista em ordem técnica do equipamento. Utilizar arruelas de pressão com porcas simples ou autofreno. Em terminais de alumínio, empregar uma arruela que, no mínimo, complete toda a sua área de contato.

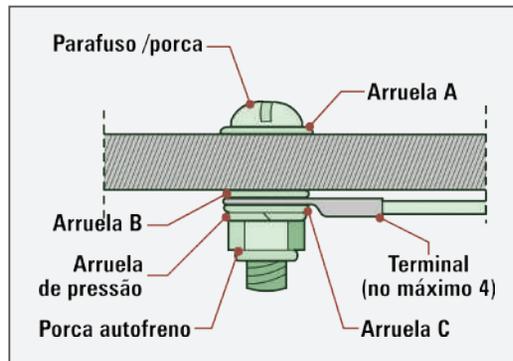


Figura 37 - Parafuso e porca em superfícies planas

Não remover o banho de cádmio ou zinco das superfícies de aço.

Para aterramento em superfície tubular, utilizar uma braçadeira tipo AN735 ou substituta que não tenha isolamento de borracha. Na Figura 38.A, um terminal de cobre é ligado a uma tubulação de alumínio. Em razão da facilidade com que o alumínio se deforma, devem-se usar arruelas planas entre o parafuso e a porca de pressão, como ilustra a figura mencionada. Já na Figura 38.B, há um terminal de cobre ligado a uma estrutura tubular de cobre, e na 38.C, há um conduíte de aço ou alumínio aterrado na estrutura.

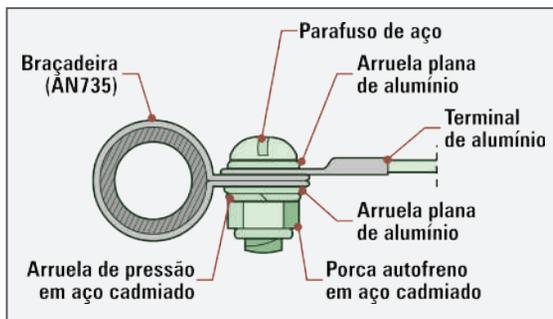


Figura 38.A - Aterramento em estrutura tubular de alumínio

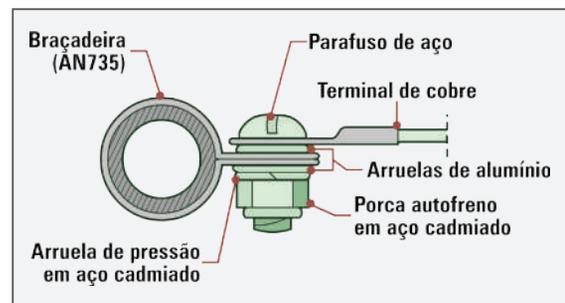


Figura 38.B - Aterramento em estrutura tubular de cobre

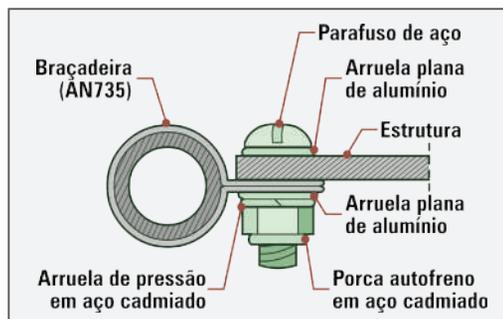


Figura 38.C - Conduíte aterrado na estrutura

Peças metálicas móveis e superfícies descontínuadas devem ser aterradas. É usada para esse fim uma malha de cobre que é aparafusada entre as superfícies por intermédio de terminais. Esse dispositivo é chamado de *juniper* e deve ser pequeno, com tamanho ideal de, no máximo, 76 mm. O uso de *jumpers* em série não é recomendado.

Quando na reparação ou substituição de ligação existente ou conexões de aterramento, usar o mesmo tipo de material utilizado na ligação original.

## Procedimentos de limpeza

A seguir serão descritos os procedimentos para limpeza de superfícies de alumínio, de magnésio e de aço.

### a) Limpeza de superfície de alumínio

Aplicar uma camada de composto de vaselina sobre a ligação ou superfície de aterramento (Figura 39) e escovar com uma escova de aço inoxidável. Limpar a vaselina com um pano limpo e seco.

### b) Limpeza de superfície de magnésio

- remover a graxa e o óleo com P-D- 680 Tipo III;
- retirar toda a tinta ou verniz da superfície com diluente de laca, A-A-857;
- escovar a área liberalmente com solução SAEAMS-M-3171, Tipo I, por um minuto e, em seguida, enxaguar pelo menos cinco segundos com água limpa;
- secar completamente.

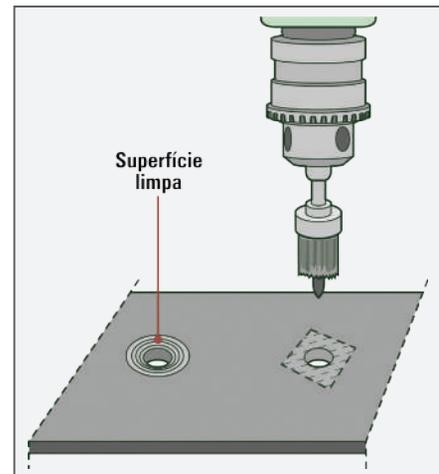


Figura 39 - Limpeza de superfície de alumínio

Solventes de limpeza são tóxicos para pele, olhos e trato respiratório. É necessário proteger a pele e os olhos; evitar contato repetido ou prolongado com esses produtos; garantir a ventilação adequada; e não respirar fumaça gerada por solventes.

- c) O procedimento de limpeza em superfícies de aço segue os mesmos procedimentos realizados em superfícies de magnésio.

## Teste de ligações à massa

A resistência de todas as conexões de ligações à massa deve ser medida depois que as conexões mecânicas forem feitas. A medição consiste em uma leitura com um **miliohmímetro** entre as áreas limpas do objeto e a estrutura. A resistência de cada conexão não deve, normalmente, ser maior que 0,01 ohms. Onde são aterrados componentes de radiofrequência (RF), a resistência medida deve ser, no máximo, 0,0025 ohms (segundo a norma MIL-STD-464).



**Miliohmímetro:** instrumento usado para medir resistências muito baixas.

O instrumento usado para medições tem de ser apropriado para medir baixas resistências e estar **calibrado**. Ao fazer verificações em ambientes confinados, em virtude da presença de vapores inflamáveis ou de explosivos, é preciso tomar algumas medidas de segurança, como a utilização de equipamento de proteção individual (EPI) e de instrumento **homologado** para uso em tais condições. Um miliohmímetro, ao tocar a superfície, pode gerar uma faísca, provocando um acidente. Existem ohmímetros específicos para uso nessas condições.

Os valores de resistência têm aplicação geral em ligações elétricas e de radiofrequência (RF). Requisitos específicos detalhados nas publicações técnicas das aeronaves devem ter precedência.



**Calibrado:** significa que o instrumento foi comparado com um padrão (referência) e encontra-se em condições de uso.

**Homologado:** aprovado por órgão regulamentador.

Apenas a verificação das resistências nas conexões não é suficiente para garantir o aterramento. A extensão de ligações, métodos e materiais usados e a possibilidade de afrouxar as conexões em operação também devem ser consideradas.

## Resumindo

A ligação à massa tem fundamental importância para a proteção e o correto funcionamento dos equipamentos elétricos instalados em uma aeronave. Deve ser parte da rotina de manutenção efetuar testes, procedimentos de limpeza e de substituição de itens com avaria.

O técnico deve trabalhar com as ferramentas corretas e sempre usar o EPI previsto para a atividade específica. A observação dessas técnicas previne falhas e aumenta a vida útil dos equipamentos e de suas cablagens.

# Capítulo 3

## Conectores

Conectores são acessórios que proporcionam uma fácil e rápida conexão ou desconexão dos condutores elétricos, simplificando a instalação, remoção e manutenção tanto de equipamentos elétricos ou eletrônicos quanto de segmentos de cablagem.

Na manutenção, montagem e substituição de conectores, são necessários conhecimentos avançados de solda e uso de ferramentas específicas, que somente é conseguido com técnico treinado.

### 3.1 Tipos de conectores

Conectores são classificados pelas especificações MIL ou OEM. Dividem-se em classes e tipos com variações do fabricante para cada classe. Para se seguir uma especificação, as variações do fabricante são diferentes em aparência e em método.

O número e a complexidade dos sistemas elétricos resultaram em um aumento do uso de conectores elétricos. A escolha adequada e a aplicação de conectores são uma parte significativa do sistema de fiação de aeronaves. O dimensionamento, a seleção e a instalação de conectores devem proporcionar o grau máximo de segurança e confiabilidade para a aeronave. Para a instalação ou troca de um conector, a publicação técnica deve ser seguida.

Alguns dos tipos mais comuns são os redondos, os retangulares e os blocos de módulos. Conectores resistentes a condições ambientais devem ser usados em aplicações sujeitas a fluidos, vibração, calor, choque mecânico e elementos corrosivos.

O receptáculo AN3100, por exemplo, possui flange para fixação e é usado em paredes ou divisões (anteparos). É constituído de uma carcaça frontal, um anel retentor, um bloco isolante, contatos (pinos ou soquetes) e uma carcaça traseira. Seu acoplamento é do tipo rosqueável.

Alguns conectores tipo AN mais usados encontram-se nas figuras a seguir.

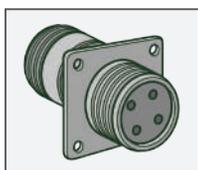


Figura 40.A -  
Receptáculo de parede

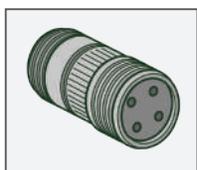


Figura 40.B -  
Receptáculo de cabo

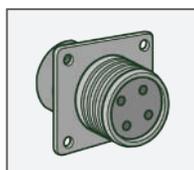


Figura 40.C -  
Receptáculo de caixa

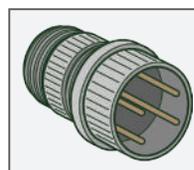


Figura 40.D - Plugue  
reto I

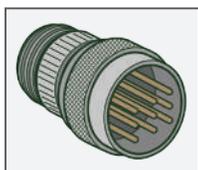


Figura 40.E - Plugue  
reto II

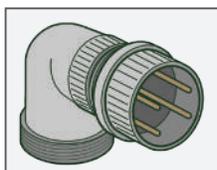


Figura 40.F - Plugue  
em ângulo

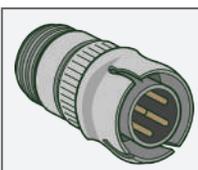


Figura 40.G - Plugue  
de desconexão MCK

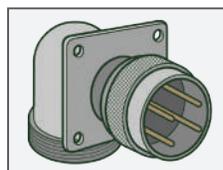


Figura 40.H - Plugue  
em ângulo

Os conectores são classificados em classes A, B, C, E, K, P e R, detalhadas a seguir:

- classe A - reúne os conectores fabricados em liga dura de alumínio, cuja carcaça traseira seja inteiriça. São usados em locais que não necessitam de um conector de construção especial;
- classe B - reúne conectores similares aos conectores da classe A, exceto pelo fato de esses conectores possuírem a carcaça traseira bipartida. Isso proporciona um fácil acesso para manuseio e serviços nos contatos e condutores;
- classe C - reúne todos os conectores pressurizados. São usados em parede, divisões de compartimentos e equipamentos pressurizados. Seu isolante interno não é removível, impedindo que a pressão interna de um compartimento ou equipamento pressurizado escape através do conector;
- classes E e R - reúnem os conectores resistentes ao meio ambiente. Esses conectores são usados em locais nas aeronaves onde a rápida mudança de temperatura pode causar danos ou onde a vibração é constante. Nessas duas classes, o condutor entra no conector através de um selante situado na carcaça traseira, ficando as conexões elétricas (condutor/contato) protegidas contra umidade e vibração. Na classe E, o selante é fixo e os contatos do tipo prensado devem ser removidos para que as conexões elétricas sejam executadas. A remoção e a posterior instalação dos contatos são feitas com o auxílio de ferramentas especiais, conhecidas como extrator e inseridor. Na classe R, o selante é removível e os contatos são fixos. As conexões elétricas são feitas por meio de pontos de solda. O selante é fixado por uma porca que, depois de apertada, o pressiona e o força a fechar os orifícios por onde passam os condutores, protegendo as conexões elétricas contra a umidade e a vibração;
- classe P - reúne os conectores tipo vaso, cuja carcaça traseira possibilita, após a soldagem dos condutores aos contatos, a aplicação de um selante que tem como objetivo proteger as conexões elétricas contra a umidade e a vibração;
- Classe K - reúne os conectores à prova de fogo. Esses conectores são usados onde o fornecimento de energia elétrica é vital, mesmo que o conector seja exposto ao fogo ou à alta temperatura. Eles são feitos de aço e a peça isolante interna é de material resistente ao fogo. Seus contatos são do tipo prensado.

### 3.2 Identificação de conectores

Um conector elétrico é composto de duas partes: plugue e receptáculo. O plugue e o receptáculo, depois de acoplados, são fixados por um anel de acoplamento. Esse anel faz parte do plugue. O conector possui uma guia e uma ranhura, que podem aparecer tanto no plugue como no receptáculo, sempre em cada parte do conector.

A guia e a ranhura têm como finalidade facilitar o acoplamento entre o plugue e o receptáculo e evitar um possível acoplamento errado entre os contatos machos (pinos) e os contatos fêmeas (soquete) de um conector elétrico.

Os conectores de acoplamento tipo baioneta possuem cinco guias ou ranhuras em cada uma de suas partes.

O receptáculo, em geral, é fixado em uma parede ou em um anteparo. Normalmente, é a parte fixa do conector elétrico. Sua fixação é feita por meio de parafusos, rebite ou por uma porca que faz parte do receptáculo.

O plugue é a parte removível do conector elétrico e é fixado ao receptáculo por meio do seu anel de acoplamento. Quando essas duas partes (plugue e receptáculo) são unidas, o circuito elétrico do qual fazem parte é completado. Isso só é possível graças aos contatos elétricos existentes no plugue e no receptáculo. Esses contatos, que são prensados ou soldados aos condutores, são conhecidos como pinos (contatos machos) e soquetes (contatos fêmeas). A Figura 41 ilustra um contato macho com fio inserido corretamente. Um furo no corpo do contato permite ver o fio inserido até o final.

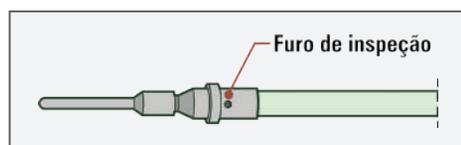


Figura 41 - Inserção de fio em contato

Os contatos de um conector elétrico, pino ou soquete são identificados por uma letra impressa na parte isolante interna, o mais próximo possível do contato que ela identifica, tanto no plugue como no receptáculo. Essa identificação pode ser feita de maneira linear (Figura 42.A) ou circular (Figura 42.B).

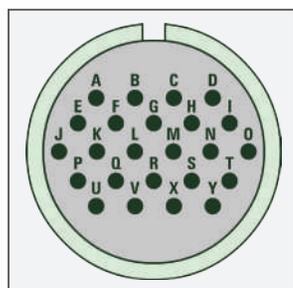


Figura 42.A - Identificação linear dos contatos

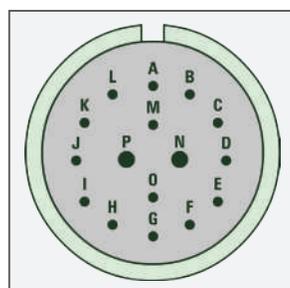


Figura 42.B - Identificação circular dos contatos

A identificação dos contatos inicia com a letra (A), sempre em ordem alfabética, usando quantas letras forem necessárias. Quando o número de contatos do conector for maior que o alfabeto, usam-se as letras maiúsculas e, depois, as letras minúsculas, na ordem alfabética.

Se não for suficiente, a identificação assumirá a seguinte sequência: letras maiúsculas (A, B, C,..., Z), letras minúsculas (a, b, c, z), letras maiúsculas duplas (AA, BB, CC, ..., ZZ) e, por último, letras minúsculas duplas (aa, bb, cc, ..., zz).

Um plugue ou um receptáculo pode possuir contatos machos ou fêmeas.

O lado energizado de um conector elétrico, ou seja, o ponto mais próximo de uma fonte de força existente no circuito será, sempre que possível, de contatos tipo soquete, podendo esse lado ser um plugue ou um receptáculo. Esse procedimento é recomendado a fim de prevenir curtos circuitos acidentais durante a execução de serviços de manutenção em circuitos energizados.

Os contatos (pinos e soquetes) de um conector elétrico são sustentados e isolados por uma peça isolante de plástico, borracha ou fibra. Os pinos isolados entre si ainda são protegidos por uma capa metálica, podendo ser desmontável.

O invólucro ou anel de acoplamento de um conector possui um código de letras e números, que identificam um conector, ilustrado na Figura 43:

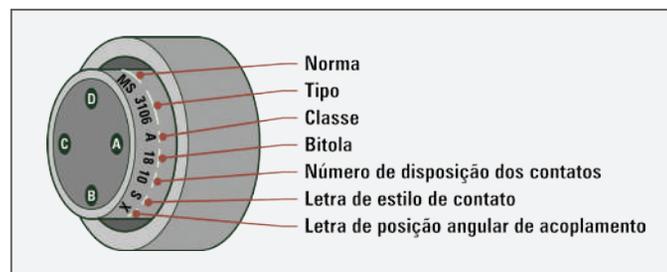


Figura 43 - Identificação do conector

- a) Norma - as letras *military services* (**MS**) indicam que o conector foi produzido de acordo com as normas vigentes. Também podem aparecer as letras *army and navy* (**NA**).
- b) Tipo - o número 3106 indica o tipo do conector. Neste caso, trata-se de um plugue reto.
- c) Classe - a letra (**A**) indica a classe a que o conector pertence. Aqui, o conector pertence à classe (**A**).
- d) Bitola - o número 18 indica o diâmetro do conector em 1/16". O conector possui um diâmetro de 18/16" ou 1" e 2/16".
- e) Número de disposição dos contatos - o número 10 indica a disposição dos contatos no conector e não tem relação com a quantidade de contatos do conector.
- f) Letra de estilo de contato - a letra (**S**) indica que os contatos deste conector são do tipo soquete. Para os contatos tipo pino, aparecerá a letra (**P**).
- g) Letra de posição angular de acoplamento - essa letra só aparecerá no código quando a ranhura ou a guia de um plugue, ou de um receptáculo, não se encontrar na posição angular padrão. Essa letra indicará a posição angular da guia ou da ranhura em relação à posição angular padrão, em conformidade com a tabela do fabricante.

Uma guia, ou uma ranhura, estará na posição angular padrão quando, ao se observar de frente os contatos de um plugue ou de um receptáculo, ela se encontrar na parte superior da circunferência do conector.

São usadas as letras (**X**), (**Z**), (**Y**) e (**W**), cada uma delas indicará uma posição diferente em relação à posição angular padrão. Essas letras vêm impressas no isolante interno do conector e, para não serem confundidas com as letras de identificação dos contatos, são cercadas por

um círculo. Essa variação é de acordo com a tabela apresentada pelo fabricante e ilustrada nas figuras a seguir.

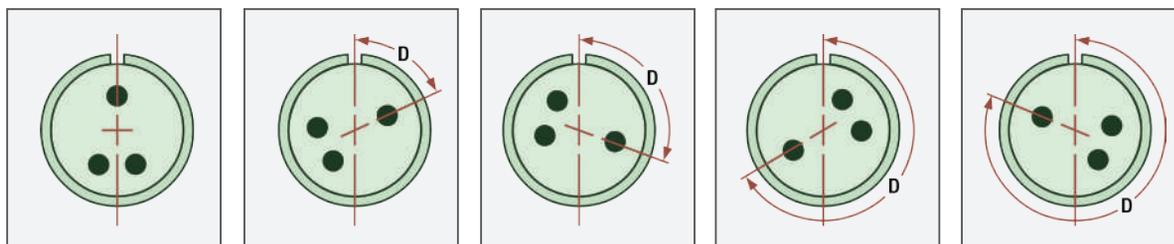


Figura 44.A - Posição angular padrão

Figura 44.B - Posição angular W

Figura 44.C - Posição angular X

Figura 44.D - Posição angular Y

Figura 44.E - Posição angular Z

### 3.3 Instalação de conectores

A instalação de conectores compreende a montagem do conector em si e também a localização definitiva na aeronave. A identificação correta de um conector e o uso adequado de ferramentas específicas garantem a funcionalidade e segurança nas instalações elétricas.

#### 3.3.1 Manutenção em conectores de conectores

Na manutenção de conectores, pode ser feita a substituição completa do dispositivo ou reparo em um ou mais de seus contatos. Isso só pode ser realizado por técnico treinado. Os contatos dos conectores podem ser soldados ao condutor ou crimpados, dependendo do tipo de conector. Em aeronaves modernas, os mais comuns são os contatos crimpados aos fios. A soldagem de contatos e a crimpagem devem ser feitas observando-se as seguintes orientações:

##### a) Soldagem de contatos

Para soldar o contato de um condutor, devem-se observar algumas técnicas básicas. Os contatos podem ser de prata, de estanho ou banhados a ouro. Contatos prateados devem ser pré-estanhados para impedir uma **solda fria**. Não há essa necessidade em contatos dourados, pois o ouro facilita o processo de soldagem.

A preparação de fios antes da montagem deve ser a seguinte:

- cortar o fio de comprimento necessário;
- identificar fio com codificação apropriada;
- descascar a ponta do fio, conforme Tabela 10, e estanhar.

Tabela 10 - Comprimento do fio ideal para soldagem em contatos

Tamanho do contato (AWG)	Comprimento descascado no fio (mm)
20	3.0
16	6.0
12	8.0
8	16.0
4	16.0



**Solda fria:** soldagem que foi mal executada, provocando defeitos intermitentes ou definitivos.

- soldar o fio no contato pré-estanhado;
- luvas isolantes ou espaguete restrigente são usados em conexões soldadas para ajudar a proteger a conexão contra vibração e fornecer isolamento entre contatos.

No procedimento de soldagem em contatos de conectores, os fios são soldados nos contatos por meio de um ferro de solda, alicate de solda ou maçarico. Uma solda bem realizada é resultado de peças limpas e cuidadosamente estanhadas. Quando soldar fios aos conectores elétricos, observar as seguintes precauções:

- certificar-se de que o fio e o contato estão limpos e adequadamente estanhados;
- selecionar uma ponta de ferro de solda capaz de fornecer boa transferência de calor. Uma grande área do contato sendo tocada ajudará a produzir uma boa soldagem rapidamente. As Figuras 45.A, B e C mostram as pontas usadas em soldagem de contatos;

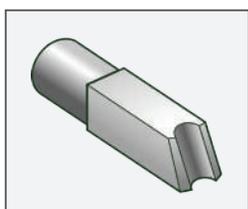


Figura 45.A - Para 8 AWG e contatos largos



Figura 45.B - Para pequenos contatos

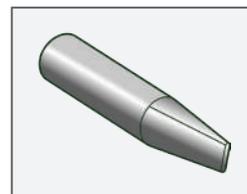


Figura 45.C - Para contatos médios

- usar uma escova de latão para limpar superfícies de contato;
- não utilizar qualquer fluxo corrosivo para soldar um conector elétrico;
- não segurar o ferro sobre o contato mais tempo do que o necessário. A solda pode escorrer para o fio e endurecê-lo e o fio rígido quebra sob vibração;
- evitar que a solda escorra para fora do contato, pois poderá provocar curto com o contato vizinho. Não mover a conexão soldável até que a solda tenha endurecido;

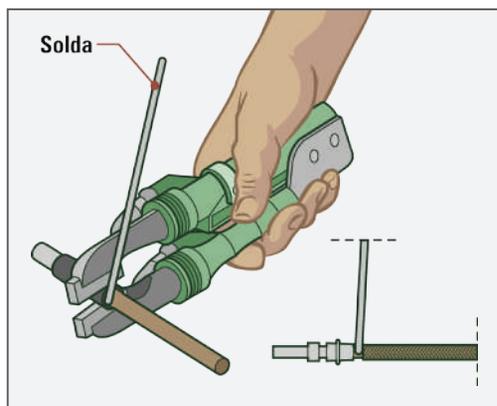


Figura 46 - Alicate de solda

- a solda tem pouca resistência mecânica. Não depende de uma solda para manter um fio preso ao contato. O próprio receptáculo tem seus mecanismos para travar os fios. Montá-los corretamente;
- o alicate de solda renderá excelentes resultados para contatos muito grandes ou muito pequenos. Grandes contatos são soldados aos fios pelo uso de alicates de solda (Figura 46). O contato removido da inserção é realizado nas mandíbulas do alicate e a corrente é aplicada até que a solda derreta bem;

- um maçarico pode ser usado para soldar um fio em um contato grande que tenha sido retirado de sua inserção (Figura 47). O contato é posto em um bloco não metálico para evitar a perda de calor, e a tocha é jogada sobre a área de copa de solda até que esta derreta;

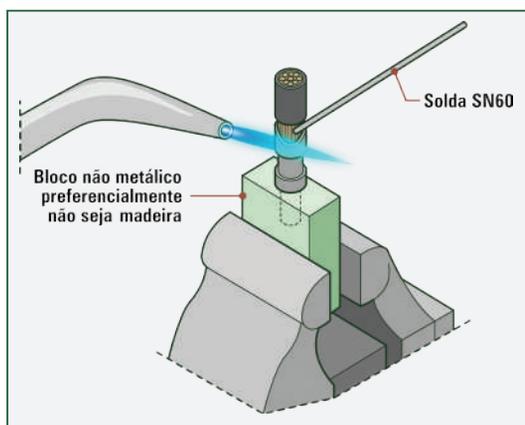


Figura 47 - Soldando contato muito grande

Deve-se ter cuidado em não aquecer demais o contato. O calor excessivo destruirá o contato ou poderá enfraquecê-lo.

A soldagem com ferro de solda elétrico deve ser realizada com ponteira adequada, que deve estar limpa e estanhada. Para sua conveniência, o ferro ou o conector é preso em uma morsa. A solda é realizada da seguinte forma:

- grandes contatos devem ser removidos das inserções e soldados em um bloco não metálico. Usando a ponta adequada, aquecer primeiramente a taça do contato, colocando posteriormente solda (Figura 48). Enquanto o calor ainda é aplicado, o fio pré-estanhado é inserido na taça de solda até o fundo. A solda pode ser adicionada na copa de solda, se for necessário. Deve-se manter o ferro aquecendo a copa de solda até que ela preencha completamente a copa. Então, retira-se o ferro e deixa-se que esfrie. A solda deve ficar brilhosa, pois uma soldagem fosca é sinal de solda fria;

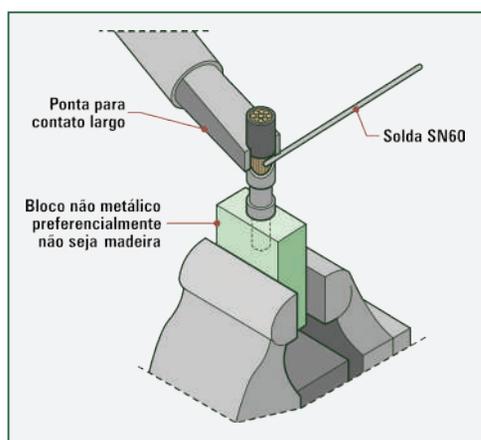


Figura 48 - Soldagem de contatos largos

- contatos que não foram removidos das inserções são soldados, conforme mostra a Figura 49. Aquecendo a taça do contato com o ferro, o fio deve ser inserido juntamente com a solda. Contatos de tamanho médio, como nº 8 a nº 12, serão soldados mais facilmente se o ferro tocar no ponto onde o fio toca na copa do contato, ilustrado na Figura 50. Adicionar uma pequena quantidade de solda neste ponto ajudará a conduzir calor para a articulação;

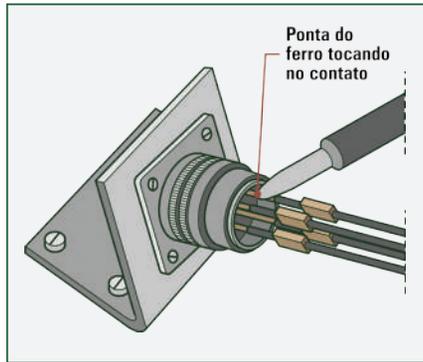


Figura 49 - Soldagem de contatos no receptáculo

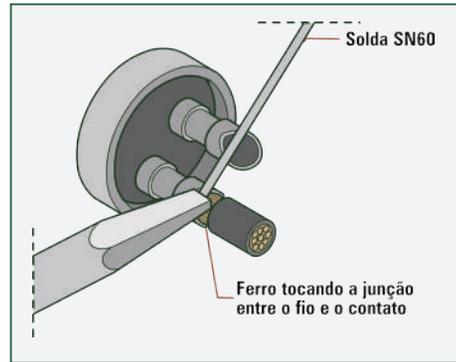


Figura 50 - Ferro tocando junção entre contato e fio

- para facilitar a soldagem de contatos que não foram removidos do receptáculo, é útil fixar o conector em um dispositivo de fixação a fim de retê-lo e firmá-lo.

Uma sequência lógica deve ser seguida na soldagem de um conector. Isso ajuda a evitar queima ou danos no isolamento dos fios laterais. As Figuras 51.A e 51.B descrevem duas sequências lógicas para soldar conectores.

Na Figura 51.A, a soldagem é iniciada na borda inferior esquerda ou direita, se o técnico for canhoto. A linha superior deve seguir a mesma sequência da linha de baixo. A sequência deve ser seguida até que todos os contatos sejam soldados.

Na Figura 51.B, a soldagem também começa na borda inferior da direita ou esquerda. O próximo passo é soldar os fios do centro para os externos. Segue-se essa sequência até que todos sejam soldados.

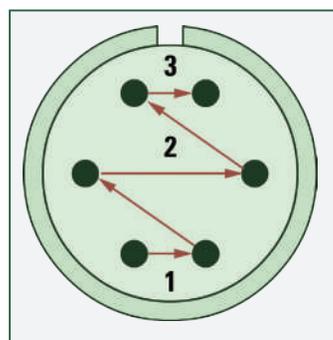


Figura 51.A - Sequência para conector com poucos contatos

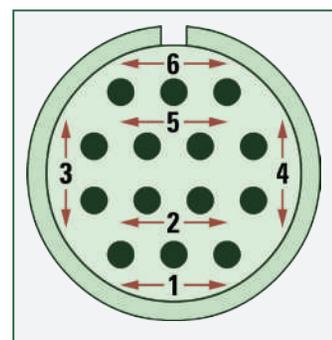


Figura 51.B - Sequência para conector com muitos contatos

Depois que todas as ligações forem feitas, é importante verificar se o conector não tem excesso de solda, resíduos de fluxo e solda fria. Em qualquer dessas situações, deve-se adotar o seguinte procedimento:

- retirar o excesso de solda usando ferro limpo com esponja vegetal úmida;
- remover resíduos de fluxo com álcool isopropílico ou outra solução recomendada pela ordem técnica do fabricante;
- desfazer a solda fria usando um sugador de solda ou ferro com esta função. Refazer a ligação com solda nova. Uma soldagem de qualidade deve ser brilhosa. Também é recomendado o uso de uma lente ou microscópio para avaliar uma boa soldagem.

Após as ligações estarem limpas, instalar a manga isolante do conector ou espaguete termorretrátil usando um soprador térmico. Esses dispositivos já devem estar posicionados nos fios antes do início da soldagem. A Figura 52 demonstra o posicionamento de um espaguete termorretrátil.

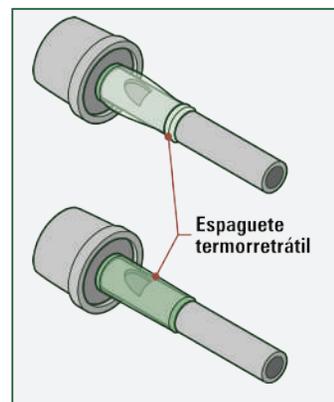


Figura 52 - Isolamento com espaguete termorretrátil

#### b) Crimpagem de contatos

Contatos crimpáveis são removíveis e acompanham o conector em estojo próprio. Normalmente, o *kit* que acompanha um conector novo contém um inseridor/extrator, que é uma ferramenta necessária para inserir e extrair o contato do conector.

O procedimento para crimpar contatos é feito da seguinte maneira:

- descascar a ponta do fio do mesmo modo como fosse soldar. Não precisa estanhar;
- selecionar a posição adequada para os contatos a serem utilizados no alicate crimpador. O melhor alicate é o que tem regulagem ajustável;
- após fazer a crimpagem, o técnico deve conferir se o fio ficou bem fixado. O contato possui um orifício para conferir se o fio foi até o fundo do contato (Figuras 53.A, B e C). O manual de cada ferramenta explica o funcionamento. Sempre deve ser feito treinamento com a ferramenta antes de executá-la no serviço profissional.

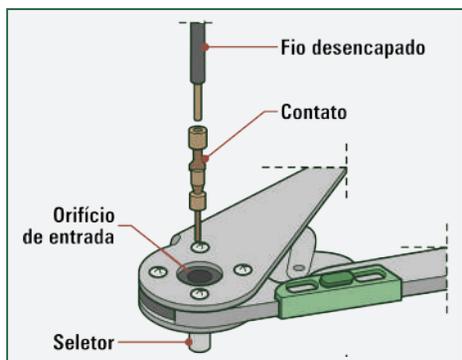


Figura 53.A - Terminal e alicate crimpador

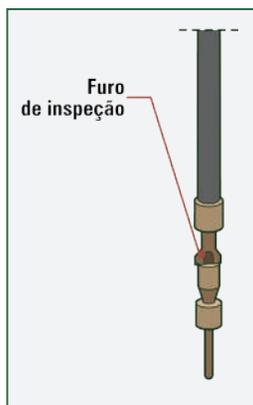


Figura 53.B - Furo de inspeção do contato

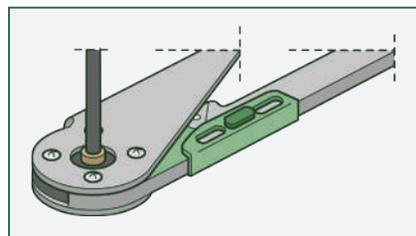


Figura 53.C - Crimpagem em terminal

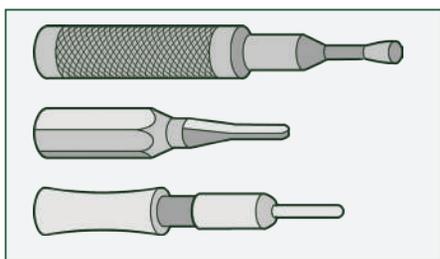


Figura 54 - Extrator e inseridor de contatos em conector

A inserção ou extração de contatos é feita com ferramenta específica para cada tamanho de contato. A Figura 54 ilustra um inseridor/extrator típico usado para maioria dos conectores.

A Tabela 11 lista os tamanhos de contatos existentes com seus correspondentes diâmetros de fios em que podem ser usados. Por exemplo, o contato de número 20 pode ser usado com fios de 24 a 20 AWG.

Tabela 11 - Tamanho de contatos

Tamanho do contato	Faixa de bitolas dos fios
20	24 - 20
16	22 - 16
12	14 - 12
8	10 - 8
4	6 - 4
0	2 - 0

### 3.3.2 Cuidados na instalação de conectores na aeronave

Alguns cuidados devem ser observados pelo mecânico de manutenção de aeronaves no grupo célula ou aviônicos na instalação de conectores na aeronave. São eles:

- observar a limpeza e integridade das conexões;
- conectores são fáceis de acoplar, bastando observar a guia que ele possui. Não usar força para isso;
- na falta de espaço para dar firmeza nas mãos, o uso de um alicate de conector é recomendável;
- os conectores, quando previsto, devem ser corretamente frenados à parte fixa da aeronave;
- nunca usar força excessiva em um plugue ou receptáculo;
- sempre proteger os conectores que estiverem desconectados.

## Resumindo

Os conectores facilitam a instalação e remoção de cablagens e equipamentos. São em grande número em uma aeronave e, se negligenciados, podem causar sérios problemas. Há necessidade de um mecânico de manutenção de aeronaves treinado para identificá-los, corrigir falhas ou substituí-los.

A identificação do conector é feita por código grafado em seu corpo. Os códigos podem facilmente ser consultados nos manuais técnicos da aeronave. Falhas podem ser evitadas ou minimizadas com manutenção preventiva. Quando os conectores forem substituídos, é fundamental observar corretamente as técnicas de soldagem ou crimpagem dos terminais, assim como a montagem correta do conector.



# Capítulo 4

## Conduítes

Em situações nas quais cablagens ficam expostas a condições agressivas, são usados conduítes com vistas a evitar que a exposição de fios a líquidos, calor, vapores e materiais abrasivos possa danificar os fios.

Em geral, os conduítes sofrem desgastes devido a condições severas onde se encontram instalados. Para segurança, é necessário que, nas inspeções de rotina, seja observado o estado dos conduítes e das cablagens a eles incorporados, com o objetivo de se tomar medidas corretivas antes que algum dano ocorra na cablagem.

### 4.1 Finalidade dos conduítes

Os conduítes protegem fios e cabos elétricos contra ambientes severos, fluidos corrosivos, altas temperaturas, interferência de radiofrequência e danos decorrentes de movimentação de carga ou atividades da tripulação.

O uso extensivo de conduítes é indesejável por causa do peso. Assim, são utilizados apenas em zonas que existem condições prejudiciais, fixados permanentemente à estrutura da aeronave ou presos por braçadeiras, cumprindo sua função protetora.

O conduíte é fabricado tanto em materiais metálicos quanto não metálicos, de forma rígida ou flexível. Basicamente, sua função é a de oferecer proteção mecânica a cabos e fios.

### 4.2 Fixação, furos de drenagem

Na escolha do conduíte, deve-se primeiro medir o diâmetro formado pelos fios. A especificação AS50881, publicada pela Associação de Engenheiros e Especialistas Técnicos (SAE), determina que a área do chicote não deve ocupar mais que 80% (oitenta por cento) do diâmetro do conduíte (Figura 55).

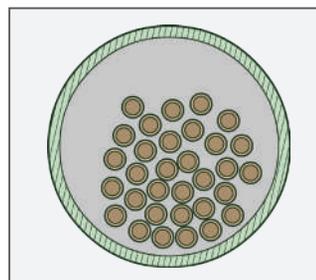


Figura 55 - Limite do conduíte

Emendas e laços não são permitidos no interior de conduítes.

Para passar os fios no conduíte em extensões longas, deve-se fazer uma guia usando pano macio que passe livremente pelo interior do conduíte. Soprar o pano guia com um compressor de ar

regulado para uma vazão de, no máximo, 35 psi (pressão por polegada quadrada), ilustrado na Figura 56. Após esse procedimento, remover a guia e certificar-se de que os fios estão firmes no conduíte, mas sem pressão. Um passa-fios de politetrafluoretileno também pode ser utilizado para esse fim, dispensando o uso do compressor de ar.

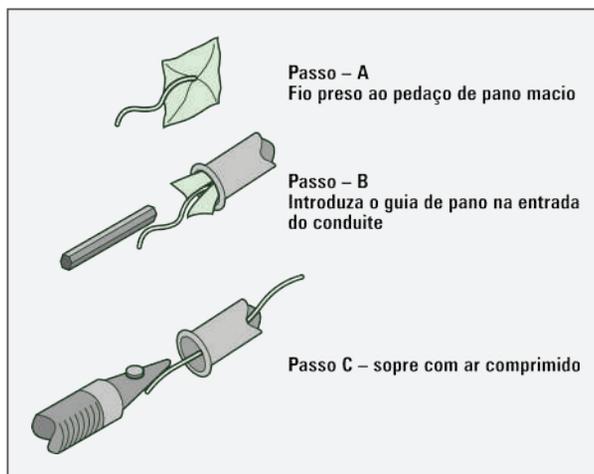


Figura 56 - Preparo do conduíte para passagem dos fios

Nos terminais do conduíte, devem ser colocadas braçadeiras a fim de travar os fios, evitando atrito. As braçadeiras têm de estar o mais próximo possível, não excedendo 250 mm (Figura 57).

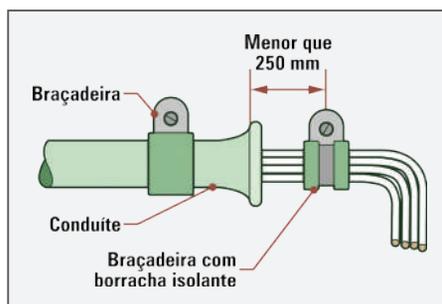


Figura 57 - Sustentação de conduíte



**Curvador de tubo:**  
ferramenta para fazer curvas em tubos metálicos preservando o diâmetro interno.

Curvas em conduítes metálicos têm de ser feitas com um **curvador de tubo**, que é uma ferramenta útil para preservar o diâmetro interno do conduíte.

Para impedir sérios problemas com conduítes, os fabricantes de aeronaves evitam em seus projetos:

- colocar conduítes onde os passageiros ou técnicos de manutenção possam usá-los como um apoio dos pés ou mãos. Na manutenção, deve-se preservar o caminho original do conduíte;
- com vistas a evitar acúmulo de água no interior do conduíte, furos para dreno são feitos nas partes mais baixas. A presença de umidade pode comprometer o isolamento da cablagem e afetar seriamente o funcionamento normal dos sistemas. Quando substituídos,

os furos devem ser feitos em sua parte mais baixa. Se o conduíte for metálico, rebarbas devem ser retiradas para evitar atrito com os fios;

- os apoios como braçadeiras têm o objetivo de evitar atrito contra a estrutura. Quando houver manutenção, esses acessórios devem ter particular atenção, sendo substituídos quando não estiverem cumprindo sua função.

## Resumindo

Conduítes metálicos têm a importante função de proteger mecanicamente as cablagens dos diversos sistemas contra condições severas do ambiente. É importante que o mecânico de manutenção de aeronaves saiba como substituir um conduíte usando ferramentas adequadas e preservando o caminho original deste.

Na substituição ou manutenção de conduítes, devem ser observadas medidas como localizá-lo, evitando-se contato direto com passageiros e acúmulo de água. Isso previne problemas mais sérios, principalmente a confirmação da localização e o estado que se encontra o furo para drenagem de água.



# Capítulo 5

## Instalação de equipamento elétrico

A instalação de um equipamento elétrico pode ocorrer por substituição de peça avariada ou por um equipamento novo para modernização da aeronave. Aeronaves pequenas, como um monomotor, têm menos equipamentos instalados do que um quadrimotor de grande envergadura. Porém, qualquer tipo de aeronave possui limites determinados pelos seus barramentos de alimentação, ou seja, sua capacidade de geração elétrica. Esses limites operacionais estão definidos nos manuais técnicos da aeronave e devem ser seguidos para evitar danos ao sistema elétrico.

Os equipamentos elétricos compreendem as cargas instaladas em uma aeronave. Um equipamento instalado incorretamente pode afetar a segurança e causar sérios danos aos sistemas, podendo, inclusive, colocar os tripulantes sob risco de morte. Dessa forma, o mecânico em manutenção de aeronaves deve ter habilidade no manuseio dos manuais técnicos e no uso de ferramentas adequadas a cada tipo de instalação.

### 5.1 Limites de carga elétrica

Para funcionamento adequado da aeronave, qualquer instalação de equipamento elétrico e eletrônico deve seguir orientação de publicação técnica específica. Por exemplo, quando um componente deve ser substituído por apresentar risco, o fabricante emite um boletim técnico que, depois de executado, passa a fazer parte dos manuais da aeronave. É essencial para o técnico ter conhecimento sobre o manuseio correto dos manuais técnicos da aeronave.

Nesses manuais, há diagramas de fiação elétrica com informações específicas, como as bitolas dos fios e cabos e os tipos dos terminais a serem usados para cada aplicação. Os diagramas de instalação elétrica identificam os componentes dentro de um sistema pelo número da peça e número serial, incluindo as alterações que são feitas durante a produção da aeronave. Por meio dos diagramas elétricos, pode-se verificar a capacidade de carga de qualquer sistema ou subsistema.

Por vezes, a substituição de um equipamento com maior demanda de energia implica a substituição de cablagens, conectores, disjuntores, etc. Os diagramas de instalação elétrica são frequentemente usados na solução de problemas de mau funcionamento do sistema elétrico.

Os diagramas elétricos de uma aeronave podem-se apresentar de três maneiras básicas:

- diagrama em blocos - este diagrama mostra blocos individuais que representam os componentes, como um gerador, uma placa de circuito impresso ou qualquer módulo que

possa ser substituído. Ele é usado como auxílio na solução de problemas em sistemas complexos. A Figura 58 mostra um diagrama em blocos;

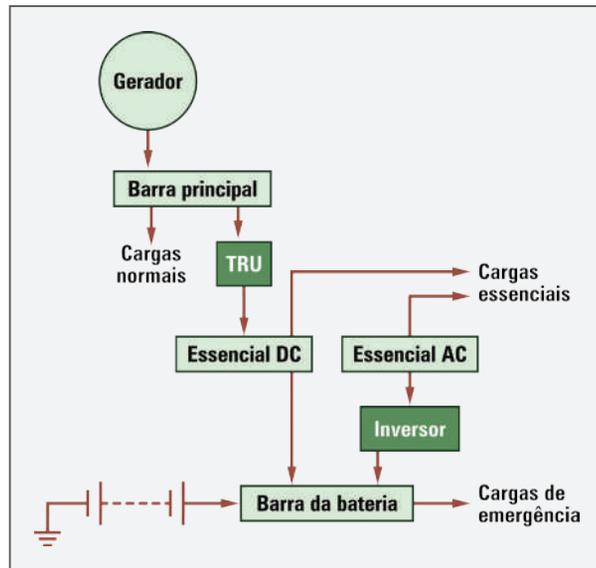


Figura 58 - Diagrama elétrico em blocos do sistema elétrico de um gerador

- diagrama pictórico - usam-se imagens dos componentes em vez de símbolos elétricos e blocos. Um diagrama pictórico ajuda o técnico a visualizar o sistema em operação, conforme ilustrado na Figura 59;

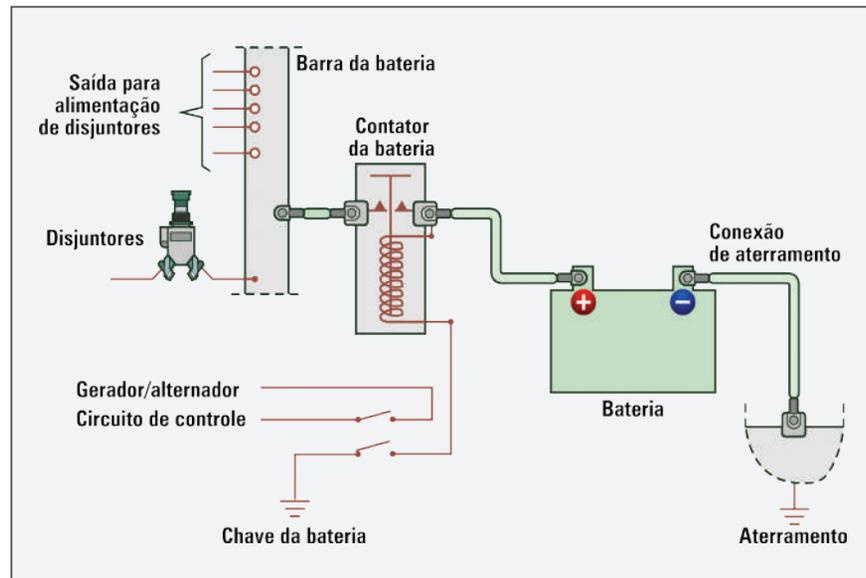


Figura 59 - Esquema pictórico

- diagrama esquemático - é o melhor para solução de problemas. Ele ilustra o princípio de funcionamento normal e a ligação dos componentes um em relação ao outro (Figura 60).

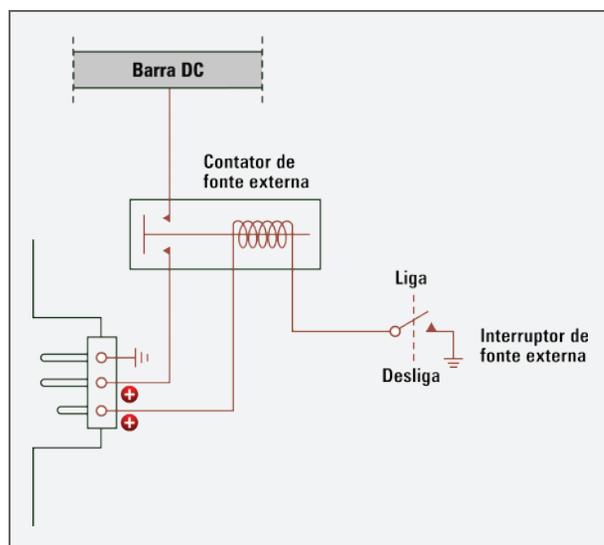


Figura 60 - Diagrama esquemático de um sistema elétrico de aeronave

## 5.2 Controle ou monitoramento de carga elétrica

A energia elétrica é fornecida e controlada para as diversas cargas da aeronave por meio de pontos comuns, denominados barras de alimentação. O sistema de distribuição de energia elétrica fornece rotas predeterminadas para circuitos e componentes em toda a aeronave.

A natureza e a complexidade do sistema de distribuição dependem do tamanho e do papel da aeronave, que vão desde um monomotor até aviões de transporte de passageiros com muitos motores. Para qualquer tipo de aeronave, o sistema é distribuído por meio dos seguintes itens:

- barra de alimentação;
- painel de disjuntores;
- controle;
- fios e cabos;
- cargas (equipamentos).

As configurações das barras de alimentação, o painel de disjuntores e os controles são essenciais para controle e proteção das diversas fontes e equipamentos da aeronave. As barras são formadas a partir de tiras grossas de cobre e possuem pontos com intervalos apropriados para fixação de dispositivos de proteção.

Os cabos que conduzem a corrente da fonte que a alimenta são feitos de fio de bitola grossa. O barramento recebe o nome da fonte primária.

Assim, tem-se as seguintes barras:

- barra principal - um gerador fornece energia para alimentar cargas, como luzes de cabine, entretenimento em voo, etc. São cargas que, se necessário, podem ser desconectadas sem afetar a segurança. O gerador também mantém a bateria sempre carregada. A Figura 61 ilustra um esquema de barra principal em uma aeronave de pequeno porte;



**Entretenimento em voo:** dispositivos de mídia, tais como vídeos, músicas e jogos, disponibilizados aos passageiros durante o voo.

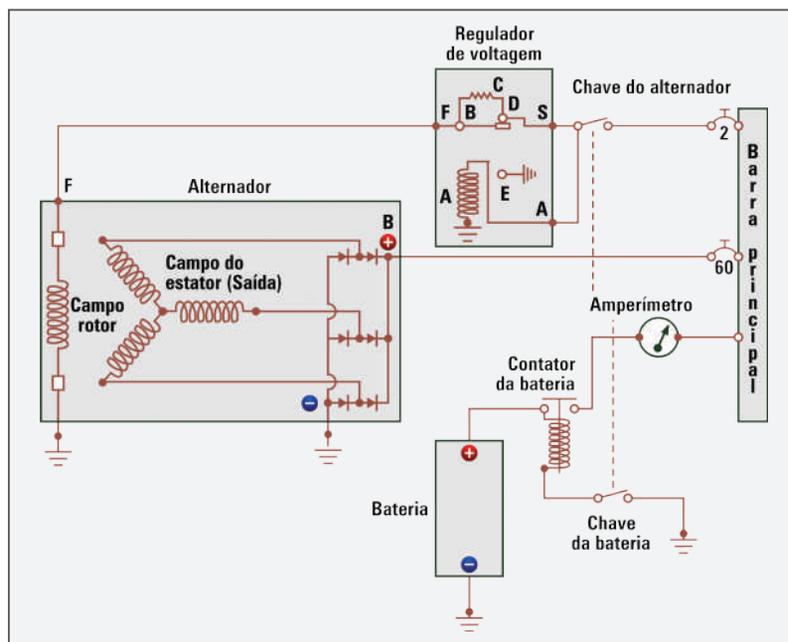


Figura 61 - Barra principal

- barra essencial - ela é vital, pois alimenta equipamentos e instrumentos necessários à operação contínua e segura da aeronave;
- barra da bateria - às vezes chamada de barra de emergência ou *standby*. Ela fornece alimentação para os equipamentos necessários a um pouso seguro, como, por exemplo, rádios, controle de combustível, instrumentos de navegação, trem de pouso e proteção contra fogo. No funcionamento normal da aeronave, ela fica ligada à barra principal recebendo alimentação do gerador para suprir os circuitos e também para manter a carga da bateria. A Figura 59 mostra o esquema pictórico da barra da bateria.

Amperímetros são instalados nos geradores com vistas a monitorar a corrente de carga. Eles são eficientes para indicar condição de sobrecarga. Em condições normais, a carga instalada na aeronave não pode exceder a capacidade nominal dos geradores.

Em aeronaves modernas, os controles das cargas são feitos automaticamente por circuitos eletrônicos. E informações de anomalia são fornecidas ao piloto e ao técnico de manutenção por meio de *display* com esse objetivo.

Outro controle fundamental é o de corrente reversa. Esse circuito é necessário em qualquer sistema de geração de corrente contínua (DC) para evitar que a bateria se descarregue pelos enrolamentos de um gerador que deixou de produzir ou reduziu sua tensão nominal.

Um método automático é necessário para desconectar a bateria quando a tensão do gerador for menor que a da bateria. Existem muitos circuitos que cumprem essa função, alguns são integrados com outros controles do gerador, por exemplo, regulação de tensão. A Figura 62 mostra um exemplo desse controle com componentes eletromagnéticos.

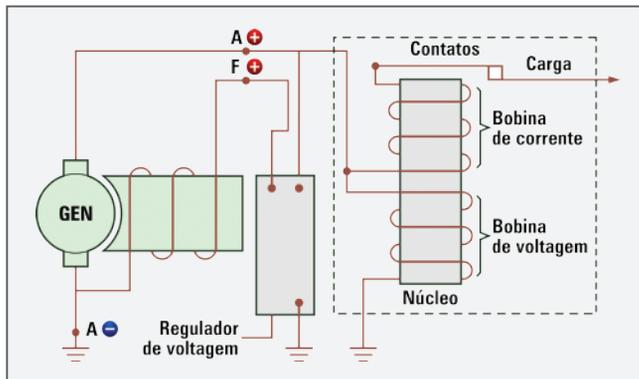


Figura 62 - Proteção contra corrente reversa

Outro controle fundamental é o limitador de corrente da saída do gerador de corrente contínua. Esse controle atua quando ocorre um curto-circuito na barra de alimentação e a corrente de saída do gerador é limitada, evitando que o gerador exceda sua carga máxima segura.

## Resumindo

A instalação de equipamento elétrico deve ser realizada por mecânico de manutenção de aeronaves treinado e observando sempre o que preconizam as ordens técnicas. Os limites de cargas devem ser monitorados e controlados, buscando a preservação do sistema quanto ao consumo excessivo que comprometa o funcionamento dos sistemas e as fontes de energia primária.

O barramento de alimentação básico para todo tipo de aeronave consiste em barramento principal, essencial e de bateria. Em solo, uma fonte externa pode alimentar a barra principal, preservando a carga da bateria. Uma instalação segura preserva a integridade dos sistemas de energia primária quanto ao funcionamento correto. Dessa forma, qualquer mudança tem de ser feita levando em consideração os boletins técnicos emitidos pelo fabricante da aeronave.



# Capítulo 6

## Dispositivos de proteção de circuitos

Os circuitos precisam ser protegidos contra **curto-circuito** ou excesso de corrente, que podem provocar fogo ou danos às fontes de energia elétrica. Disjuntores e fusíveis são instalados o mais próximo possível da fonte de energia elétrica para, em caso de excesso de corrente, o fusível ou disjuntor cortar a alimentação da energia antes mesmo que o condutor emita fumaça.

Interruptores e relés são um meio seguro e eficiente para ligar equipamentos, sistemas e fazer a conexão das fontes de energia aos barramentos de energia da aeronave.

### 6.1 Dispositivos de proteção

A capacidade de transporte de corrente de um fio ou cabo é determinada pelo seu comprimento e a área de corte transversal. A dissipação de calor é determinada pela passagem de corrente nos condutores, que é conhecida como efeito joule. Quanto maior for a corrente, maior será o calor gerado.

No projeto do circuito ou sistema, o tamanho do fio é selecionado para transportar com segurança essa corrente. Os fios sofrem desgaste durante a vida útil da aeronave, podendo deixá-los expostos, com isso, é possível ocorrer um caminho de baixa resistência entre o condutor e a célula e/ou condutor adjacente.

Equipamento defeituoso, caminhos de baixa resistência ou sobrecarga dos circuitos provocam o aumento de corrente, podendo, assim, exceder o limite de transporte de corrente do condutor. A temperatura aumenta no fio, produzindo fumaça e, em última análise, fogo. Antes que isso aconteça, é vital que haja uma proteção para os circuitos e os sistemas elétricos até mesmo de **transientes**.

Os métodos mais comuns usados em aeronaves são:

- disjuntores;
- fusíveis.

#### 6.1.1 Disjuntores

Disjuntores são dispositivos eletromecânicos que interrompem e isolam um circuito quando ocorre corrente excessiva. Ao contrário dos fusíveis, os disjuntores podem ser armados novamente, restabelecendo a corrente do circuito.



**Curto-circuito:** passagem de corrente muito acima do previsto para um circuito devido à diminuição da sua resistência.

**Transientes:** surtos de tensão elétrica com intervalo de tempo muito pequeno.



**Bimetálico:** estrutura composta de dois metais diferentes.

Há dois tipos de disjuntor: de ação térmica e eletromagnética.

#### a) Disjuntor térmico

Disjuntores térmicos são constituídos de um elemento térmico **bimetálico**, contatos e trava. A Figura 63.A ilustra um interruptor de proteção térmica e suas características externas são mostradas na Figura 63.B.

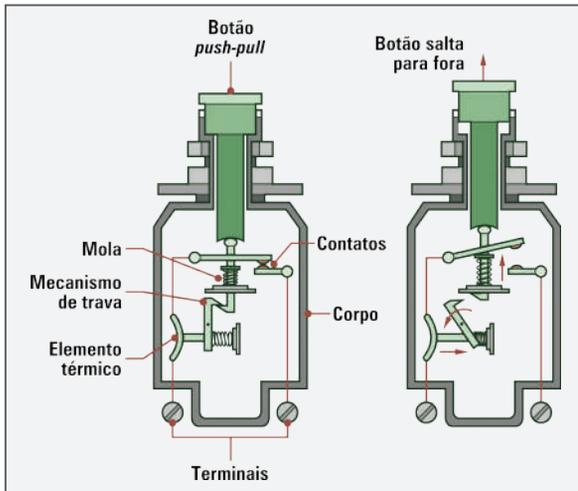


Figura 63.A - Disjuntor térmico esquema interno

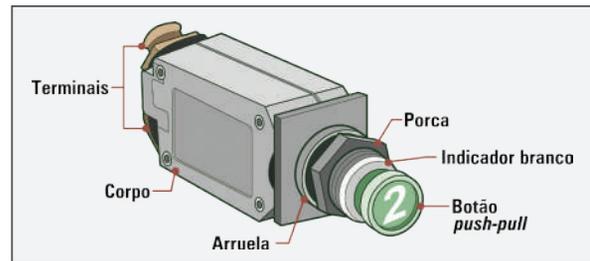


Figura 63.B - Disjuntor térmico componentes externos

#### b) Disjuntor eletromagnético

Disjuntor eletromagnético é essencialmente um relé com corrente que flui por meio de uma bobina. O campo magnético formado atrai um mecanismo que abre os contatos quando a corrente, mediante a bobina, ultrapassa um determinado limite. Neste ponto, o campo da bobina é forte o suficiente para abrir os contatos do disjuntor. A corrente que passa pela bobina é uma fração da corrente principal que passa pelos contatos do disjuntor.

O elemento térmico é um elemento bimetálico formado pela junção de dois materiais diferentes: quando uma corrente passa pelo dispositivo, provoca o seu aquecimento.

Se a corrente nominal é excedida, os contatos são abertos, interrompendo sua passagem. Na abertura dos contatos, o botão é empurrado para fora do disjuntor, um colar branco abaixo do botão fornece indicação visual da condição do disjuntor. Empurrando esse botão, é possível rearmar o disjuntor e, ao puxá-lo manualmente, é possível desarmá-lo. Esse procedimento é realizado quando se quer fazer manutenção do sistema que ele alimenta.

Os disjuntores devem estar localizados tão próximos quanto possível da fonte de energia. Eles são muitas vezes dispostos em grupos sobre os painéis.

Disjuntores podem ser simples ou multipolares. Dispositivos multipolares são usados em circuitos trifásicos de corrente alternada. Polos podem ser definidos como o número de circuitos que alimenta.

Várias configurações de disjuntor são instaladas em aeronaves, incluindo rearme automático, rearme automático/empurre para rearme, puxe para desarme e empurre para rearme e o tipo chave. As Figuras 64.A, B, C e D ilustram os respectivos símbolos elétricos de disjuntores.

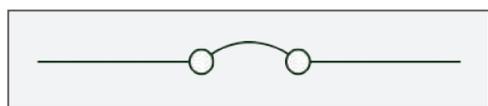


Figura 64.A - Rearme automático

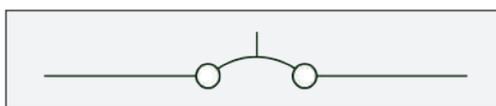


Figura 64.B - Rearme automático/empurre para rearme

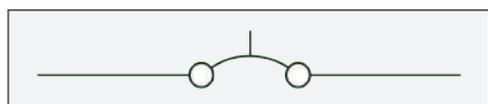


Figura 64.C - Puxe para desarme e empurre para rearme

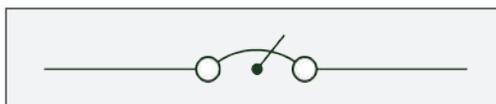


Figura 64.D - Tipo chave

O disjuntor *push-pull* (empurre para rearme e puxe para desarme) não fechará seus contatos enquanto não for resolvida a falha. Esse tipo de disjuntor é o preferido em aeronaves, especialmente em instalações novas.

## 6.1.2 Fusíveis

Os fusíveis são ligações de fio conectados em série com o circuito. Sua capacidade de transporte de corrente é predeterminada; quando sua capacidade nominal é excedida, eles derretem, interrompendo e isolando o circuito.

Os materiais usados para compor o fio ou elo do fusível incluem chumbo, liga de estanho e bismuto, cobre ou ligas de prata. A Figura 65 ilustra o elo do fusível, que está contido em um cilindro ou revestimento cerâmico (cartucho) para evitar que quaisquer partículas de metal quente possam causar danos secundários.

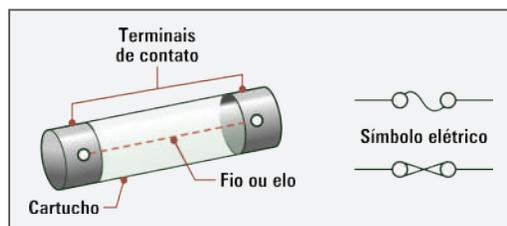


Figura 65 - Fusível e o seu símbolo elétrico

Os terminais do fusível são a parte que fazem o contato com a fiação do circuito. Porta-fusíveis são necessários, visto que acomodam os fusíveis e possuem forma adequada para serem fixados no painel de fusíveis. O porta-fusível pode indicar a condição de fusível, como, por exemplo, se o fusível está queimado. A tampa de indicação é preta com uma luz colorida integrada. Quando

o fusível queima, a tampa se ilumina e diferentes cores indicam as tensões de alimentação (Figuras 66.A, B e C).

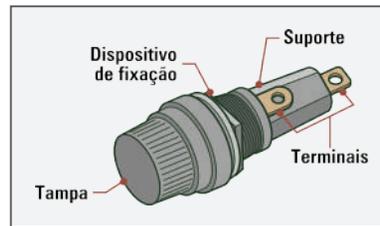


Figura 66.A – Porta-fusível

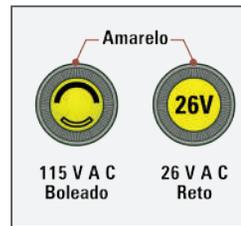


Figura 66.B - Tampa de identificação para corrente alternada

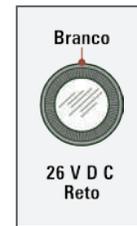


Figura 66.C - Tampa de identificação para corrente contínua

Fusíveis para grandes amperagens (normalmente proteção de circuitos com até 50 A de corrente ou mais) são construídos com um corpo cerâmico e terminais (Figuras 67.A e 67.B).

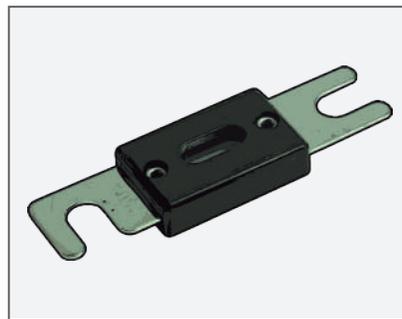


Figura 67.A - Fusível de grande capacidade

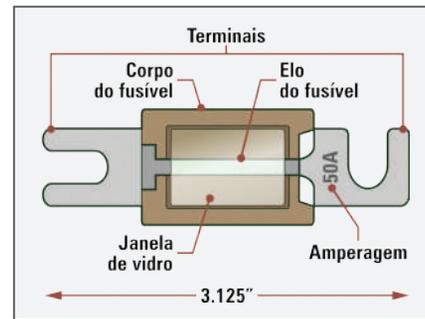


Figura 67.B - Esquema interno de um fusível de grande capacidade

Os fusíveis são artigos relativamente baratos, porém só podem ser usados uma vez. Em algumas aplicações, a construção física do elo é concebida para ter um tempo de atraso. Esse fusível é conhecido como fusível de retardo ou limitador de corrente.

Eles são feitos a partir de uma liga de cobre que tem um ponto de fusão mais elevado do que o chumbo e o estanho. Fusíveis de grande capacidade são usados em pontos de distribuição de energia, possuem mais de um filamento em paralelo e são fabricados em valores que vão até 500 A. Esse tipo de fusível possui reservatório para conter os detritos após a ruptura.

Há uma classificação para determinar a corrente máxima que os fusíveis podem transportar sem queimar. Em seu corpo, pode-se identificar a tensão de trabalho e a corrente máxima que transporta. Fusíveis são fabricados para correntes que vão de miliamperes a centenas de amperes. Essas classificações são facilmente encontradas nas tabelas fornecidas pelos fabricantes.

A temperatura ambiente afeta a classificação e o tempo de resposta de um fusível. Ele deve estar localizado perto de fonte de alimentação para minimizar o comprimento do fio, ao mesmo tempo em que tem de ser acessível para a substituição.

Fusíveis sobressalentes são necessários na aeronave e devem estar acessíveis à tripulação de voo. É requisito transportar 50% de cada classificação para servirem como peças de reposição.

Antes de substituir um fusível, deve-se investigar o motivo da queima e sempre consultar o esquema elétrico do sistema para verificar a classificação do fusível. Vibração e ciclos térmicos podem queimar o fusível, nesse caso, a simples substituição resolve.

## 6.2 Interruptores

Interruptores são um meio seguro de ligar e desligar um circuito. Quando o circuito tem uma grande demanda de corrente, eles são usados para acionar relés e contadores que alimentam esses circuitos.

Existem diversos tipos de interruptores e os mais usados em aviação são interruptores ou chaves, microinterruptores e interruptores de proximidade.

### 6.2.1 Interruptores ou chaves

Interruptores são chaves que abrem e fecham circuitos e são constituídos de um ou mais pares de contatos. A corrente no circuito flui quando os contatos estão fechados. Chaves com contatos momentâneos ativam temporariamente o circuito e retornam à sua posição normal com uma mola quando a chave é liberada. As chaves com contatos contínuos permanecem em posição quando ativadas.

Falhas na operação com chaves podem ser evitadas garantindo-se que sua instalação seja lógica e consistente. As chaves liga-desliga de duas posições devem ser montadas de maneira que a posição ligada seja obtida com a alavanca em posição para cima ou para frente. Quando as chaves controlam elementos móveis da aeronave, como trem de pouso ou *flaps*, a alavanca deve se mover na mesma direção do movimento desejado. O acionamento indesejado de uma chave pode ser evitado com a instalação de protetores sobre as chaves (Figura 68).

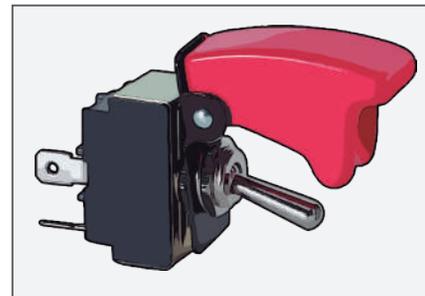


Figura 68 - Protetor de chave

Um interruptor especialmente projetado pode ser usado em todos os circuitos nos quais um mau funcionamento possa trazer risco. O interruptor tem constituição resistente e é capaz de interromper a corrente da carga conectada sem falhar. A potência da corrente nominal de uma chave de aeronave convencional é, em geral, estampada na própria chave.

O procedimento de teste de um interruptor é simples e pode ser feito com um ohmímetro ou voltímetro. Ao usar o ohmímetro, é necessário que a energia do circuito seja cortada ou o interruptor removido de sua posição. De posse do diagrama elétrico do circuito, é possível, usando o voltímetro, fazer medições para verificar a integridade do dispositivo.

Os interruptores são classificados pelo:

- número de polos;
- número de posições;
- tipo dos contatos (permanente ou momentâneo).

Um interruptor básico é ilustrado na Figura 69.A com suas características internas e, na Figura 69.B, com as externas.

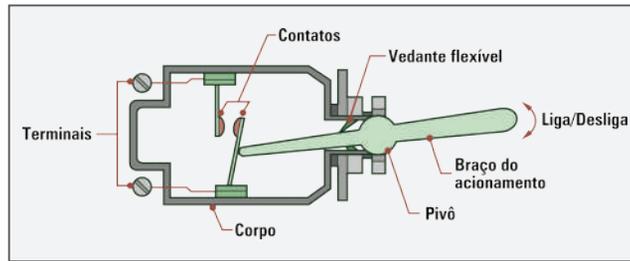


Figura 69.A - Constituição interna

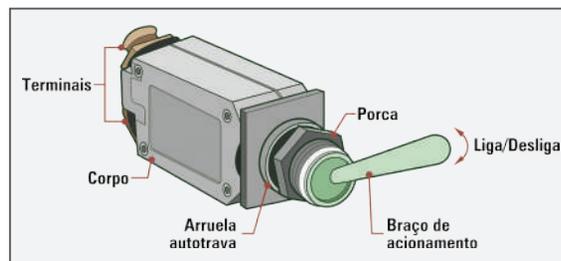


Figura 69.B - Características externas

Operando a alavanca (braço), os contatos abrem e fecham. Existem diversos modelos e modos de acionamento de um interruptor.

Os polos de um interruptor simples são formados pelas superfícies de contato que fazem a conexão do circuito. Os contatos de um interruptor podem ser abertos e fechados. No corpo do interruptor, está identificado NA (normalmente aberto) e NC (normalmente fechado). Um interruptor pode acionar um circuito ou mais, dependendo de como foi projetado.

Dessa maneira, o interruptor pode ser:

- um polo e uma posição - usado para conectar um circuito (Figura 70.A);

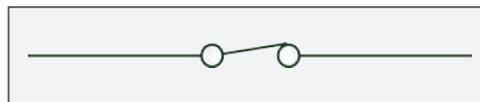


Figura 70.A - Interruptor um polo e uma posição

- um polo e duas posições - usado para conectar um circuito a outros dois possíveis (Figura 70.B);

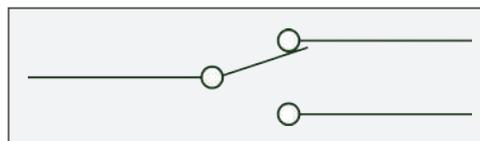


Figura 70.B - Interruptor um polo e duas posições

- dois polos e uma posição - pode conectar dois circuitos independentemente (Figura 70.C);

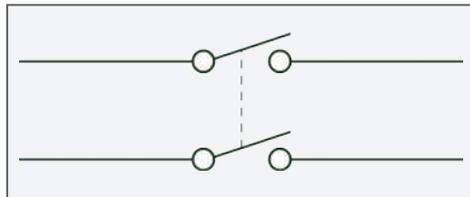


Figura 70.C - Interruptor dois polos e uma posição

- dois polos e duas posições - pode conectar dois circuitos independentemente a outros dois (Figura 70.D);

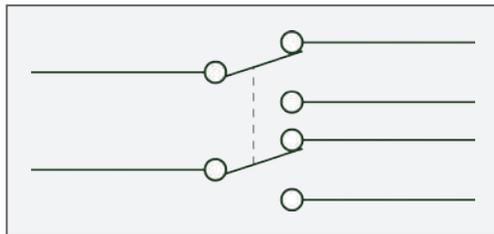


Figura 70.D - Interruptor dois polos e duas posições

- momentâneo normalmente aberto (Figura 70.E);

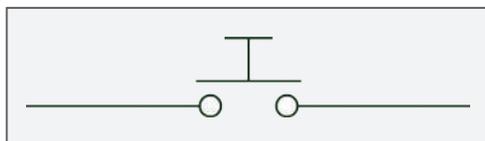


Figura 70.E - Interruptor momentâneo normalmente aberto

- momentâneo normalmente fechado (Figura 70.F).



Figura 70.F - Interruptor momentâneo normalmente fechado

Painéis de aeronave moderna utilizam interruptor com iluminação para exibir o *status* do sistema. Para iluminação interna, são usadas duas lâmpadas para **redundância**; a luz é projetada para fora através de filtros coloridos. Esses interruptores podem ser usados de várias maneiras, por exemplo, para mostrar o sistema ligado ou desligado.

O interruptor pode ser momentâneo ou contínuo. Interruptores momentâneos são usados em circuitos automáticos e semiautomáticos, em que apenas um pulso é necessário para início de funcionamento ou término. Já o interruptor contínuo, depois de acionado, mantém os estados dos contatos até que um novo acionamento ocorra.



**Redundância:** em aviação, consiste em ter mais de um dispositivo executando a mesma função.

A Figura 71.A mostra um interruptor momentâneo usado em aeronave. Já a Figura 71.B mostra como é seu esquema elétrico. E, por fim, a Figura 71.C ilustra as características externas de um interruptor momentâneo.



Figura 71.A - Interruptor com iluminação aplicação típica

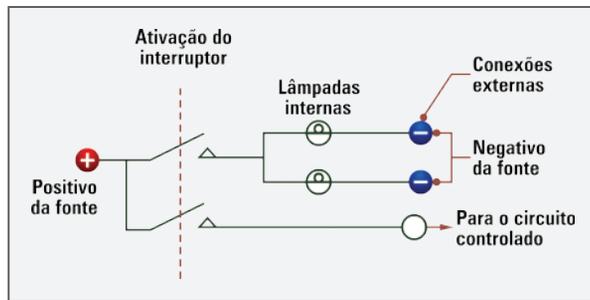


Figura 71.B - Esquema elétrico

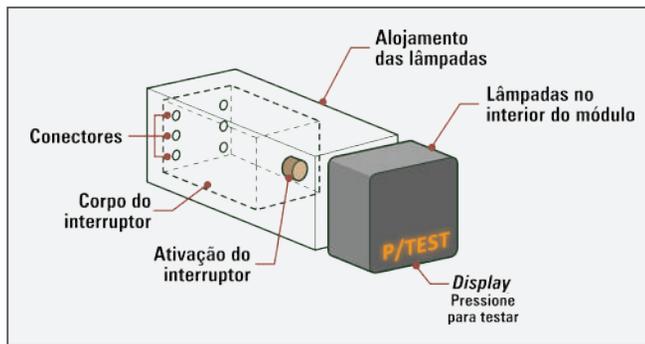


Figura 71.C - Características externas

## 6.2.2 Microinterruptor, *micro switch* ou *micro*

O microinterruptor é conhecido pelo seu nome em inglês *micro switch* ou, simplesmente, *micro*. É usado para perceber se um dispositivo foi movido ou atingiu seu limite de curso, por exemplo, o mecanismo do trem de pouso.

A Figura 72.A ilustra o esquema elétrico e a Figura 72.B, a montagem de um microinterruptor.

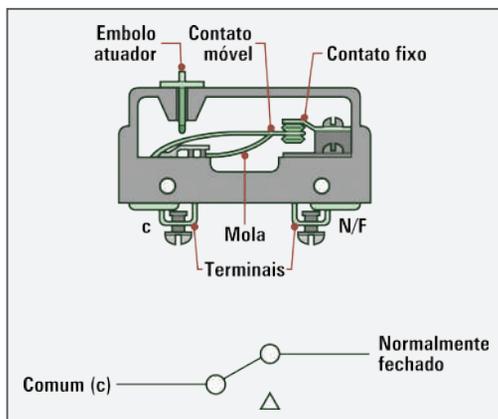


Figura 72.A - Vista interna e símbolo elétrico

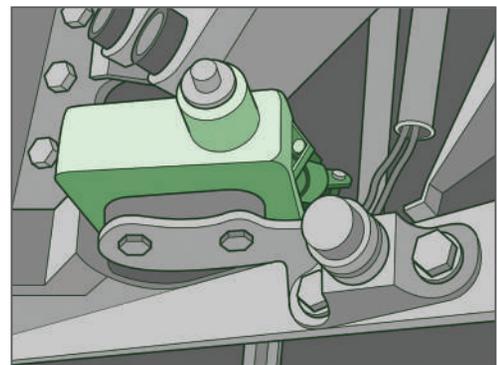


Figura 72.B - Montagem típica

A distância percorrida pela armadura entre repouso e acionamento é medida em milésimos de polegada, daí o nome micro.

Microinterruptores são fixados à estrutura e a fiação ligada ao circuito de controle. Um exemplo é a micro de segurança do trem de pouso, que é fixada a este e é acionada pelo peso do avião. Em solo, impede o recolhimento indevido do trem de pouso.

Microinterruptores são usados para detectar o deslocamento mecânico de uma variedade de dispositivos, que podem ser:

- superfícies de controle;
- trem de pouso;
- cápsulas de pressão;
- sensores de temperatura bimetálicos;
- temporizadores mecânicos.

### 6.2.3 Interruptores de proximidade

Interruptores de proximidade executam a mesma função dos microinterruptores. Eles não são acionados pela presença do objeto por meio da interrupção de um circuito magnético.

Existem dois tipos de sensores de proximidade: o interruptor de lâminas (*reed switch*) e o dispositivo em estado sólido.

#### a) *Reed switch*

O dispositivo de comutação com lâminas (*reed witch*) é composto por duas seções hermeticamente fechadas, como se pode ver nas Figuras 73.A e 73.B. Uma seção (atuador) contém um ímã e a outra seção (sensor) contém uma armadura de lâminas com contatos banhados a ródio. O arranjo usual é colocar a unidade sensora fixada na estrutura da aeronave; o atuador é fixado ao item a ser monitorado, como, por exemplo, uma porta. Quando a distância entre o sensor e o atuador atinge uma distância predeterminada, os contatos fecham completando o circuito. Os contatos voltam a abrir quando o atuador se afasta.

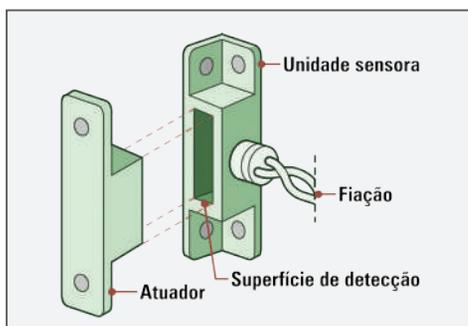


Figura 73.A - Arranjo usual de um *reed switch*

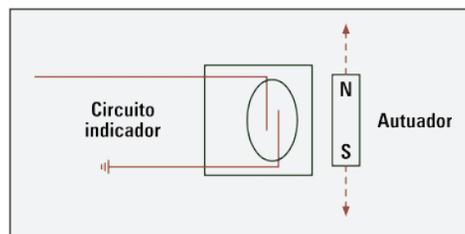


Figura 73.B - Esquema elétrico de um *reed switch*



**Reed switch:** tipo de interruptor que é formado por lâminas e tem acionamento por campo magnético.

O interruptor de proximidade de estado sólido é baseado em uma rede de indutância e objeto de aço, conforme ilustrado nas Figuras 74.A e 74.B. Essa rede de indutância é o estágio de entrada de uma unidade de comutação eletrônica e está incorporada ao atuador.

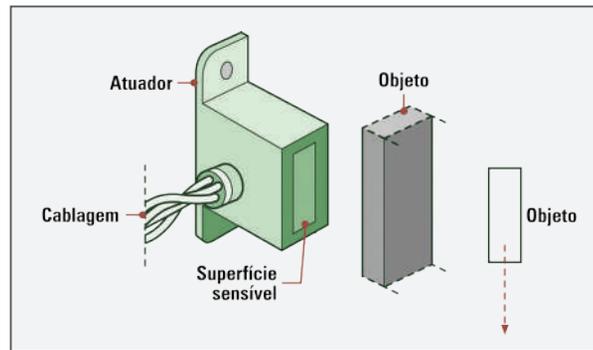


Figura 74.A - Montagem de um interruptor de proximidade

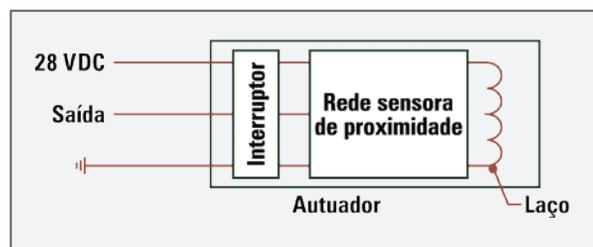


Figura 74.B - Esquema elétrico de um interruptor de proximidade



**Transistores:** componente eletrônico de três terminais que substituiu as válvulas eletrônicas.

Quando o alvo se aproxima da bobina, afeta o seu campo magnético. Um circuito eletrônico determina quando o campo magnético alcança o nível determinado. A vantagem óbvia desse tipo de interruptor é que não há contato móvel, portanto, há maior confiabilidade.

## 6.3 Relés

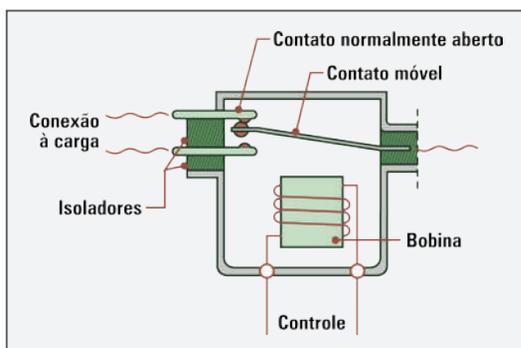


Figura 75 - Ligações elétricas em um relé eletromecânico

Relés são dispositivos eletromecânicos, ou do estado sólido, utilizados para conectar cargas a partir de uma fonte remota. Os relés eletromecânicos possuem um núcleo fixo e uma placa móvel com contatos, enquanto os relés de estado sólido funcionam com **transistores** e não têm partes móveis.

A Figura 75 mostra o esquema de um relé eletromecânico.

A corrente que flui através da bobina de um relé eletromagnético gera um campo magnético que atrai uma alavanca e altera os contatos da chave. A corrente da bobina pode ser ligada ou desligada, permitindo aos relés terem duas posições de chave: contatos normalmente abertos e normalmente fechados.

O relé é um interruptor operado eletricamente e está sujeito à condição elétrica do sistema. Os relés permitem o controle de circuitos que estejam completamente separados. Por exemplo, um circuito de corrente contínua de baixa voltagem pode acionar um relé para controlar um circuito de corrente alternado trifásico de 115 volts. Não há conexões elétricas dentro do relé entre os dois circuitos, a ligação é magnética e mecânica.

Os contatos de um relé podem ser normalmente abertos ou fechados e, no corpo do relé, em geral, aparecem as iniciais NA para normalmente aberto e NC para normalmente fechado. O número de circuitos que podem ser ligados por uma única operação do relé é chamado de posição. A classificação dos contatos do relé é semelhante aos interruptores, diferindo no modo de acionamento.

A forma mais simples de relé seria de único polo (unipolar) e uma posição (SPST). As configurações encontradas em aeronaves são:

- um polo e uma posição (Figura 76.A);
- um polo e duas posições (Figura 76.B);
- dois polos e uma posição (Figura 76.C);
- dois polos e duas posições (Figura 76.D);
- de alta corrente ou contator (Figura 76.E).

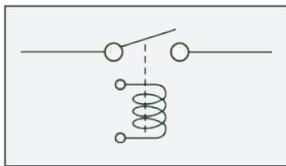


Figura 76.A - Relé um polo e uma posição

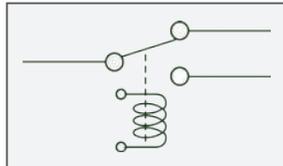


Figura 76.B - Relé um polo e duas posições

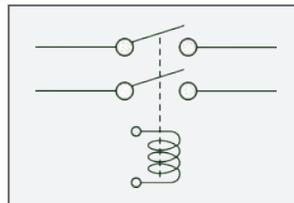


Figura 76.C - Relé dois polos e uma posição

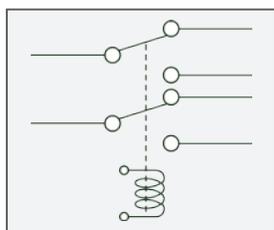


Figura 76.D - Relé dois polos e duas posições

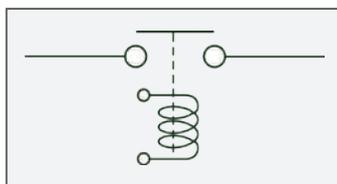


Figura 76.E - Contator

Existem diversos tipos de relé: desde os que são usados em aplicações de baixa corrente como aqueles utilizados em alta demanda de corrente. Os relés mais empregados em aeronaves são os contatores, relés de lâminas, relés de retardo e os relés polarizados, que serão explicados a seguir.

### 6.3.1 Contatores

São usados em aplicações em que a demanda de corrente é elevada, como, por exemplo, ligar a energia da bateria para a aeronave. Diferem dos relés de baixa corrente, pois têm uma construção física diferente.

Nas características de um contator, estão incluídos, além dos contatos principais, capazes de sustentar alta demanda de potência, contatos auxiliares, utilizados para indicação e controle de outro dispositivo. Por exemplo, o contator de fonte externa possui contatos auxiliares que desconectam automaticamente a bateria da barra, garantindo, assim, que só a fonte externa está alimentando a aeronave.

### 6.3.2 Relés *reed* (lâminas)

São usados em aplicações de circuitos de controle. Encontram-se geralmente dentro dos componentes, por exemplo, montado sobre placas de circuitos impressos. A Figura 77 ilustra os princípios de um relé de palheta de forma externa (A) e interna (B).

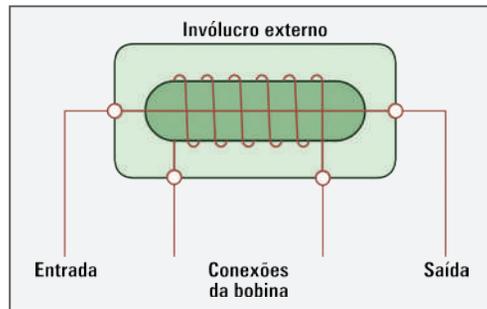


Figura 77.A - Relé de lâminas esquema externo

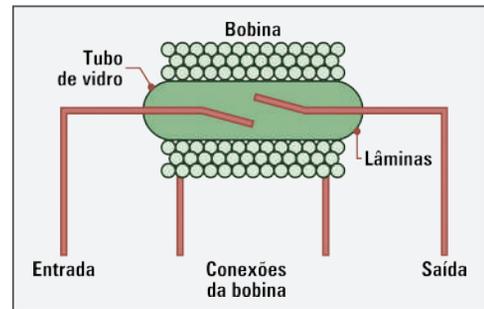


Figura 77.B - Relé de lâminas esquema interno

Quando a bobina de um relé de lâmina recebe corrente, um campo magnético é criado, fechando as lâminas que funcionam como contatos.

### 6.3.3 Relé de retardo

Esses relés atrasam o tempo de fechamento dos contatos e são necessários em aplicações especiais. O atraso na abertura e no fechamento dos contatos é conseguido por uma segunda bobina enrolada em torno da bobina principal.

As bobinas são montadas de maneira que o fluxo magnético na bobina principal se oponha ao fluxo magnético na bobina secundária; porém, a bobina principal possui o campo maior e fecha seus contatos no tempo predeterminado.

### 6.3.4 Relés polarizados

Estes relés são utilizados em circuitos de controle com tensões ou correntes muito baixas. O relé é extremamente sensível e pode responder aos níveis de corrente em miliamperes ou tensões muito baixas. Esse nível baixo frequentemente não é adequado para o dispositivo de armadura por mola convencional, pois os contatos podem vibrar provocando eletroerosão e manutenção prematura. Relés polarizados usam forças magnéticas para atrair e repelir a armadura em vez de uma mola.

Os contatos em relés e contatores são feitos de liga de prata. Os contatos precisam suportar a corrente sem aquecer e provocar queima. Os problemas de falha associados a contatos incluem erosão, corrosão e colagem dos contatos.

Um teste típico para contatores de alta capacidade é medir a queda de tensão sobre os contatos quando a corrente máxima suportada é aplicada entre os terminais. Como exemplo, segundo determinado fabricante, um contator de 200 A, quando submetido a essa corrente, suporta queda de tensão admissível de 120 mV.

## Resumindo

Dispositivos de segurança são instalados próximos às fontes de força para proteção contra curtos-circuitos e excessos de consumo a que venham provocar danos aos equipamentos e a cablagens. Os dispositivos utilizados são os fusíveis e disjuntores, fabricados em diversas especificações e para uma infinidade de aplicações.

Interruptores são um meio seguro de ligar e desligar circuitos. São capazes de controlar um circuito simples ou composto no mesmo comando por meio de seus contatos, que apresentam diversas configurações. Relés são interruptores comandados eletricamente. São capazes de controlar desde pequenas correntes até cargas de alta energia, como as chaves, que também apresentam diversas configurações de contatos.



# Capítulo 7

## Sistema de iluminação de aeronaves

A iluminação é instalada em uma aeronave por segurança, necessidades operacionais, luzes de manutenção e para conveniência dos passageiros. As aplicações de luzes de aeronaves podem ser agrupadas em áreas: luzes externas (posição, anticolisão, luzes de pouso, táxi e inspeção das asas) e luzes internas (cabine de voo, cabine de passageiros, compartimento de carga e compartimento de equipamentos elétricos).

Existem diversas tecnologias de iluminação utilizadas em uma aeronave. Luzes são controladas por interruptores liga/desliga, resistências variáveis ou por circuitos de controle eletrônico.

A iluminação da aeronave é baseada em uma série de tecnologias, a saber:

- incandescente - a luz é produzida pelo aquecimento de um filamento no interior de um bulbo onde existe um vácuo. O filamento é um pequeno pedaço de fio de tungstênio que, submetido a uma tensão, aquece, emitindo luz. O tungstênio é usado, pois tem um ponto de fusão elevado e pode ser moldado em espessura muito fina;
- eletroluminescente - a luz é produzida pelo impacto de corrente contra um material semicondutor ou pela ação de um forte campo magnético sobre material de fósforo;
- LED - díodos emissores de luz (LED) são largamente utilizados em aeronaves modernas em iluminação e indicadores de uso geral. Quando comparado com lâmpadas de incandescência convencionais, operam a partir de tensões e correntes significativamente menores. Os LED também são muito mais confiáveis do que as lâmpadas de filamento e a maioria deles fornece uma quantidade razoável de luz quando é aplicada uma corrente direta entre 5 e 20 mA;
- fluorescência - as lâmpadas fluorescentes são dispositivos que produzem luz pela ionização de gás no interior de um tubo selado de vidro, revestido com fósforo em seu interior. O tubo de vidro contém vapor de mercúrio misturado com um gás inerte, como argon ou neon. A lâmpada usa uma alta voltagem para energizar o vapor de mercúrio. Essa ação resulta em gás ionizado, em que os elétrons são separados a partir do núcleo dos seus átomos, criando um plasma. A radiação ultravioleta gerada na ionização é que produz a luz;
- luzes estroboscópicas - consiste em pequenos tubos de quartzo ou vidro pequenos selados contendo gás xenônio. A tensão da barra DC 28V da aeronave é elevada para 300 V a 600 V a fim de ser aplicada ao xenônio, que, quando ionizado, produz luz intensa.

### 7.1 Luzes internas

Uma iluminação interna é necessária para a visualização dos instrumentos, interruptores e painéis. As principais luzes internas são:



**Tungstênio:** metal que possui maior ponto de fusão e ebulição da natureza.

**Plasma:** estado físico de um gás que foi ionizado.

**Radiação ultravioleta:** radiação eletromagnética invisível que pode causar danos por exposição prolongada.

**Ionização:** processo no qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons.

- luzes de cúpula localizadas no teto, que fornecem distribuição direcional da luz no compartimento. Contêm uma lâmpada incandescente e são alimentadas pelo barramento do gerador, bateria ou fonte externa;
- projetores de luz localizados no compartimento de voo são providos de lâmpadas incandescentes ou fluorescentes e fornecem iluminação geral de instrumentos, painéis, pedestais, etc.;
- luzes de emergência são instaladas no compartimento de voo. A cor das luzes do compartimento de voo é branca, isso reduz a potência, e o calor melhora o contraste nos instrumentos, minimizando a fadiga ocular;
- os instrumentos possuem iluminação interna, feita com lâmpadas incandescentes. Essa iluminação deve oferecer blindagem para evitar que a luz incida diretamente nos olhos do piloto e, também, ter regulagem de brilho;
- iluminação externa para o instrumento e painéis, provida por pequenos pilares ou postes que direcionam a luz individualmente para o instrumento ou interruptor. Geralmente, esses postes são providos de lâmpada incandescente e possuem regulagem de brilho.

O controle de luminosidade é feito por um reostato, conforme apresenta a Figura 78. O reostato funciona ligado em série com a lâmpada, aumentando ou diminuindo a resistência do circuito e, conseqüentemente, diminuindo ou aumentando a luminosidade.

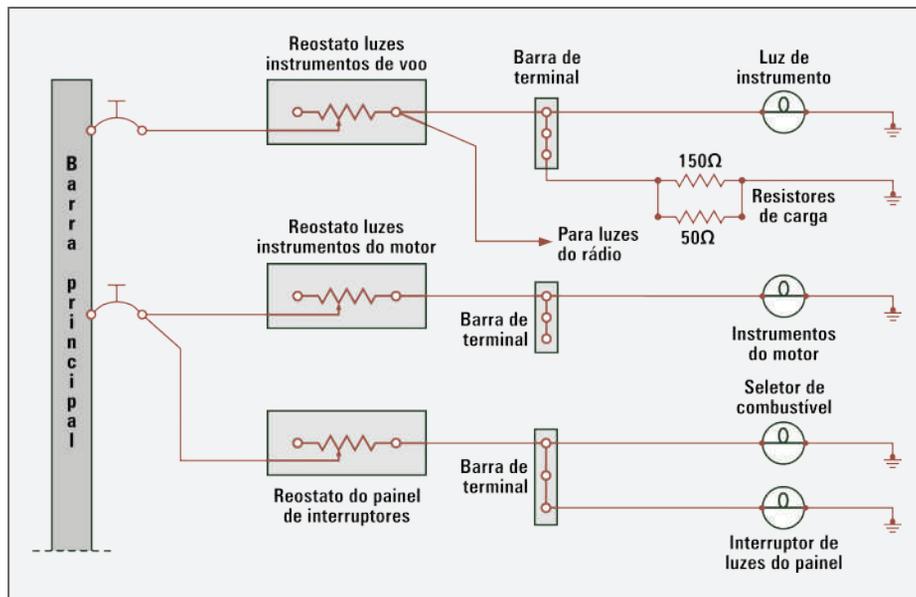


Figura 78 - Reostato de controle de luminosidade

Quando o consumo é alto, o controle será para vários instrumentos. Ele requer um circuito eletrônico, visto que um reostato gera muito calor para cargas maiores. Um circuito com transistor fornece controle eletrônico, de acordo com a Figura 80. O resistor variável (R2) da Figura 79 oscila uma pequena corrente de base do transistor PNP, que controla a corrente (relativamente

alta) para o meio do seu coletor e a lâmpada. Um circuito semelhante a esse pode alimentar lâmpada de alto consumo ou várias lâmpadas em paralelo.

Um sistema de iluminação típico controlado por transistor é apresentado na Figura 79. As correntes de base relativamente baixas nos respectivos transistores podem controlar uma variedade de circuitos de iluminação, como sistemas de radionavegação, bússola, painel de combustível, indicações do motor entre outros.

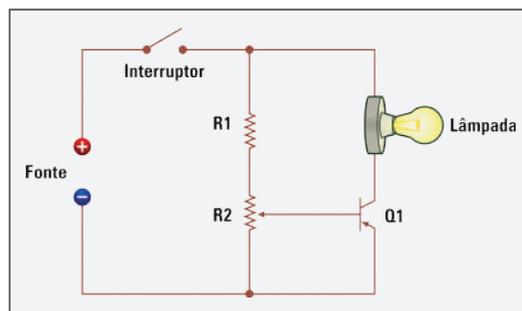


Figura 79 - Controle eletrônico de luminosidade

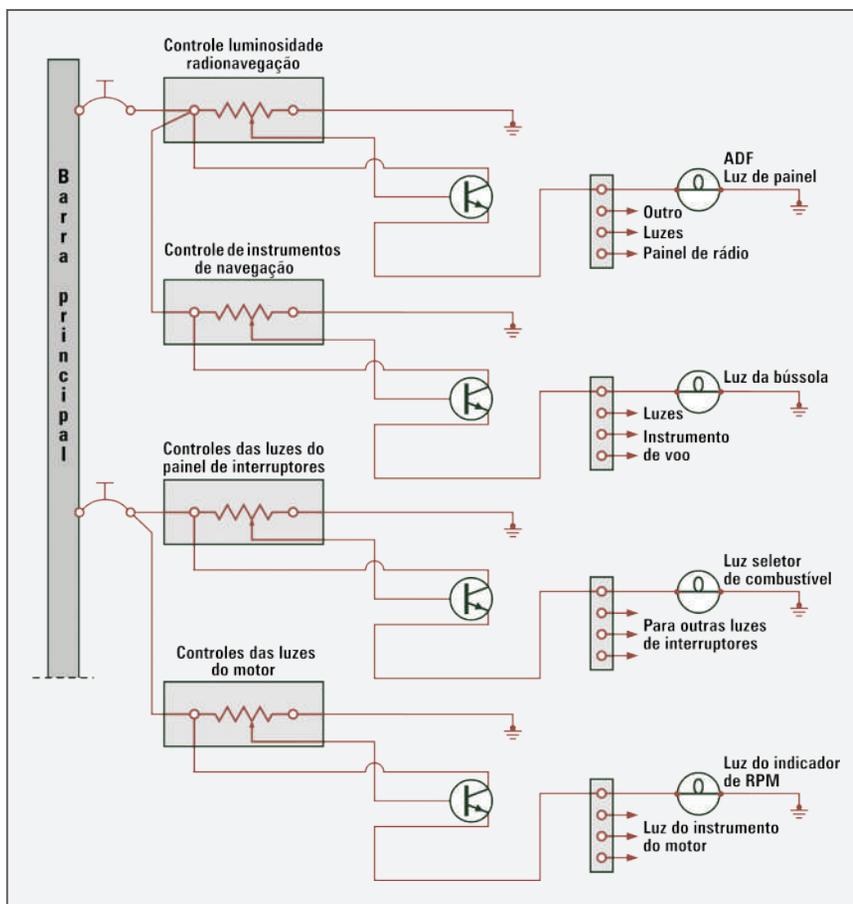


Figura 80 - Exemplo de controle de luzes do painel

Painéis de instrumentos, geralmente, são construídos a partir de acrílico. A superfície é pintada e então gravada com a identificação de interruptores e controles, o painel é iluminado nas bordas. A luz é dispersa pelo painel, mas só é vista por meio das gravuras.

De forma alternativa, painéis eletroluminescentes são usados e alimentados com energia corrente alternada (CA), de acordo com a Figura 81. Uma camada laminada de fósforo é localizada entre duas camadas de plástico transparente. O material do fósforo brilha quando

alimentado com CA. A frente do painel é pintada para combinar com a cor dos outros painéis. Letras ou símbolos permanecem claros e transmitem luz da camada de fósforo brilhante.

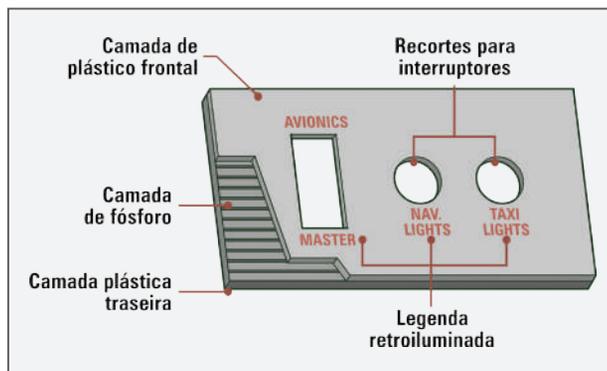


Figura 81 - Painel de iluminação de fósforo

- *master warning* - um número crescente de sistemas está sendo projetado em aeronaves, o que leva a mais luzes de aviso e painéis maiores. As luzes de advertência são agrupadas em painel próprio e, para que uma luz de emergência não seja despercebida, foi criada a *master warning* (advertência mestre) que, se destacada no painel de alarmes, pisca e emite avisos sonoros para alertar quando alguma luz de emergência acender. Após tomar ciência da emergência, o piloto pode cancelar a advertência mestre (*master warning*), pressionando a legenda da luz enquanto investiga a falha.

Os sistemas de advertência mestre foram desenvolvidos para facilitar o trabalho do piloto, particularmente em aviões concebidos para funcionamento sem um mecânico de voo. Painéis típicos podem ter até 50 luzes de advertência individuais, nos quais qualquer aviso de falha acenderá a luz correspondente e a luz de aviso mestre. As luzes individuais identificam os sistemas e podem ser localizadas no painel superior ou lateral.

As luzes de advertência podem ser testadas por um interruptor de teste, localizado no próprio painel de alarmes. Um interruptor ou reostato permite ao piloto modificar o brilho das luzes, adequando a iluminação ao dia ou à noite. A Figura 82 mostra a localização do painel de alarmes em uma aeronave.

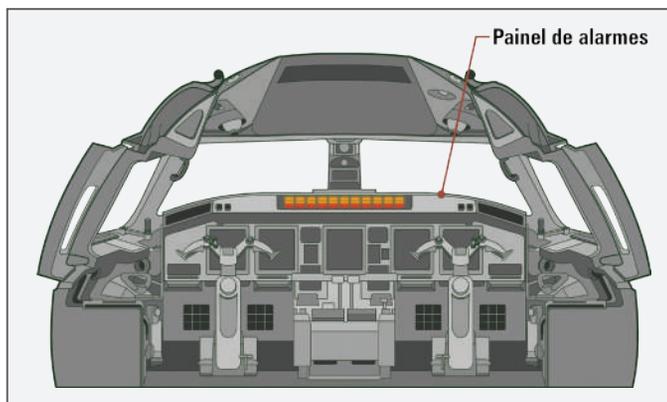


Figura 82 - Localização do painel de alarmes

As luzes de advertência são definidas em cores para agilizar a interpretação:

- vermelho - existe uma condição insegura;
- âmbar - existe uma condição anormal, mas não é inseguro;
- verde - uma condição segura é indicada, como, por exemplo, o aviso de trem de pouso embaixo e travado.

As instalações de iluminação para o interior da cabine de passageiros variam dependendo do tamanho da aeronave. No mínimo, são instalados pontos de iluminação no teto feitos de lâmpadas incandescentes ou LED.

Um sistema de luzes de emergência é localizado no chão para facilitar a evacuação da aeronave.

## 7.2 Luzes externas

Uma visão geral da disposição de iluminação exterior em um grande avião de passageiros está representada nas Figuras 83.A e 83.B. A iluminação exterior é utilizada para:

- luzes de navegação (posição);
- luzes de anticolisão;
- farol de aterragem (pouso);
- farol de táxi;
- luzes de inspeção das asas.

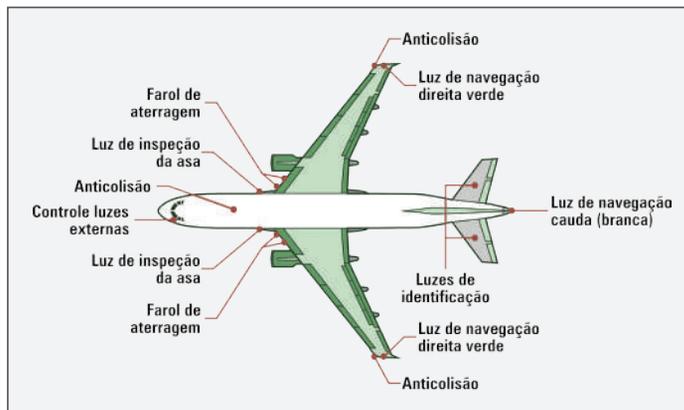


Figura 83.A - Vista superior das luzes externas



Figura 83.B - Vista lateral das luzes externas

## 7.3 Luzes de posição

Por exigência legal, luzes de posição ou navegação são instaladas em aeronaves. Elas são incandescentes e funcionam continuamente. Ficam localizadas nos extremos da aeronave (Figura 84) e fornecem uma indicação de direção e manobras do avião. Luzes de navegação seguem regulamentação que define cor, localização e feixe de divergência, com o objetivo de tornar a aeronave visível em qualquer ângulo de visão.

As cores e os ângulos de divergência são:

- verde - asa direita com divergência de 110 graus;
- vermelho - asa esquerda com divergência de 110 graus;
- branco - cauda com divergência de aproximadamente 70 graus para cada lado do eixo da aeronave, totalizando 140 graus.

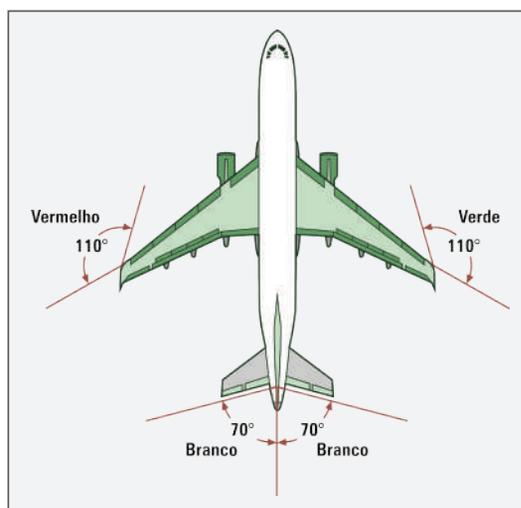


Figura 84 - Luzes de posição (navegação)

As lâmpadas usadas têm luzes de posição incandescentes de 20 W nas asas e 10 W no cone de cauda. Filtros coloridos produzem as cores específicas. Esses filtros não devem encolher, desvanecer ou tornarem-se opacos. Um circuito elétrico típico é apresentado na Figura 85.

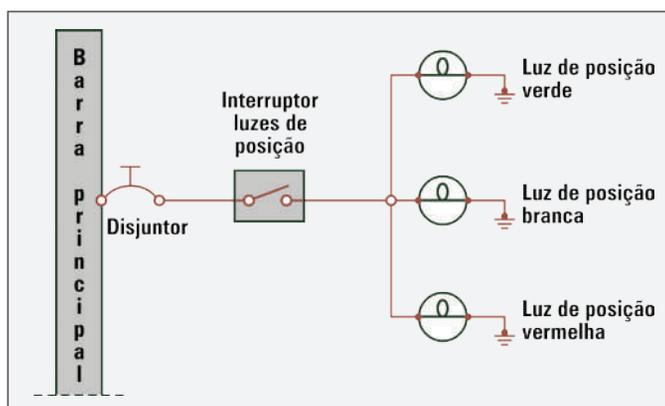


Figura 85 - Circuito elétrico de luzes de posição

As luzes de posição são controladas por um único interruptor e dispositivo de proteção. Algumas aeronaves usam LED em vez de lâmpadas incandescentes, vários LEDs são ligados um próximo ao outro para compor uma unidade (lâmpada), ilustrado na Figura 86.

A instalação de luzes de posição em helicópteros ocorre de modo diferente das aeronaves devido à sua geometria. Como as asas do helicóptero são rotativas, as luzes são instaladas nas portas e na cauda.

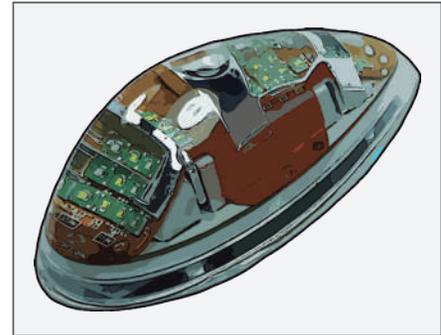


Figura 86 - LED usados em luz de posição

## 7.4 Luzes de anticolisão

Luzes de anticolisão são complementares às luzes de posição e podem ser formadas a partir de luz estroboscópica ou dispositivo rotativo com lâmpadas incandescentes ou, ainda, a combinação dos dois.

Luzes anticolisão são usadas também para avisar que os motores estão em operação ou prestes a iniciar. Elas permanecem ligadas até que seja considerado seguro para o pessoal de terra se aproximar da aeronave.

Luzes anticolisão normalmente podem ser localizadas da seguinte maneira:



Figura 87.A - Anticolisão no estabilizador vertical



Figura 87.B - Anticolisão nas pontas das asas



Figura 87.C - Anticolisão na ponta das asas e no estabilizador horizontal



Figura 87.D - Anticolisão na fuselagem

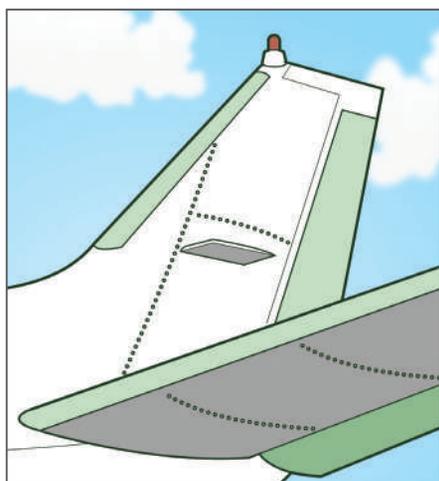


Figura 88 - Dispositivo rotativo (anticolisão) no topo do estabilizador vertical



**Estabilizador vertical:** estrutura localizada na parte de trás da aeronave que tem a função de estabilizar a aeronave verticalmente.

Nos dias de hoje, é comum encontrar em aeronaves luzes anticolisão do tipo luz estroboscópica. A lâmpada consiste em um tubo de vidro vedado contendo gás xenônio, um gás nobre, quimicamente estável e muito usado por produzir luz intensa. A Figura 89 mostra uma lâmpada usada na ponta de asa.

Aplicando uma alta tensão entre os eletrodos, a mistura de gás xenônio emite luz por radiação ionizante. A Figura 90 ilustra um circuito típico de luz estroboscópica. O sistema é composto de fonte e lâmpada.



Figura 89 - Anticolisão tipo estroboscópica de ponta de asa

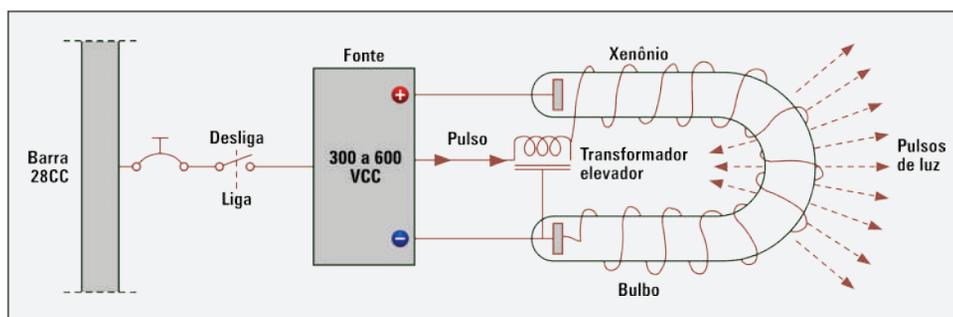


Figura 90 - Esquema elétrico de luz anticolisão

A função da fonte (Figura 91) é transformar a tensão baixa da barra de alimentação da aeronave em uma tensão muito alta (300 a 600 VCC) acumulada em capacitores. Essa tensão é aplicada aos eletrodos da lâmpada. A fonte também produz pulsos de curta duração que são aplicados a um transformador elevador, existente na própria lâmpada e responsável pela ionização do gás. Quando ocorre o pulso, o gás ioniza. Nessa condição, o xenônio tem resistência baixa e uma

corrente elevada passa por ele, produzindo luz. Esse processo dura enquanto houver carga nos capacitores; se os capacitores estiverem descarregados, o xenônio volta à condição normal.



Figura 91 - Fonte usada em anticolisão  
 Fonte: Foto do autor / © Cláudio Haro Pinto

Em outras palavras, a fonte cumpre o papel de carregar os capacitores e enviar pulso de tensão para ionizar o gás. A frequência desses pulsos determina a quantidade de piscas do anticolisão, podendo variar de 40 a 70 vezes por minuto, geralmente.

## 7.5 Luzes de pouso

Luzes de pouso estão localizadas nas pontas das asas ou na parte dianteira da fuselagem, em ângulos fixos para iluminar a pista. São dispositivos selados com lâmpadas incandescentes de 600 a 1.000 watts; um refletor parabólico concentra a luz em um feixe direcional. A alta potência exige o controle por meio de um relé.

Algumas aeronaves têm o farol de aterragem retrátil localizado no lado inferior da asa (subalar). Esse dispositivo tem um motor e um mecanismo com engrenagem reversível para estender e recolher o farol de aterragem; um circuito típico é apresentado na Figura 92.

Outra localização para a luz de pouso é no bordo de ataque da asa. O farol fica em um dispositivo embutido na asa com cobertura transparente que acompanha a aerodinâmica da asa. Faróis de aterragem subalar e no bordo de ataque também estão apresentados na figura a seguir.

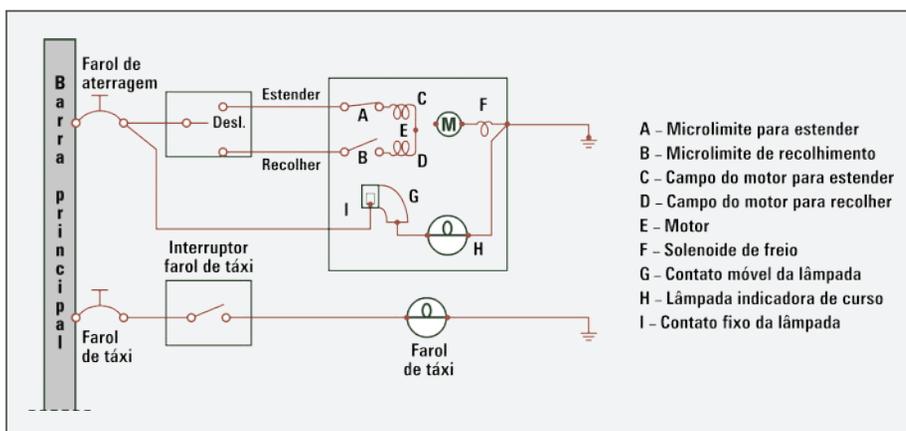


Figura 92 - Circuito de farol de aterragem e farol de táxi

## 7.6 Luzes de táxi

O farol de táxi é utilizado durante as manobras no pátio de estacionamento e acesso à pista de rolagem, durante os pousos e as decolagens. O farol de táxi possui uma lâmpada incandescente, cuja potência está em torno de 250 watts. Normalmente, fica localizado na perna do trem auxiliar (nariz).

O sistema de iluminação externa, referente ao farol de táxi e de aterragem, trabalha associado, ou seja, quando se comanda o farol de aterragem, o farol de táxi também funciona, aumentando-se a área de iluminação da pista.

## 7.7 Luzes de inspeção das asas

Luzes de inspeção das asas (Figura 93) são instaladas para verificar a formação de gelo nos bordos de ataque das asas e entradas do motor. São dispositivos selados com lâmpadas incandescentes de 50 a 250 watts.

Estão localizadas em compartimento na fuselagem ou nacele do motor com o foco predefinido iluminando uma seção da asa que pode ser vista da cabine de voo.



Figura 93 - Luzes de aterragem e luzes de inspeção das asas

## 7.8 Luzes de identificação

As luzes de identificação são usadas para iluminar a cauda. Elas são empregadas, principalmente, para fins promocionais, ou seja, para a companhia aérea destacar seu logotipo durante operações noturnas em um aeroporto.

## Resumindo

A iluminação em uma aeronave visa a atender a necessidades operacionais, à segurança, às luzes de manutenção e ao conforto dos passageiros. Existe um número razoável de tecnologias aplicadas à iluminação como luzes incandescentes, estroboscópicas, eletroluminescência e, cada vez mais, são usados os LED (diodos emissores de luz).

As luzes estão agrupadas em áreas internas e externas. O sistema de iluminação interna proporciona a iluminação dentro da cabine de pilotagem e da cabine de passageiros. O sistema elétrico de iluminação externa permite a identificação da aeronave, indicação de atitude, de posição e a área de operação de táxi de pouso e decolagem.



# Capítulo 8

## Inspeção e manutenção dos sistemas de iluminação

A inspeção do sistema de iluminação de uma aeronave inclui a checagem das condições e segurança da fiação, conexões, terminais, fusíveis, relés e interruptores de controle.

Um multímetro deve ser usado para checar continuidade de lâmpadas, interruptores e fusíveis, já que a origem de muitos problemas pode ser localizada por meio do teste sistemático de cada circuito em busca de continuidade.

Basicamente, o mecânico de manutenção de aeronaves deve ter em mãos o diagrama de fiação elétrica e um multímetro, com certificado de **calibração** em dia.

O multímetro é a principal ferramenta para checagem em sistemas elétricos. Ele é o agrupamento de vários instrumentos no mesmo console, tais como voltímetro, ohmímetro, amperímetro, teste sonoro de continuidade, etc.

No passado, o técnico usava uma lâmpada de teste para verificar continuidade, mas hoje o custo de um bom instrumento é compensado com agilidade e segurança nas verificações.

De posse do diagrama elétrico e um multímetro, os testes devem seguir uma rotina predeterminada, como segue: lâmpadas, fusíveis, relé, conectores, fiação elétrica, interruptores. Geralmente, lâmpadas e fusíveis são mais propensos a falhas, mas a principal razão para se ter uma sequência de procedimentos é não repetir tarefas quando se tratar de sistemas complexos.

### 8.1 Testes em lâmpadas

Lâmpadas incandescentes podem facilmente ser verificadas quanto à integridade de seus filamentos. Com o ohmímetro, ou teste de continuidade do multímetro, verifica-se a resistência do filamento, que deve ser muito baixa. Lâmpadas queimadas apresentam resistência infinita (valor alto demais) entre os terminais.

Os LEDs podem ser testados com o ohmímetro ou com teste de díodos do multímetro. Alguns multímetros possuem teste para LED, que consiste em um circuito simples de polarização que faz o LED emitir luz. Com o ohmímetro, é possível verificar a integridade da junção do LED. Tocando o terminal negativo do instrumento no catodo, e o terminal positivo no anodo do LED, a resistência deve ser baixa. Ao inverter as pontes, a resistência medida deve ser muito alta ou marcar infinito.

Ao substituir um LED defeituoso, deve-se observar a polaridade, pois ele precisa ser corretamente polarizado para funcionar. Como seu catodo é negativo e o anodo é positivo, uma polarização inversa pode danificá-lo definitivamente. Os LEDs não são ligados diretamente à fonte de força, pois queimam. Assim, eles em geral são ligados em série com um resistor ou



**Calibração:** em instrumentos elétricos, consiste no processo de comparar os valores lidos em instrumento com valores padrões gerados por equipamentos de altíssima precisão.

circuito denominado LED *drive* (fonte para LED), cuja função é limitar a corrente para o LED. Quando o limitador é um resistor, basta medir sua resistência. Se for um LED *drive*, pode-se medir a tensão em sua saída que deve estar em torno de 1,6 a 2,7 *volts*, dependendo da cor do LED (valores de tensão são encontrados em diagramas elétricos).

Iluminação anticolisão pode ser verificada usando um voltímetro. A fonte para a lâmpada anticolisão tem três terminais de saída, dois terminais fornecem alta tensão de 300 a 600 *volts*, dependendo do modelo. O terceiro terminal fornece pulsos de tensão para os *flashes* acontecerem, entre 45 e 70 vezes por minuto. Um multímetro digital de boa qualidade possui gráfico de barras abaixo dos dígitos, em que este tipo de sinal pode ser visualizado. Descartado algum defeito na fonte, podem ser observados indícios de vazamento de gás ou escurecimento próximo dos terminais da lâmpada. Do mesmo modo que as lâmpadas de filamento, essas lâmpadas são descartadas quando queimadas. A fonte para anticolisão é um **equipamento reparável**.



**Equipamento reparável:**  
equipamento que, após  
ser substituído por falha,  
pode ser consertado para  
novamente entrar em uso.

## 8.2 Verificação de fusíveis e disjuntores

Não se pode medir resistência de um componente com o circuito energizado. Quando o técnico for utilizar um ohmímetro para fazer as medições, a fonte de energia deve ser desligada. A resistência entre os terminais do fusível ou disjuntor, medida com um ohmímetro, deve ser zero. Não se pode confiar totalmente em fusível novo, então, é necessário testá-lo também antes de trocar.

Para testar o estado do fusível ou disjuntor com voltímetro, deve-se verificar se a tensão no terminal de entrada do fusível é igual ao terminal de saída. Se a alimentação vier da barra principal, por exemplo, este valor será de 28 volts.

## 8.3 Verificação de relés

Circuitos com alta demanda de corrente usam relés para conectar uma fonte de energia com as lâmpadas, como no caso dos faróis de aterragem.

Os contatos dos relés podem ser verificados com o ohmímetro, assim como a bobina interna do relé possui uma resistência interna fácil de medir.

As partes mais comuns dos relés são contatos queimados ou Sujos. Alguns tipos de relés são reparáveis e outros não, devendo ser descartados. As documentações técnicas contêm orientações sobre a substituição de componentes.

## 8.4 Verificação de conectores

Os conectores devem estar travados em suas posições. Mau contato gera calor e é facilmente identificado quando a inspeção visual é feita. Com o voltímetro, podem-se testar as tensões nos terminais seguindo o diagrama elétrico do sistema. Uma ferramenta útil que ajuda na identificação de mau contato é um instrumento medidor de temperatura com termo visor que possibilita mapear termicamente uma área, identificando pontos de aquecimento.

Quando desconectar um conector, devem-se verificar as seguintes possibilidades de danos:

- pino ou soquete fora de posição;
- pinos tortos ou curto circuito entre os contatos;
- umidade, corrosão ou contaminação (isso pode causar mau funcionamento e até curtos, provocando desarme dos disjuntores);
- o estado de conservação dos isoladores (rachaduras, rasgos e sinais de escurecimento).

## 8.5 Verificação de fiação elétrica

Fios e cabos devem ser inspecionados, por toda parte, quanto ao seu estado de conservação e funcionamento. As características desejáveis e indesejáveis na fiação de aeronaves são descritas nos seus manuais técnicos. Geralmente, são as seguintes as possibilidades de danos em fiação elétrica:

- perda de continuidade devido a fatores diversos. O diagrama elétrico permite identificar os pontos de interligação. Com um ohmímetro, verifica-se a continuidade dos fios e cabos;
- verificar os apoios como braçadeiras e amarrações;
- conduítes danificados colocam a fiação exposta ao atrito e outras condições adversas de sua função protetora dos fios.

## 8.6 Verificação de interruptores

Os interruptores podem ser testados com ohmímetros ou voltímetro. Com o circuito desligado, é fácil testar o funcionamento do interruptor com um ohmímetro. Os contatos são verificados quanto à continuidade. Usando o voltímetro, é possível verificar se há tensão presente quando o interruptor é ligado.

Defeitos comuns em interruptores são contatos colados que, em funcionamento, não permitem desligar as luzes. Contatos definitivamente abertos não fornecem alimentação para as luzes ou relés.

## Resumindo

Na inspeção do sistema de iluminação de uma aeronave, o mecânico de manutenção de aeronaves necessita ter em mãos o manual de diagramas elétricos da aeronave. É preciso fazer uma checagem das condições e segurança das conexões, terminais, fusíveis, interruptores e fiação elétrica. Atualmente, é fundamental a utilização de um multímetro para medir continuidade, tensões e pulsos de tensão.

Em sistemas elétricos de iluminação, muitos problemas podem ser localizados por meio do teste sistemático de cada circuito em busca de continuidade, mau contato ou luzes queimadas.



# Unidade 6

## Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

O sistema hidráulico é o conjunto de unidades e componentes que, por meio da pressão produzida por um fluido, é usado para aplicar força na movimentação de superfícies aerodinâmicas, nos freios e no direcionamento da aeronave durante o deslocamento no solo. Ele utiliza, para isso, um princípio da física conhecido como lei de Pascal.

Para a formação dos mecânicos de manutenção de aeronaves, exige-se o domínio de noções básicas de hidráulica, de sistema de trens de pouso, de fundamentos da mecânica dos fluidos, bem como arcabouço teórico e conceitual de dimensões, unidades e quantidades físicas.

Esta unidade é composta de 15 capítulos. Do capítulo um ao cinco são explicitadas as propriedades e as características dos fluidos e dos componentes mecânicos utilizados em um sistema hidráulico, os quais são conhecimentos preponderantes para a compreensão do funcionamento desses sistemas nas modernas aeronaves, que estão presentes nas empresas comerciais atualmente.

As características dos trens de pouso são tratadas no capítulo seis, por meio de uma explanação teórica e ilustrada dos tipos de amortecedores aeronáuticos usados. Os freios e suas aplicações, além dos procedimentos adotados na inspeção, é o tema do capítulo sete. Montagem, estocagem, manuseio, reparos e operações das rodas, dos pneus e das câmaras de ar de aeronaves estão presentes do capítulo oito ao catorze. Para finalizar, o capítulo 15 trata da manutenção dedicada aos trens de pouso.

O estudo acerca dos conteúdos apresentados nesta unidade é indispensável para verificar e prosseguir na manutenção preventiva e corretiva de aeronaves, identificando avarias ou anomalias e procedendo à reparação, à substituição e ao ajuste dos equipamentos e componentes dos sistemas hidráulicos, trens de pouso e freios.



# Capítulo 1

## Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

O sistema hidráulico é o conjunto de unidades e componentes que, por meio da pressão produzida por um fluido, é usado para aplicar força na movimentação de superfícies aerodinâmicas, nos freios e no direcionamento da aeronave durante o deslocamento no solo. Ele utiliza, para isso, um princípio da física conhecido como lei de Pascal.

Para a formação dos mecânicos de manutenção de aeronaves, exige-se o domínio de noções básicas de hidráulica, de sistema de trens de pouso, de fundamentos da mecânica dos fluidos, bem como arcabouço teórico e conceitual de dimensões, unidades e quantidades físicas.

Esta unidade é composta de 15 capítulos. Do capítulo um ao cinco são explicitadas as propriedades e as características dos fluidos e dos componentes mecânicos utilizados em um sistema hidráulico, os quais são conhecimentos preponderantes para a compreensão do funcionamento desses sistemas nas modernas aeronaves, que estão presentes nas empresas comerciais atualmente.

As características dos trens de pouso são tratadas no capítulo seis, por meio de uma explanação teórica e ilustrada dos tipos de amortecedores aeronáuticos usados. Os freios e suas aplicações, além dos procedimentos adotados na inspeção, é o tema do capítulo sete. Montagem, estocagem, manuseio, reparos e operações das rodas, dos pneus e das câmaras de ar de aeronaves estão presentes do capítulo oito ao catorze. Para finalizar, o capítulo 15 trata da manutenção dedicada aos trens de pouso.

O estudo acerca dos conteúdos apresentados nesta unidade é indispensável para verificar e prosseguir na manutenção preventiva e corretiva de aeronaves, identificando avarias ou anomalias e procedendo à reparação, à substituição e ao ajuste dos equipamentos e componentes dos sistemas hidráulicos, trens de pouso e freios.

### Características do fluido hidráulico

Hidráulica é a ciência que estuda as características físicas dos líquidos, estando estes estáticos ou em movimento. O sistema hidráulico, portanto, é definido como o conjunto de tubos e válvulas que se ordenam com o fim de produzir força mecânica. Essa força funciona com líquidos confinados e sob pressão.

A transmissão de energia em um sistema hidráulico é conseguida por meio de fluidos, compostos mais importantes quando as unidades do sistema estão em operação. Suas características são primordiais para o desempenho e a vida dos equipamentos que o compõem. Por isso, é necessário usar um fluido limpo e de alta qualidade, a fim de que o sistema opere corretamente.

Em essência, as modernas aeronaves necessitam de fluidos hidráulicos, os quais precisam ser cuidadosamente preparados para atingir as exigências de suas tarefas, de modo a possuírem algumas características que se deseje manter durante a operação.

Em razão do pouco peso, do controle de velocidade de acionamento, da rápida inversão de movimento, do sistema autolubrificante e da facilidade de instalação e manutenção, a engenharia aeronáutica já, há muito tempo, utiliza a força hidráulica, com a qual opera com quase 100% de eficiência, sendo pequena a perda devido ao atrito do óleo.

Com a finalidade de acionar vários mecanismos, tais quais trens de pouso, acionamento das superfícies de comando, freios, *spoilers*, sistema de *anti-skid*, etc., muitos desses subsistemas estão presentes nas aeronaves antigas e perduram até hoje nas mais modernas.

O fluido tem a capacidade de *escoar* e assumir a forma do recipiente que o possui, bem como promover a transmissão de energia nos sistemas hidráulicos. Na aviação, o fluido é usado na forma sintética ou mineral.

Para que um sistema hidráulico funcione de forma eficiente, o fluido hidráulico é o meio mais versátil para transmitir força, pois é resistente como o aço e infinitamente flexível, podendo ser dividido e novamente reunido, de forma que nenhum outro meio mantenha a habilidade de transmitir o máximo de potência com o mínimo de volume e peso.

O fluido deve apresentar as seguintes características: viscosidade, estabilidade química, ponto de ignição e de fogo.

## Viscosidade

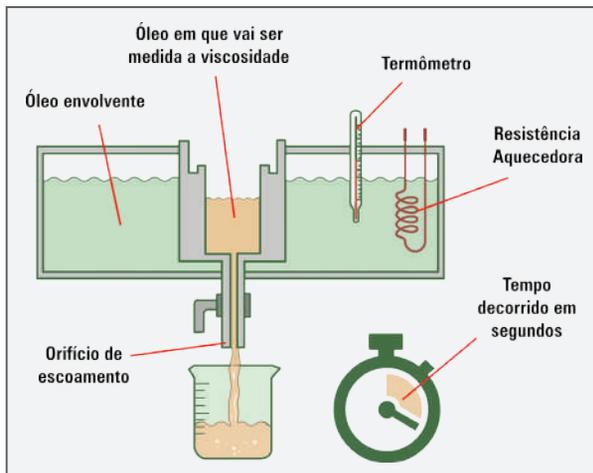


Figura 1 - Viscosímetro universal Saybolt

É a resistência do fluido ao escoamento, devido à constituição molecular, à viscosidade e à temperatura, que são grandezas inversamente proporcionais. Isso quer dizer que, se a temperatura aumenta, a viscosidade diminui.

Em um sistema hidráulico, o fluido deve ser suficientemente *encorpado* para produzir uma boa vedação nas suas unidades (ex.: bomba hidráulica, filtro, pistões, etc.), porém não pode ser muito viscoso para não oferecer maior resistência ao escoamento e à perda de potência nem tão fino para não levar ao rápido desgaste das partes móveis.

A fim de medir a viscosidade de um líquido de forma padronizada, existem vários tipos de equipamentos. O equipamento mais utilizado é o viscosímetro universal Saybolt demonstrado na Figura 1.



**Spoilers:** superfície auxiliar de voo usada como freio aerodinâmico.

**Sistema de anti-skid:** sistema de antiderrapagem que evita o travamento das rodas quando o freio é aplicado.

**Escoar:** deslocamento do fluido (óleo).

**Encorpado:** densidade (óleo grosso).

## Estabilidade química

A estabilidade química é uma importante característica que influencia na escolha do fluido. Ela pode ser definida como a capacidade do líquido não sofrer transformações químicas sob condições desfavoráveis, ou seja, o líquido resistir à oxidação e à deterioração por longo tempo de uso.

As temperaturas excessivas podem afetar as propriedades do líquido confinado em um sistema hidráulico, que, em sua operação, apresenta pontos quentes como rolamentos, engrenagem e pistões.

Os líquidos, ao passarem continuamente por tubulações, conexões ou unidades, podem produzir temperatura alta suficiente para serem carbonizados ou engrossados, ainda que o reservatório não apresente a mesma temperatura.

Os fluidos hidráulicos, quando expostos à água, ao sal e a outras impurezas podem sofrer decomposição, especialmente em locais de constante movimento ou sujeito a calor.

Alguns líquidos terão reações químicas em contato com certos metais, tais como: zinco, grafite, bronze e cobre.

Os processos químicos citados anteriormente podem resultar em formação de carbono, borra, goma e outros depósitos. Em decorrência disso, há obstrução de passagem, interrupção de fluxo, engrossamento de líquido, vazamentos em válvulas e pistões e má lubrificação das partes móveis.

O líquido hidráulico com tonalidade mais escura indica viscosidade mais alta e formação de ácidos.

## Ponto de ignição

O ponto de ignição, também conhecido como *flash point*, é a temperatura na qual um líquido libera vapor de forma suficiente para **ignizar-se** por alguns instantes ou **espocar** ao ser aplicada uma chama. É desejável um alto ponto de ignição e boa resistência à combustão com o intuito de desprender os gases inflamáveis e manter a chama constante.

## Ponto de fogo

No ponto de fogo, uma fonte externa de calor com alto grau de temperatura faz com que o líquido evapore e libere gases inflamáveis, ocasionando uma ignição e queima contínua enquanto exposta à fagulha ou à chama. Por segurança, é necessário um ponto de fogo alto conforme mostra a Figura 2.



Figura 2 - Ponto de fogo



**Ignizar-se:** transformar-se em fogo; incendiar-se, inflamar-se.

**Espocar:** pegar fogo e apagar naturalmente as chamas.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentadas as características mais importantes que devem estar presentes em todos os tipos de fluido hidráulico: viscosidade, definida como resistência ao escoamento, que pode ser medida por um equipamento, o viscosímetro universal Saybolt; estabilidade química; ponto de ignição; e ponto de fogo. Atributos os quais são concernentes à segurança contra risco de incêndio na aeronave.

Entender essas características tão importantes em fluido hidráulico e seus efeitos sobre a operação dos sistemas hidráulicos possibilita reconhecer os atributos desejáveis nos óleos para o perfeito funcionamento, a conservação e a eficiência das unidades que compõem esse tipo de sistema.

# Capítulo 2

## Tipos de fluidos hidráulicos

Por serem incompressíveis, os fluidos hidráulicos são usados primeiramente para transmitir força às várias unidades a serem acionadas. Isso é conseguido por meio da lei de Pascal, segundo a qual a pressão, aplicada em qualquer parte de um líquido confinado, é transmitida para as outras partes, sem perda de intensidade.

Uma grande variedade de óleos hidráulicos está sendo usada tanto na aviação quanto na indústria. Esses óleos são cuidadosamente selecionados para garantir uma operação econômica e livre de avarias. Portanto, o fator preponderante para obter a melhor eficiência de um sistema hidráulico é conservar as propriedades dos componentes não metálicos, conseguindo, assim, uma boa vedação. Esse objetivo é atingido com o uso do fluido correto definido pelo fabricante e especificado no manual da aeronave.

### 2.1 Fluido hidráulico à base de vegetal

De acordo com o Instituto de Aviação Civil (IAC), “O fluido hidráulico à base de vegetal é composto essencialmente de óleo de mamona e álcool” (BRASIL, 2002, p. 3), sendo, por consequência, inflamável. Ele possui um odor alcóólico e geralmente apresenta a cor azul.

Esse fluido foi usado primeiramente nos antigos aviões, nos quais os selos vedadores, anéis de borracha utilizados sem junções para evitar vazamento, eram de borracha natural. Esses selos não podiam ser contaminados com fluidos à base de petróleo ou éster fosfato, pois inchavam, quebravam e bloqueavam o sistema. Dessa maneira, destaca-se que o fluido hidráulico e os materiais de vedação precisam ser sempre compatíveis (BRASIL, 2002, p. 3).



**Óleo de mamona:** fluido hidráulico composto da mamona (é uma planta da família das euforbiáceas, bem como a semente dessa planta) e álcool.

### 2.2 Fluido hidráulico à base de mineral

Em concordância com o IAC (2002):

O fluido hidráulico à base de mineral é um processado do petróleo de pigmentação vermelha. Devido à sua propriedade química, não pode ser misturado com fluidos hidráulicos à base de éster fosfato ou à base vegetal, pois há risco de contaminar seriamente o sistema em uso (BRASIL, 2002, p. 3).

Para atender aos padrões exigidos nos sistemas hidráulicos das aeronaves, na composição desse fluido estão os aditivos que fornecem viscosidade adequada, resistência e oxidação e características antidesgastantes, fazendo-o ser capaz de operar em uma ampla faixa de temperatura.

a) Características do óleo mineral hidráulico:

- alto índice de limpeza;
- excelente fluidez;
- possuidor de aditivos que fornecem viscosidade adequada;
- resistente à oxidação;
- antidesgastante.

b) Aplicações:

- nas aeronaves modernas que requeiram um óleo mineral hidráulico;
- nos sistemas hidráulicos em que o uso de óleo superlimpo pode contribuir para melhoria do equipamento e aumento da confiabilidade;
- em locais onde os componentes usam borracha sintética.

## 2.3 Fluido à base de éster fosfato

Os fluidos à base de éster fosfato, de coloração púrpura claro, possuem resistência ao fogo e, por isso, são utilizados em aeronaves com motores a pistão de alta performance e em aeronaves turboélice.

A resistência desses fluidos ao fogo foi testada. Esse teste deu-se pela vaporização sobre uma chama de maçarico de solda (6.000 °C), em que não houve combustão, mas somente alguns lampejos de fogo. Esses e outros testes provaram que fluidos não derivados do petróleo não sustentam a combustão.

Algumas propriedades de fluidos hidráulicos à base de éster fosfato usados em aeronaves são:

- a) temperatura em nível aceitável de operação a fim de garantir a lubrificação interna do equipamento, transmitindo força e baixo efeito colateral corrosivo;
- b) formulação para uso em grandes aeronaves de transporte a jato, jumbo, em que o peso é um fator primordial.

## 2.4 Mistura de fluidos

O uso dos líquidos nos sistemas hidráulicos deve obedecer rigorosamente às especificações contidas nos manuais técnicos, pois, se for feita uma utilização inadequada, poderão ocorrer graves prejuízos aos sistemas devido à diferença de composição, ou seja, fluidos à base de vegetal, petróleo ou éster fosfato. Diante disso, os fluidos nunca devem ser misturados.

De acordo com o IAC (2002), “Os selos vedadores para cada tipo de fluido não são tolerantes a fluidos de outros tipos” (BRASIL, 2002, p. 3).



**Selos vedadores:** indicados para casos de alta pressão, temperatura, velocidade e presenças de sólidos em suspensão. São utilizados quando as gaxetas não podem ser aplicadas.

Se ocorrer um abastecimento incorreto, deve-se imediatamente drenar totalmente o sistema, lavá-lo com produto especificado e manter o selo de acordo com as especificações do fabricante.

## 2.5 Compatibilidade com os materiais da aeronave

Os sistemas hidráulicos de aeronaves que utilizam fluidos hidráulicos à base de éster fosfato devem ser livres de defeitos e revisados periodicamente.

Ressalta-se que esses fluidos não prejudicam os metais das aeronaves em geral. No entanto, estes podem ser amolecidos quimicamente, uma vez que os fluidos apresentam em sua composição: base de éster fosfato e **resinas termoplásticas**, as quais incluem compostos de vinil, **lacas nitrocelulose**, pinturas à base de óleo e asfalto.

Assim, respingos devem ser limpos com sabão e água para não causar danos nesses materiais.

Os epóxis e os poliuretanos são pinturas resistentes aos fluidos hidráulicos à base de éster fosfato. Estes últimos oportunizam brilho e acabamento duradouros, além de fácil remoção, sendo, por esse motivo, o padrão da indústria aeronáutica.

## 2.6 Efeitos na saúde causados pelo manuseio do fluido hidráulico

Desde que manuseado com o equipamento de proteção individual (EPI) adequado, o fluido não apresenta qualquer risco à saúde.

Foram realizadas pesquisas em animais e em seres humanos as quais apontaram que esse óleo, na forma líquida, não enseja danos permanentes no contato com a pele e com os olhos. Neste último caso, lava-se imediatamente a área com água em abundância e aplica-se solução anestésica oftalmológica.

Quanto às vias respiratórias, na forma de vapor ou névoa, esse fluido causa irritação, tosse e espirro, que deverão cessar com o fim da exposição ao produto.

## 2.7 Contaminação sólida do fluido hidráulico

A contaminação pode ter sua causa ligada ao mau funcionamento interno de alguma unidade hidráulica ou à completa destruição de um componente hidráulico do sistema.

Quando se fala em contaminação sólida de óleo hidráulico, ou combustível, logo se imaginam pequenas partículas de sujeira. Porém, o que mais destrói os sistemas hidráulicos, as bombas de combustível e os bicos injetores são os contaminantes imperceptíveis aos olhos humanos, formados por partículas que medem de 4 a 14 **mícrons**.



**Resinas termoplásticas:** é um polímero artificial que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser moldado.

**Lacas nitrocelulose:** material que tem muitos usos internos e externos. Como qualquer outro verniz, ela pode ser usada para acabamento.

**Asfalto:** produto de origem mineral retirado do petróleo aplicado no pavimento, solo.

**Mícrons:** medida de filtragem utilizada para determinar filtros.

Os contaminantes podem ser:

- abrasivos - grão de areia, salpico e solda, rebarbas de usinagem e ferrugem;
- não abrasivos - partículas de desgaste de selos e outros componentes orgânicos (BRASIL, 2002, p. 4).

## 2.8 Verificação de contaminação

O controle de contaminação de fluidos não é uma opção, mas, sim, uma necessidade. Cerca de 80% das falhas dos sistemas hidráulicos e de combustível estão relacionadas ao nível de contaminação dos fluidos.

Nos sistemas das aeronaves, os filtros são projetados para reter e remover partículas estranhas que são visíveis a olho nu, porém isso não exime o óleo de estar inadequado para o uso.

A inspeção visual, com certeza, não é capaz de determinar a quantidade total de contaminação do sistema. As amostras de óleo devem ser coletadas para análise e interpretação de uma série de informações sobre os fluidos dos equipamentos, como, por exemplo, o monitoramento das condições químicas e a parametrização dos limites críticos, prevenindo, assim, falhas e interceptando a causa raiz (BRASIL, 2002, p. 4).



**Parametrização:** é o processo de decisão e definição dos parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico.

**Gaxetas:** selo ou anel de vedação de borracha que evita passagem de um fluxo de fluido parcial ou totalmente.

**Esfoleamento:** corrosão que se processa de forma paralela à superfície metálica.

## 2.9 Controle da contaminação

O controle da contaminação deve ser constante para o perfeito funcionamento dos sistemas.

Para isso, o pessoal responsável por manter ou reparar um sistema hidráulico deve adotar alguns procedimentos básicos, como os que seguem:

- conservar as ferramentas e a bancada livres de impurezas;
- revestir (proteger) as linhas e os conectores após desconexão;
- substituir os selos e as gaxetas durante a remontagem;
- utilizar panos livres de fiapos durante a limpeza;
- montar os metais (conectores) de áreas rosqueadas com cuidado para evitar lascas e esfoleamento.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os três tipos de fluidos hidráulicos usados na aviação: o de origem vegetal, composto essencialmente por óleo de mamona e álcool, por consequência, inflamável; o mineral, processado do petróleo, com odor similar ao óleo penetrante e de pigmentação vermelha; e o sintético, à base de éster fosfato, que possui resistência ao fogo.

Foi abordada, ainda, a compatibilidade desses óleos com os materiais da aeronave, bem como a verificação e o controle de contaminação deles, de forma a possibilitar a identificação do tipo de óleo adequado ao sistema hidráulico de cada aeronave.

# Capítulo 3

## Filtros

Filtro é um dispositivo usado para limpar o fluido hidráulico, que previne contra partículas estranhas e livra o sistema de substâncias contaminantes.

Um dos principais atributos dos filtros hidráulicos, na linha de produção industrial e aeronáutica, é sua capacidade de impedir que o óleo seja contaminado. Os sistemas hidráulicos, por sua vez, são utilizados para acionar máquinas e sistemas que precisam transferir energia, por meio de tubos, mangueiras e unidades.

Mesmo estando em áreas complexas, esses fluidos são considerados eficazes porque podem multiplicar a força exercida e gerar o máximo de energia quando dentro de um sistema. Embora seja uma tecnologia de origem industrial, o filtro ainda é muito utilizado e está na arquitetura das grandes e modernas aeronaves, daí a necessidade de um ambiente com elementos que previnam a contaminação.

### 3.1 Características dos filtros do sistema hidráulico

Substâncias não desejáveis no sistema hidráulico, se não detectadas e eliminadas com antecedência, podem comprometer o funcionamento das suas unidades. Devido ao desgaste normal das válvulas seletoras, das bombas e de outros componentes do sistema, é comum a suspensão de partículas finas de metal. Tais substâncias são retidas se for utilizado o filtro previsto nos manuais, protegendo, assim, as peças componentes do sistema, o que torna evidente que a confiabilidade e a eficiência do sistema dependem de uma filtragem adequada. O filtro de sistema hidráulico pode ser visualizado na Figura 3.

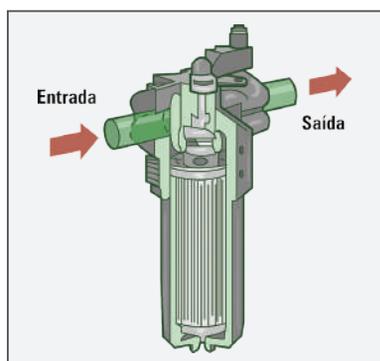


Figura 3 - Filtro de sistema hidráulico

Além do mais, o filtro pode ser encontrado em vários modelos e estar localizado em diferentes locais dentro do reservatório, na linha de pressão, na linha de retorno ou em qualquer outro local escolhido pelo engenheiro ou projetista do sistema. Posições na aeronave e requisitos de projeto determinam suas formas e tamanhos.

As modernas aeronaves têm usado filtros do tipo em linha, formados por três unidades básicas: conjunto da cabeça, corpo e elemento. A Figura 4 demonstra esses componentes.



**Micrônico:** um milésimo de milímetro, ou um milionésimo de um metro, ou 0,000039 de uma polegada. O micron é a unidade de medida utilizada para determinar o tamanho das partículas filtradas de um fluido.

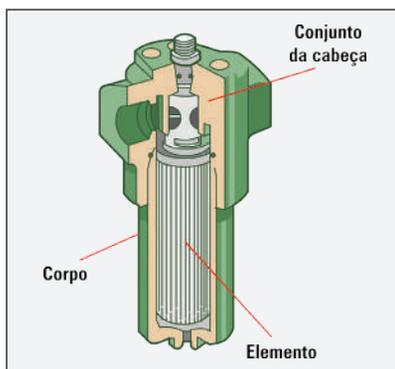


Figura 4 - Filtro de linha

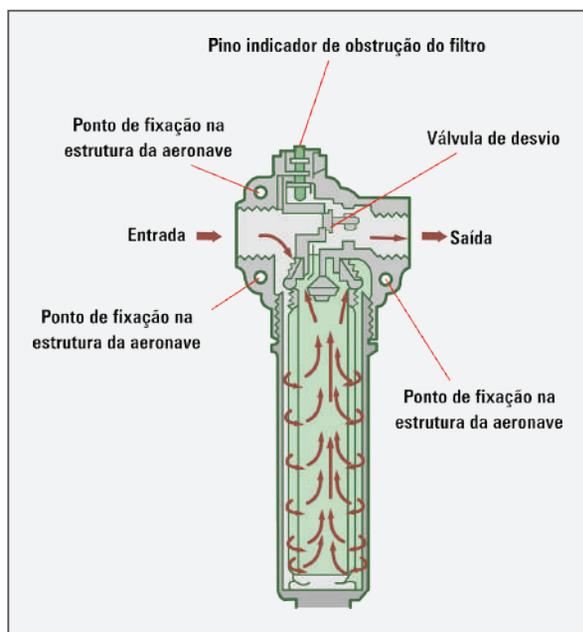


Figura 5 - Conjunto da cabeça do filtro

O conjunto da cabeça, mostrado na Figura 5, é a parte fixa à estrutura da aeronave e aos conectores da linha. Dentro da cabeça, existe uma válvula de desvio que desloca o fluido hidráulico diretamente do canal de entrada para o de saída, caso o elemento de filtro seja obstruído por algum material estranho.

O corpo é o alojamento que mantém o elemento na cabeça do filtro, é a parte a ser removida quando for necessário retirar o elemento.

O elemento pode ser um **micrônico**, um metal poroso ou do tipo magnético. O elemento micrônico é feito de um papel especialmente tratado, que é descartado quando removido. Os elementos de filtro magnético ou de metal poroso podem ser limpos e, após a inspeção, ser recolocados.

### 3.2 Filtro do tipo micrônico

Este filtro utiliza um elemento feito de um papel especial e dobrado em rugas verticais, projetado para prevenir a passagem de sólidos maiores que dez micrones (0,000394 da polegada). Caso o

elemento do filtro fique obstruído, uma válvula de alívio sob tensão de mola na cabeça do filtro irá desviar o fluido após uma pressão diferencial de 50 psi. É possível visualizar a ampliação de pequenas partículas na Figura 6.

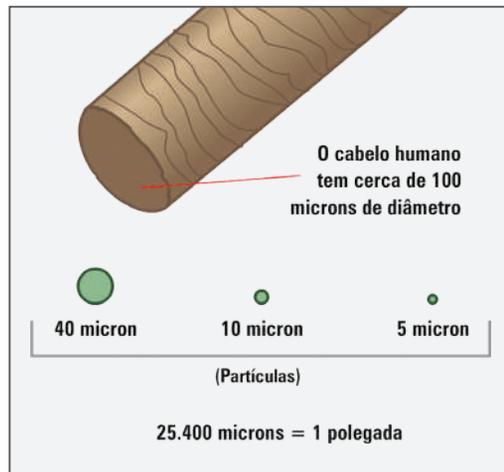


Figura 6 - Ampliação de pequenas partículas

Durante a filtração, o fluido hidráulico entra no filtro por meio do canal de entrada e do corpo do filtro e flui em volta do elemento, conforme mostra a Figura 7. A filtração se concretiza quando o fluido passa através do elemento para o orifício central, deixando o material estranho no lado externo do elemento filtrante.

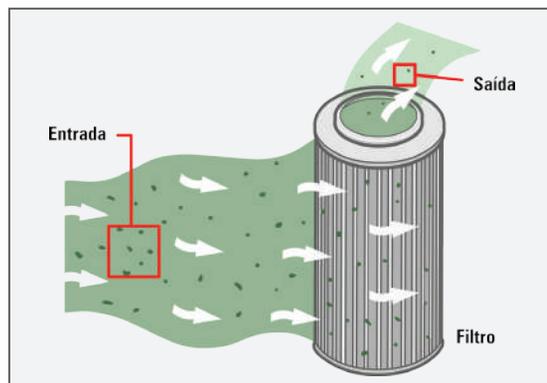


Figura 7 - Filtração

### 3.3 Manutenção dos filtros

A manutenção dos filtros é um método simples, que se caracteriza, principalmente, pela limpeza do filtro e do elemento filtrante ou pela substituição deste último. Nos filtros em que são utilizados elementos do tipo micrônico, deve ser feita a substituição desses componentes nas revisões ou, quando for necessário, de acordo com as instruções técnicas do fabricante. Nos filtros que utilizam outros tipos de elementos, normalmente, apenas o filtro e o elemento são limpos.

Sempre que possível, o elemento deve ser inspecionado quando há resistência à fluidez, ao desgaste ou à deformação física, para assegurar que ele esteja em condições de uso. Existem muitos métodos e materiais usados na limpeza dos filtros, por esse motivo, é imprescindível sempre consultar as informações do fabricante.



**Fluidez:** deslocamento do fluido (óleo). Sua velocidade aumenta com a diminuição de viscosidade.

Os filtros hidráulicos equipados com um pino – que irá indicar visualmente uma obstrução do elemento – já estão presentes nos sistemas de algumas aeronaves. Isso permite que eles sejam inspecionados sem a necessidade de desmontar a unidade. Quando esse pino sobressai do alojamento do filtro, o elemento deve ser retirado e limpo. Por conseguinte, o fluido deve ser retirado do filtro e inspecionado para verificar se há presença de contaminação. Veja-se o pino indicador de obstrução do filtro na Figura 8.

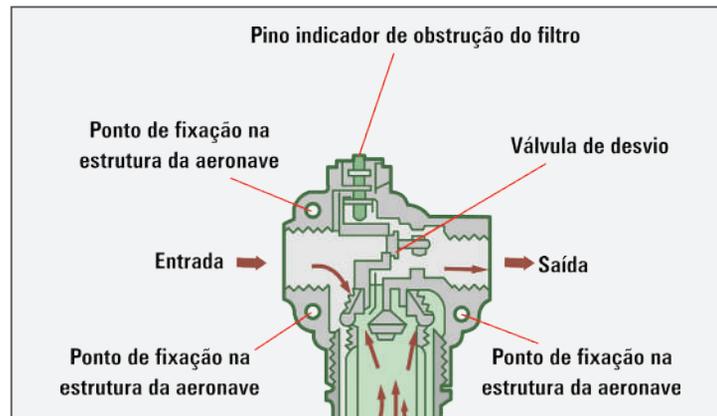


Figura 8 - Pino indicador de obstrução do filtro

## Resumindo

Neste capítulo, foi apresentado o filtro, dispositivo usado para limpar o fluido hidráulico, com o intuito de prevenir a ação de partículas estranhas e livrar o sistema de substâncias contaminantes.

Foram abordados os filtros do tipo em linha, encontrados com mais frequência nos sistemas hidráulicos aeronáuticos e formados por três unidades básicas: conjunto da cabeça, corpo e elemento. Os filtros do tipo micrônico, cujo elemento é feito de um papel especial e dobrado em rugas verticais, são projetados para prevenir a passagem de sólidos maiores que dez micrones.

Ademais, explicou-se como realizar a manutenção desses filtros, bem como o método simples que se caracteriza, principalmente, pela limpeza do filtro e do elemento do filtro ou da substituição deste.

# Capítulo 4

## O sistema hidráulico básico

Em uma aeronave, o sistema hidráulico é responsável por gerar, controlar e aplicar a potência hidráulica unindo a qualidade e a segurança com o meio mais eficiente de transmissão de energia.

Esse sistema está presente em todos os tipos e modelos de aeronaves, seja nos freios das de pequeno porte, seja nos complexos sistemas de comando de voo dos modernos e gigantes aviões, interligando os equipamentos a bordo, gerenciados na cabine de pilotagem, com seus sofisticados computadores, os quais comandam válvulas e unidades hidráulica, elétrica e mecânica.

O movimento das superfícies de comando e a utilização dos freios possibilitam um conforto imprescindível ao piloto em suas longas jornadas de voo. Esta última ação é conseguida empregando o fluido como transmissor de força. Ainda assim, esses recursos minimizam o esforço nos aviões de alta performance e em aeronaves a jato que atingem alta velocidade ao movimentar suas superfícies, ação humanamente impossível sem a hidráulica.

### 4.1 Sistema operado por bomba manual

O número de unidade desse sistema depende do tipo de função que irá desempenhar. No entanto, a característica diferencial está no gerador de fluxo de óleo, uma bomba manual, unidade hidráulica que transforma energia mecânica em energia hidráulica.

Para entender a vantagem na utilização de um sistema hidráulico e suas aplicações, é necessário lembrar alguns conceitos básicos. Os líquidos, por exemplo, são substâncias constituídas de moléculas capazes de tomar a forma do recipiente que os contém e, por serem relativamente **incompressíveis**, possuem vantagens na transmissão de força.

A força, entendida como qualquer influência capaz de produzir alteração de movimento, é denominada energia. Segundo a lei de conservação de energia, ela não pode ser criada nem destruída, mas transformada.

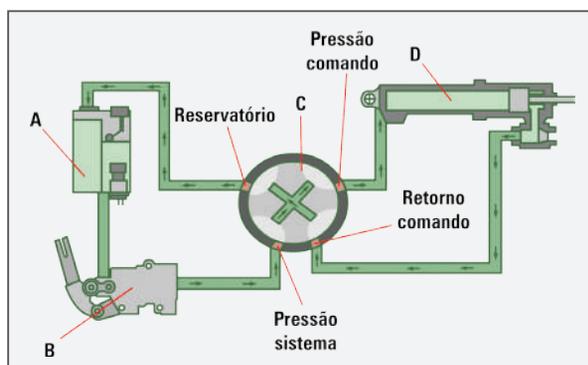


Figura 9 - Sistema operado por bomba manual

A pressão é a força exercida por unidade de superfície que, na aviação, poderá ser expressa em libra por polegada quadrada –  $\text{lb}/\text{pol}^2$ , em inglês *pound per square inch* (psi). Na Figura 9, expõe-se o sistema operado por bomba manual.

**Incompressíveis:**  
substâncias impossíveis de  
serem comprimidas.





**Sangria:** retirada do ar de um sistema hidráulico.

**Atuador:** um elemento que dá origem a um movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos.

A primeira unidade do sistema, representado na Figura 9, é o reservatório hidráulico (A), responsável por estocar fluido, de forma a suprir as necessidades do sistema, evitando, assim, a cavitação, e provendo espaço para expansão térmica. Em alguns sistemas, pode proporcionar a sangria.

Em seguida, há uma tubulação denominada linha de sucção, que liga o reservatório à bomba manual.

A bomba manual (B) é responsável por criar o fluxo de fluido e é operada manualmente, em movimento linear.

A tubulação da linha de pressão, responsável pela ligação da saída de fluxo da bomba manual a uma válvula seletora (C), é responsável por dirigir o fluxo de óleo proveniente da bomba até a unidade atuadora. Esta pode ser um cilindro atuador (D) que transforma a energia hidráulica em energia mecânica, a qual, por conseguinte, pode ser aproveitada para movimentar, por exemplo, uma superfície de voo.

Esse tipo de sistema é comumente usado nos circuitos hidráulicos de emergência, sistema auxiliar que opera no caso de falha do sistema principal ou na necessidade de testes.

## 4.2 Sistema operado por bombas mecânicas

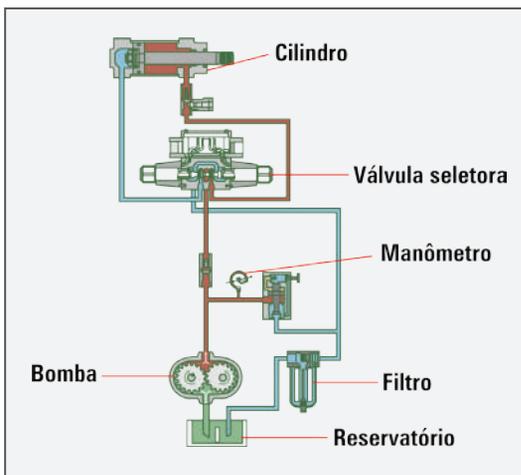


Figura 10 - Sistema operado por bombas mecânicas (acionadas por motor)

No sistema operado por bombas mecânicas (acionadas por motor), exposto na Figura 10, essas bombas convertem energia mecânica em energia hidráulica. O sistema tem um mecanismo interno que cria um vácuo parcial na sua entrada, de modo que a pressão atmosférica força o fluido do reservatório, por meio da linha de sucção, a penetrar na bomba. Posteriormente, esse mesmo fluido sairá pela abertura de descarga, forçando-o por meio do sistema hidráulico.

Esse tipo de sistema hidráulico, conforme as suas características de funcionamento, pode ser denominado:

- sistema hidráulico de pressão constante;
- sistema hidráulico de centro-aberto;
- sistema hidráulico principal;
- sistema hidráulico central;
- subsistema hidráulico;
- sistema hidráulico de emergência.

Antes de realizar qualquer serviço de manutenção, é primordial depressurizar o sistema, ou seja, retirar a pressão acumulada que foi gerada pelas bombas manuais ou mecânicas.

a) Sistema hidráulico de pressão constante

Em um sistema hidráulico de pressão constante, mesmo depois da bomba hidráulica

parar de funcionar, uma pressão permanece nele acumulada. Esse sistema consiste em, basicamente, reservatório hidráulico, bomba de força, válvula de alívio, válvulas seletoras, unidades de atuação e acumulador de pressão.

Funcionamento do sistema hidráulico de pressão constante:

- Primeira situação

Na Figura 11, existe uma bomba mecânica seccionando o fluido hidráulico do reservatório e enviando o fluido para as válvulas seletoras (A), (B) e (C). No diagrama, as válvulas seletoras estão em neutro e o sistema está pressurizado.

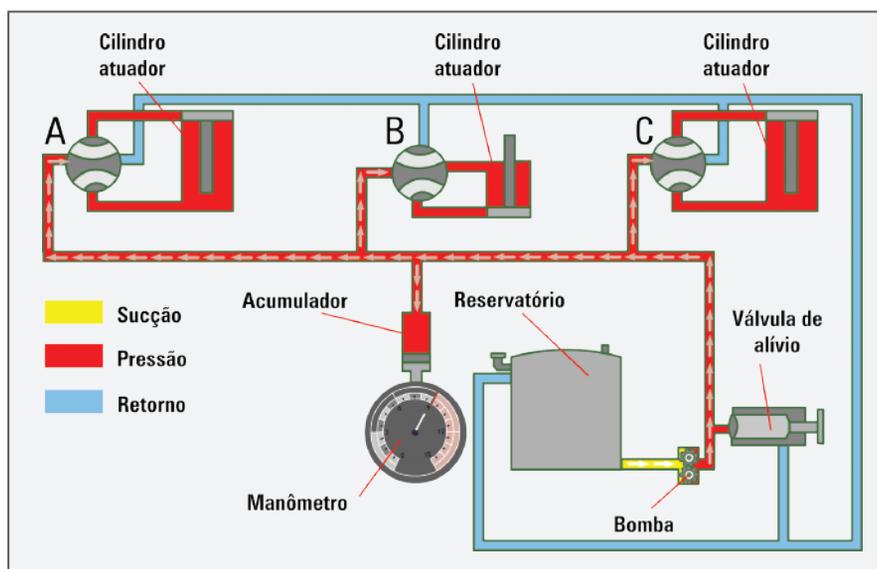


Figura 11 - Sistema hidráulico de pressão constante

A Figura 12 mostra o circuito do óleo que inicia pela linha de sucção em amarelo. A saída do reservatório até a entrada da bomba hidráulica (linha vermelha) produz a saída do fluxo de óleo, chegando, primeiramente, à válvula de alívio. Essa válvula é responsável por preservar o sistema para o caso de **sobrepresão**, pressão no sistema além do permitido, seguindo e chegando no acumulador, responsável por acumular pressão. A finalidade é evitar oscilações da pressão ao utilizar o sistema, parando na válvula seletora, que, neste caso, está em neutro.



**Sobrepresão:** pressão acima da prevista em um sistema hidráulico pelo manual do fabricante.

- Segunda situação

A Figura 12 apresenta o rotor, mecanismo direcional de fluxo de óleo interno da válvula seletora (A), que está posicionado de modo a dirigir o fluido pressurizado para a área maior da unidade de atuação.

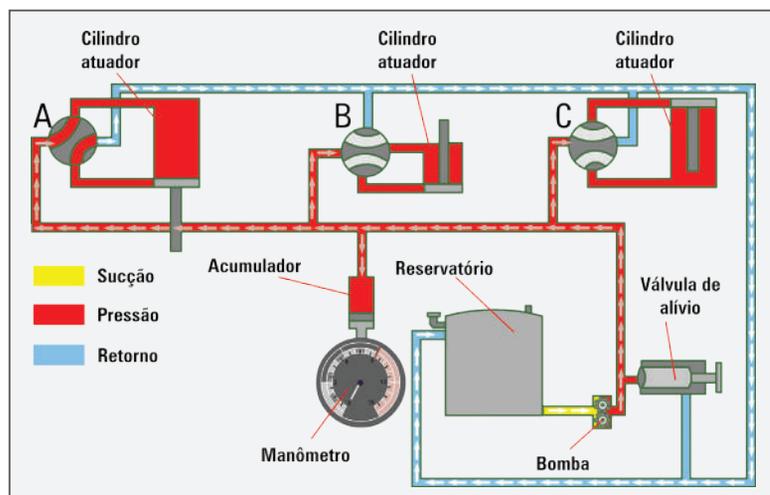


Figura 12 - Sistema hidráulico de pressão constante

A pressão liberada para atuar no pistão desloca-o para fora (distensão). O fluido da outra área dessa unidade de atuação é, ao mesmo tempo, desviado para a linha de retorno em azul, por meio da válvula seletora, para o reservatório. Isso ocorre em razão do deslocamento do pistão para fora com a consequente diminuição de área.

- Terceira situação

A Figura 13 exibe a seleção do rotor, mecanismo direcional de fluxo de óleo interno da válvula seletora (B), de forma a dirigir o fluido pressurizado para a área maior da unidade de atuação.

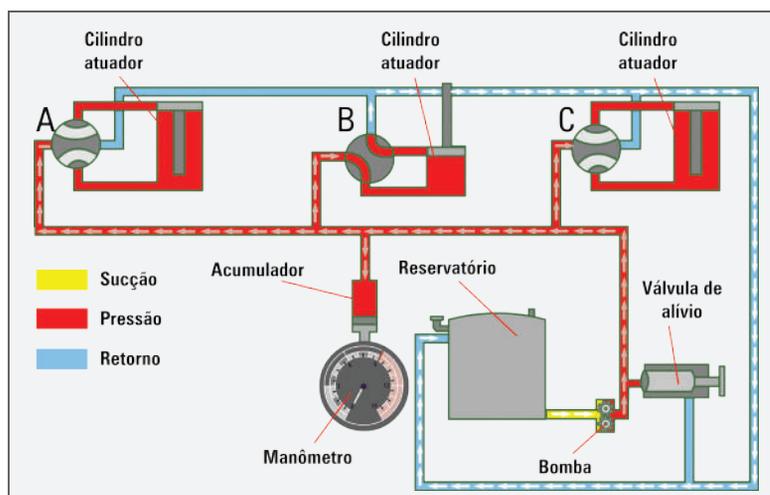


Figura 13 - Sistema hidráulico de pressão constante

A pressão liberada para atuar no pistão desloca-o para fora (distensão). O fluido da outra área dessa unidade de atuação é, ao mesmo tempo, desviado para a linha de retorno em azul, por meio da válvula seletora, para o reservatório. Isso ocorre em razão do deslocamento do pistão para fora com a consequente diminuição de área. As seletoras (A) e (C) ficam em neutro.

- Quarta situação

A Figura 14 evidencia a seleção do rotor, mecanismo direcional de fluxo de óleo interno da válvula seletora (C), de modo a dirigir o fluido pressurizado para a área menor da unidade de atuação.

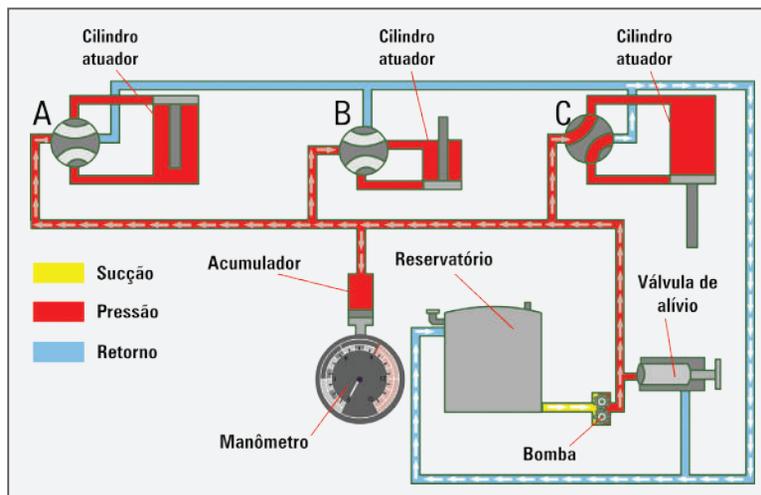


Figura 14 - Sistema hidráulico de pressão constante

A pressão liberada para atuar no pistão desloca-o para dentro (retração). O fluido da outra área dessa unidade de atuação é, ao mesmo tempo, desviado para a linha de retorno em azul, por meio da válvula seletora, para o reservatório. Isso ocorre em razão do deslocamento do pistão para fora com a consequente diminuição de área. As seletoras (A) e (B) ficam em neutro.

b) Sistema hidráulico de centro-aberto

Esse é um tipo de sistema hidráulico básico em que, diferentemente do sistema hidráulico de pressão constante, há fluxo de fluido hidráulico sem pressão até que uma válvula seletora seja comandada.

É composto por reservatório hidráulico, bomba de força (volume constante), válvula de alívio, uma ou mais seletoras e uma ou mais unidades de atuação. É um sistema que dispensa um regulador de pressão quando uma válvula seletora é comandada para operar uma unidade de atuação.

A Figura 15 demonstra as válvulas seletoras na posição neutra. O fluxo de fluido do reservatório hidráulico (linha amarela) é encaminhado pela bomba de força e enviado para a linha de pressão principal (linha vermelha). Assim, as válvulas seletoras ficam na posição neutra. O fluido retorna para o reservatório por intermédio da passagem de

centro-aberto dessas válvulas e da linha de retorno geral (linha azul), proporcionando uma não restrição no sistema pelo fato das seletoras estarem na posição neutra. Por fim, o fluxo torna-se livre sem a pressurização.

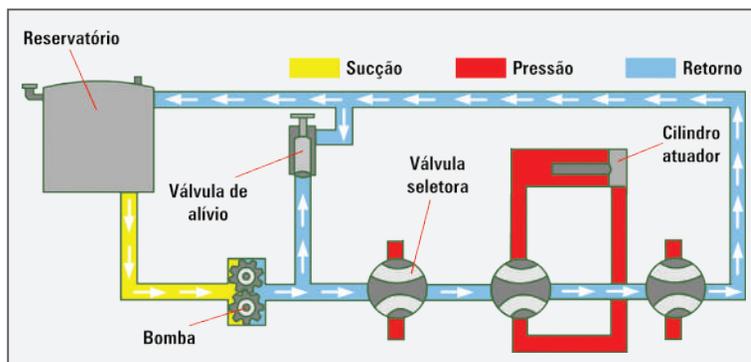


Figura 15 - Sistema hidráulico de centro - aberto

A Figura 16 apresenta o fluido pressurizado seguindo através da seletora que está comandada para a unidade de atuação. Após isso, o pistão da unidade de atuação se move, o fluido residual da área oposta é forçado pelo pistão e é desviado por meio da seletora comandada para a linha de retorno geral e reservatório hidráulico. Próximo ao curso final da unidade de atuação, o fluido pressurizado fica bloqueado e a pressão excede no interior do sistema.

Eventualmente, a pressão produzida é superior à regulagem da válvula de alívio, que, por sua vez, abre e desvia o excesso de pressão para a linha de retorno geral e para o reservatório hidráulico. Essa situação permanece até que a válvula seletora retorne para a posição neutra.

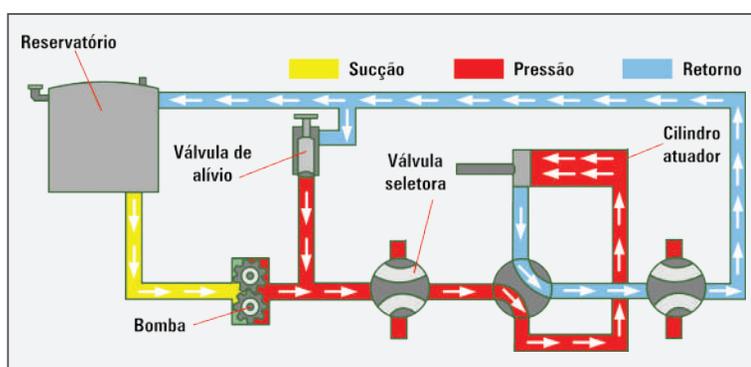


Figura 16 - Sistema hidráulico de centro-aberto

### c) Sistema hidráulico principal

O sistema hidráulico principal é o responsável por transformar a pressão hidráulica em força mecânica em uma aeronave para o acionamento de mecanismos, tais como cilindros atuadores dos trens de pouso e freios. Seus componentes compreendem desde o reservatório hidráulico até os cilindros atuadores e o sistema é dividido em duas partes: sistema central e subsistemas hidráulicos.

- Conceito de sistema hidráulico central

É a parte do sistema gerador de pressão, cuja finalidade é gerar pressão para acionamento dos subsistemas hidráulicos.

Assim, suas unidades e válvulas pertencem a um sistema de geração de pressão e acham-se localizados em neutro, desde o reservatório até as válvulas seletoras.

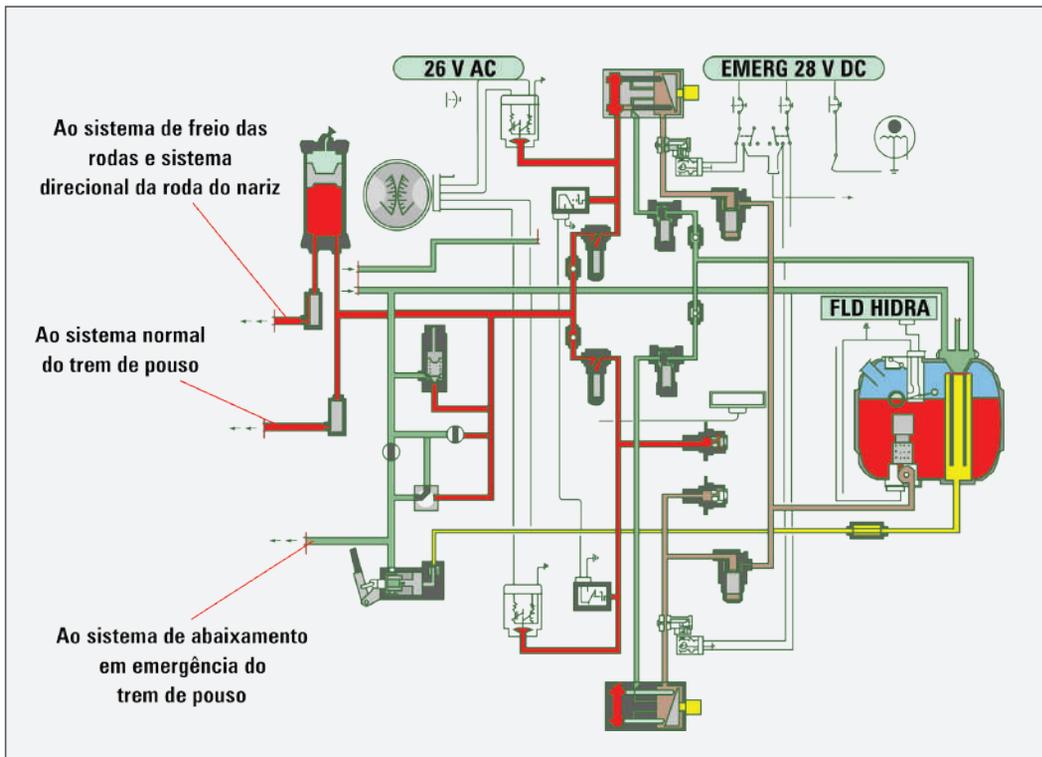


Figura 17 - Sistema hidráulico principal

- Subsistemas hidráulicos

Os subsistemas hidráulicos são parte do sistema hidráulico principal. São mecanismos de operação, tais como trem de pouso, flaps das asas, freio das rodas e sistema direcional da roda do nariz.

A pressão advinda do sistema central faz o acionamento dos mecanismos ou componentes de um subsistema hidráulico, no qual todas as unidades ficam localizadas após a válvula seletora.

d) Sistema hidráulico de emergência

É um sistema auxiliar, cuja função é garantir maior segurança. Ele poderá ser utilizado quando o sistema hidráulico normal estiver inoperante ou realizando testes. A unidade geradora de energia hidráulica pode ser uma bomba manual ou bomba mecânica (operada por um motor elétrico), que estará ligada a um reservatório hidráulico para efeito de sua alimentação.

Sua ação visa a atender a qualquer mecanismo em emergência, estando o sistema hidráulico normal inoperante ou em teste, desde que as bombas mecânicas do sistema hidráulico

lico normal estejam paradas.

O mais comum dos sistemas de emergência é o que utiliza a bomba manual, cujo diagrama esquemático está representado na Figura 18.

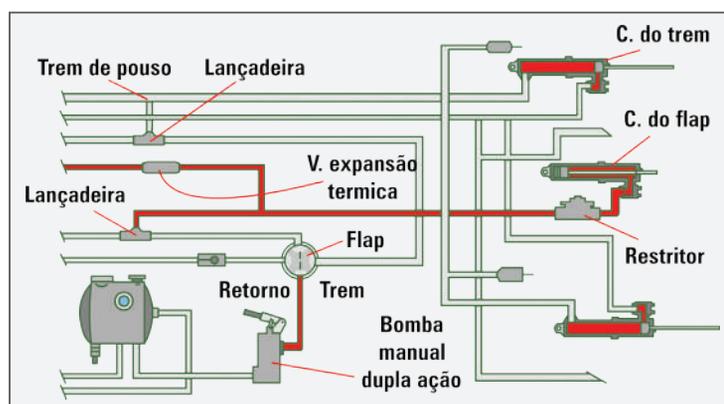


Figura 18 - Sistema hidráulico de emergência

O sistema de emergência da Figura 18 contém os seguintes componentes:

- reservatório hidráulico;
- bomba manual de ação dupla;
- válvula seletora;
- válvula lançadeira;
- válvula unidirecional;
- restritor.

O objetivo desse sistema é operar em emergência o abaixamento do trem de pouso e dos *flaps* das asas de uma aeronave. Os procedimentos para abaixamento em emergência dos *flaps* das asas e das superfícies usadas para ganho de sustentação estão descritos a seguir:

- colocar o indicador de comando de válvula seletora na posição *flaps*;
- ao acionar a bomba manual, o fluido pressurizado atingirá a válvula lançadeira, que se encontra nos dois sistemas (normal e emergência). Depois disso, o fluido pressurizado empurrará o pistão interno da válvula lançadeira para isolar o sistema normal e, por fim, esse mesmo fluido chegará ao cilindro atuador dos *flaps*, provocando o seu abaixamento em emergência.

Os procedimentos seguintes são para abaixamento do trem de pouso em emergência:

- deve-se colocar o indicador de comando da válvula seletora na posição *trem*;
- ao acionar a bomba manual, o fluido pressurizado atingirá a válvula lançadeira, na qual se encontram os dois sistemas (normal e de emergência). Após o fluido pressurizado ter empurrado o pistão interno da válvula lançadeira, isolando o sistema normal, ele atua sucessivamente nos cilindros de travamento superior dos trens e cilindros atuadores do trem de pouso, baixando e travando-os em emergência.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados conceitos básicos e fundamentais sobre o sistema hidráulico, que é responsável por gerar, controlar e aplicar a potência hidráulica presente em todos os tipos e modelos de aeronaves.

Foram abordadas, além disso, as características do sistema hidráulico operado por bomba manual, cuja unidade geradora de fluxo de óleo é uma bomba manual, bem como as do sistema hidráulico operado por bomba mecânica, acionada por motor convertendo energia mecânica em hidráulica.

Nesse contexto, foram descritos também os modelos de sistemas hidráulicos em uso na aviação. E, para finalizar, abordou-se o sistema hidráulico de emergência, que opera quando o sistema principal estiver inoperante ou em realização de testes.



# Capítulo 5

## Componentes de um sistema hidráulico

O sistema hidráulico é composto de unidades que funcionam em movimentos lineares e rotativos.

A associação ao uso de fluidos (óleo no caso da hidráulica) e as relações da física ligadas a essas unidades permitirão os comandos dos subsistemas hidráulicos das aeronaves.

### 5.1 Reservatório de sistema hidráulico

É uma unidade hidráulica utilizada para o armazenamento do fluido de trabalho. Além disso, contribui para a troca de calor e para a separação das partículas contaminantes. Pode ser do tipo em linha, que é conectado a outros componentes em um sistema por tubulação ou mangueira, e do tipo integral, um espaço dentro de algum componente principal usado para manter o suprimento operacional de fluido.

#### 5.1.1 Reservatório em linha

Possui um espaço internamente acima do nível normal do fluido. É destinado à expansão do fluido e ao escapamento do ar que porventura entrar no sistema, razão pela qual não se deve enchê-lo até o topo. Em muitos reservatórios, a borda do gargalo abastecedor está abaixo do topo do reservatório, prevenindo contra o excesso durante o **recompletamento**. Em seguida, a Figura 19 traz uma exemplificação de reservatório de sistema hidráulico.

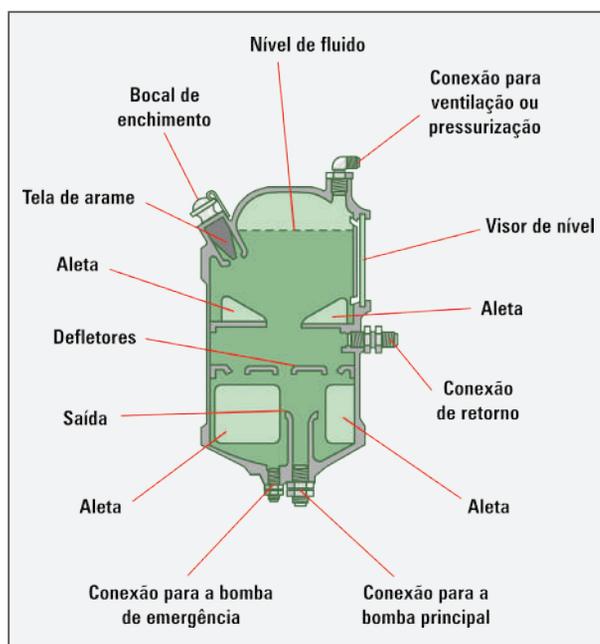


Figura 19 - Reservatório de sistema hidráulico



**Recompletamento:**  
abastecer de óleo o sistema hidráulico até o nível previsto pelo manual do fabricante.

É equipado com uma vareta ou um visor de vidros medidores, por meio dos quais o nível do fluido pode ser conveniente e precisamente verificado. Os reservatórios podem ser classificados como:

- aberto - a pressão atmosférica e a gravidade são as forças que fazem com que o fluido saia do reservatório para alimentar a bomba;
- pressurizado - um exemplo de pressurização com ar introduzido sob pressão no reservatório acima do nível do fluido.

Componentes do reservatório interno:

- aletas e/ou defletores - mantêm o fluido livre de movimentos, tais como turbilhonamento (redemoinho) e ondas, evitando que ele espume e o ar produza **cavitação** na bomba;
- filtro no bocal de entrada do reservatório - também conhecido como filtro de dedo, feito de uma tela fina, previne contra a entrada de material estranho durante o abastecimento;
- filtro de ar - quando usado, é localizado na parte superior do reservatório, acima do nível de fluido;
- filtro de fluido - localizado no fundo do reservatório ou próximo ao fundo.

Componentes do reservatório externo:

- bocal para abastecimento - possui uma tampa presa por uma corrente;
- linha de saída para a bomba de força e bomba manual - linhas que permitem a passagem do óleo do reservatório para a entrada das bombas;
- tubo suspiro - liga o interior do reservatório à atmosfera, evita turbulência naquela área;
- bujão dreno - localizado na parte mais baixa do reservatório, usado para fazer a drenagem no momento da manutenção;
- visor - é o indicador de nível de óleo do reservatório;
- conexões para a linha de retorno geral - essas linhas de entrada devem estar bem abaixo do nível da superfície do fluido, para impedir a aeração e a formação de espuma.

### 5.1.2 Reservatórios pressurizados

Projetados para voos de grande altitude, asseguram um fluxo positivo de fluido para a bomba.

Métodos de pressurização de um reservatório a ar:

- pressão de ar diretamente do sistema de pressurização da cabine da aeronave;
- compressor do motor, no caso de aeronave propulsada à turbina.

Usualmente, o ar é extraído do motor a uma pressão de, aproximadamente, 100 psi, esta é reduzida entre 5 e 15 psi, dependendo do tipo de sistema hidráulico, pelo regulador de pressão.

Os reservatórios pressurizados com fluido hidráulico, diferentemente dos reservatórios pressurizados com ar, usam um saco flexível revestido com tecido ou diafragma, que é fixado à cabeça do reservatório. Esse saco está pendurado dentro de um cilindro metálico, formando um recipiente para o fluido. O fundo do diafragma repousa sobre um grande pistão. Fixo a ele está uma haste indicadora. A outra extremidade da haste indicadora é usinada para formar



**Cavitação:** falha da bomba hidráulica devido à presença de ar no sistema.

um pequeno pistão, que é exposto à pressão do fluido da bomba hidráulica. Essa pressão força o pequeno pistão para frente, fazendo com que o grande pistão também se mova para frente, produzindo, no reservatório, uma pressão de, aproximadamente, 30 a 32 psi em operação normal.

Se a pressão interna exceder 46 psi, a válvula de alívio do reservatório abrirá, permitindo o escapamento do fluido por meio do furo na cabeça da válvula de retenção. Esse tipo de reservatório deve ser abastecido com fluido hidráulico e ter todo o ar sangrado do seu interior.

Os componentes a serem instalados são:

- válvula de alívio de pressão do reservatório - evita o excesso de pressão no reservatório;
- visores - fornecem indicações visuais à tripulação e ao pessoal de manutenção;
- válvula de drenagem - usada para drenar os fluidos para serviço de manutenção;
- indicador de temperatura - indica a temperatura de óleo no reservatório;
- indicador de quantidade de fluido - indica a quantidade de fluido no reservatório para a tripulação.

## 5.2 Bomba manual de dupla ação

A bomba manual de dupla ação pode ser usada quando as bombas de força (principais) entrarem em colapso, provocando a perda de energia hidráulica. Essa bomba supre o sistema hidráulico de maneira eficiente, podendo, ainda, ser utilizada para teste do sistema durante a manutenção no solo.

Consiste, basicamente, em:

- alojamento com um núcleo cilíndrico;
- duas aberturas;
- um pistão;
- duas válvulas unidirecionais;
- uma alavanca de operação;
- um anel de vedação (gaxeta) sobre o pistão, o qual sela contra a fuga de fluido;
- entre as duas cavidades do núcleo cilindro-pistão.

Essa bomba depende de um movimento de vaivém (manual) para transmitir líquido da entrada para a saída e vice-versa, como se pode ver nas Figuras 20.A e 20.B.

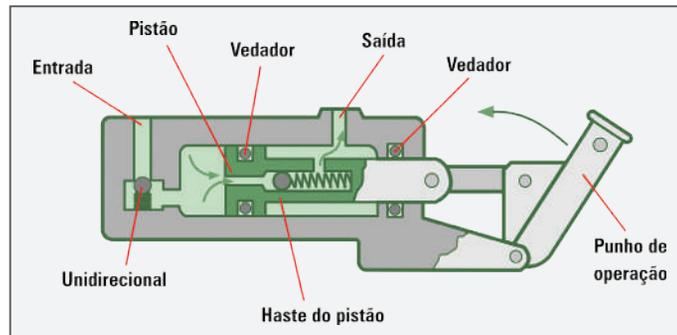


Figura 20.A - Bomba manual de dupla ação com o punho de operação subindo

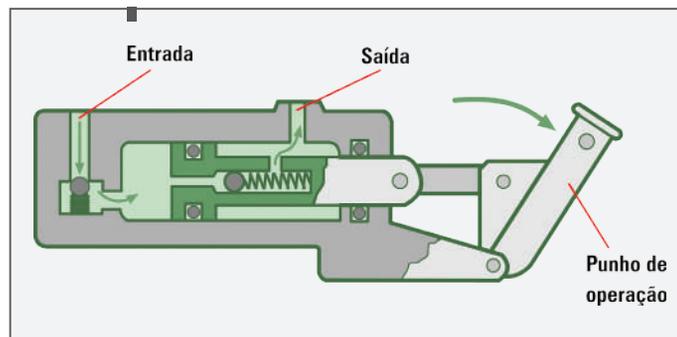


Figura 20.B - Bomba manual de dupla ação com o punho de operação descendo

## 5.3 Bombas acionadas pelo motor

São utilizadas para converter energia mecânica em hidráulica. Sua ação mecânica cria um vácuo parcial na entrada da bomba, o que permite que a pressão atmosférica force o fluido do reservatório, por meio da linha de sucção, a entrar na bomba, passando o fluido para a abertura de descarga, forçando-o por intermédio do sistema hidráulico. Na aviação, encontram-se as bombas do tipo fluxo constante e do tipo fluxo variável.

### 5.3.1 Bombas de fluxo constante

Uma bomba de fluxo constante, independentemente da rotação, força uma quantidade fixa ou constante de fluido por meio do orifício de saída durante cada ciclo da bomba. Pode ser chamada também de bomba de volume constante ou de fluxo fixo. Ela entrega uma quantidade fixa de fluido por revolução, seja qual for a pressão solicitada.

Desde que essa bomba proporcione uma quantidade fixa de fluido durante cada revolução sua, a quantidade de fluido entregue por minuto dependerá da rotação da bomba. Para esse tipo de bomba, um regulador de pressão é necessário.

### 5.3.2 Bomba de fluxo variável

Uma bomba de fluxo variável tem uma saída de fluido variada para satisfazer à demanda de pressão do sistema, de acordo com variação da saída de seu fluido. O fluxo de saída é alterado automaticamente por um compensador instalado na parte interna da bomba.

É geralmente avaliada em termos de descarga volumétrica. Essa descarga de uma bomba pode ser designada de volume de descarga ou capacidade, quantidade de líquido que a bomba pode entregar quando em funcionamento, por unidade de tempo, a dada velocidade de desenvolvimento. Ela pode ser expressa em termos de litros por minuto (LPM) ou galões por minuto (GPM).

Uma bomba não produz pressão por si mesma, pois não pode proporcionar resistência à sua própria **vazão** que, geralmente, é causada por uma restrição ou obstrução no percurso da vazão, seja por unidade seletora, cilindro de trabalho, conexão ou linha. Se a produção de uma bomba encontrar apenas uma resistência pequena, a condição de geração de pressão também será pequena.

A pressão desenvolvida em um circuito é inversamente proporcional à descarga volumétrica da bomba que fornece ao circuito. À proporção que a pressão aumenta, a descarga volumétrica diminui. Essa queda de descarga é causada por um aumento do vazamento interno do lado de saída da bomba para o seu lado de entrada.

Vários são os tipos de mecanismos internos de bombeamento usados em bombas hidráulicas, tais como engrenagens, rotores, palhetas e pistões. O mecanismo tipo pistão é comumente usado em bombas mecânicas devido à sua durabilidade e capacidade de desenvolver alta pressão.

### 5.3.3 Bomba do tipo engrenagem

Consiste em uma carcaça com orifícios de entrada e de saída e de um mecanismo de bombeamento composto de duas engrenagens: a motriz e a movida.

No lado da entrada, os dentes das engrenagens movem-se e o fluido entra na bomba. Este último é conduzido pelo espaço existente entre os dentes e a carcaça, para o lado da saída em que os dentes das engrenagens forçam o fluido para fora do sistema.

Vantagens da bomba do tipo engrenagem:

- eficiente, projeto simples;
- excepcionalmente compacta e leve para sua capacidade;
- resistente à alta pressão de operação;
- resistente aos efeitos de cavitação;
- alta tolerância à contaminação dos sistemas;
- resistente a baixas temperaturas;
- compatibilidade com diferentes tipos de fluidos.



**Vazão:** deslocamento do fluido (óleo), medido em galões por minuto (GPM).

A Figura 21 mostra:

- a) o vácuo é criado na entrada quando os dentes se desengrenam e o óleo é sugado do reservatório;
- b) o óleo, por sua vez, é transportado através da carcaça em câmaras formadas entre os dentes, a carcaça e as placas laterais;
- c) após isso, ele é forçado para a abertura de saída quando os dentes se engrenam novamente;
- d) por último, a pressão de saída, atuando contra os dentes, causa uma carga não balanceada nos eixos, como indicam as setas.

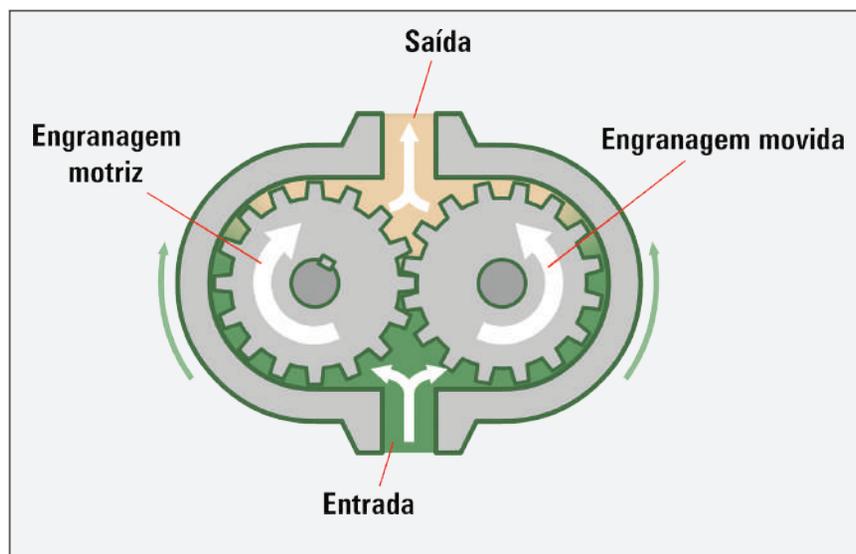


Figura 21 - Bomba manual de dupla ação

### 5.3.4 Bomba do tipo rotor

Consiste em, essencialmente, um alojamento contendo um revestimento estacionário excêntrico, um rotor de engrenagem interno com cinco dentes largos de pequena altura, uma engrenagem motora em forma de espigão com quatro dentes estreitos e uma capa de bomba que contém duas aberturas.

### 5.3.5 Bomba do tipo palheta

A bomba do tipo palheta é um alojamento que contém quatro palhetas (lâminas), um rotor oco de aço com ranhuras para as palhetas e um acoplamento para girar o rotor. Este último é posicionado excêntricamente dentro da luva. Já as palhetas, que estão montadas nas ranhuras do rotor, juntas com o rotor, dividem o núcleo da luva em quatro seções.

À medida que o rotor gira, cada seção, uma de cada vez, passa em um ponto no qual o seu volume está no mínimo e, em outro ponto, no máximo. O volume gradualmente aumenta de mínimo a máximo durante metade de uma revolução. E, do mesmo modo, diminui de máximo para mínimo durante a segunda metade da revolução.

À proporção que o volume de uma dada seção está aumentando, ela é conectada ao orifício de entrada da bomba por meio de uma abertura na luva. Desde que um vácuo parcial é produzido pelo aumento do volume da seção, o fluido é drenado para a seção mediante o orifício de entrada da bomba e da abertura na luva. À medida que o rotor gira na segunda metade da rotação e o volume de uma dada seção está diminuindo, o fluido é deslocado para fora da seção por meio da ranhura na luva do orifício de saída e para fora da bomba.

A bomba do tipo palheta está apresentada na Figura 22.

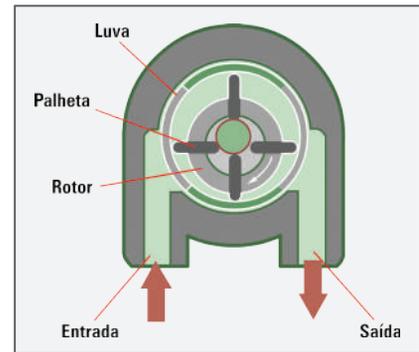


Figura 22 - Bomba do tipo palheta

### 5.3.6 Bomba do tipo pistão

As bombas mecânicas do tipo pistão têm bases de apoio flangeadas, com a finalidade de montagem das bombas na seção de acionamento dos acessórios dos motores da aeronave e das transmissões.

Um eixo motriz, dispositivo de acoplamento da bomba que gira o mecanismo, projeta-se do alojamento da bomba, ligeiramente, além da base de montagem. O torque da unidade motora é transmitido ao eixo motriz da bomba por um dispositivo de acoplamento, disposto na Figura 23. Esse dispositivo é um eixo curto estriado em ambas as extremidades. Essas estrias engrazam no motor e na bomba hidráulica em outra extremidade.

Os acopladores de bomba são projetados para servirem também como dispositivos de segurança. A seção de **cisalhamento** do dispositivo de acoplamento, localizada no meio entre as duas extremidades estriadas, tem menor diâmetro que a parte estriada. Se a bomba se tornar dura para girar, esta seção irá cisalhar, protegendo a bomba ou a unidade motriz de possíveis danos.

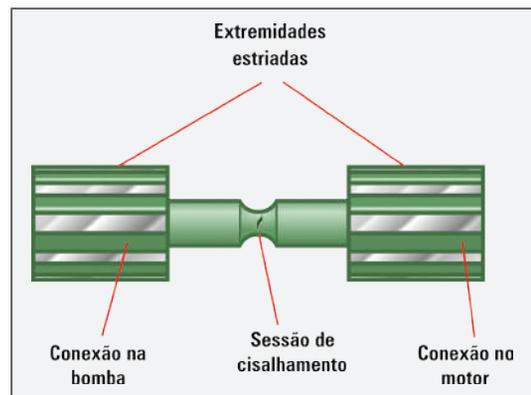


Figura 23 - Dispositivo de acoplamento

O mecanismo básico interno das bombas tipo pistão consiste em um bloco cilíndrico com múltiplos furos cilíndricos, um pistão para cada furo e um dispositivo de válvulas para cada furo. A finalidade desse dispositivo é permitir a entrada e a saída do fluido quando a bomba estiver em funcionamento.

Os furos cilíndricos estão dispostos paralelamente e simetricamente em torno do eixo da bomba.

O termo bomba a pistão axial é usado frequentemente ao se referir a bombas com esse dispositivo. Todas as bombas a pistão-axial de aeronave têm um número ímpar de pistões (5, 7, 9, 11, etc.).



**Engrazam:** o mesmo que encaixam.

**Cisalhamento:** ruptura do eixo peça.

## 5.4 Regulagem da pressão

A pressão hidráulica deve ser regulada de forma que o sistema possa cumprir as suas funções com segurança. Os sistemas de regulagem de pressão usarão, portanto, três dispositivos elementares: uma válvula de alívio, um regulador e um medidor de pressão.

### 5.4.1 Válvulas de alívio

As válvulas de alívio são utilizadas para:

- limitar a pressão máxima de um sistema;
- regular a pressão reduzida para cada subsistema;
- assumir várias posições, entre os limites de totalmente fechada a totalmente aberta.

A válvula de alívio de pressão limita a quantidade de pressão que está sendo exercida em um líquido confinado, conforme estabelecido pelo fabricante, prevenindo a falha dos componentes ou a ruptura das linhas hidráulicas sob pressão excessiva. É, portanto, uma válvula de segurança do sistema. Ela é ajustável internamente por pressão de mola. Além disso, descarrega o fluido da linha de pressão para a linha de retorno ao reservatório, quando a pressão excede a um máximo predeterminado para o qual ela foi regulada.

As válvulas de alívio de pressão são classificadas quanto ao seu tipo de construção ou usos no sistema, porém a forma de operação de todas as válvulas é a mesma. A diferença básica na construção dessas válvulas está no seu desenho.

Os tipos mais comuns de válvulas são:

- tipo esfera - tem um dispositivo valvulado de esfera. A esfera repousa sobre um batente com o seu contorno. Uma pressão atuando sobre sua base empurra-a para fora do batente, permitindo fluxo de retorno fluido;
- tipo luva - tem um dispositivo valvulado de luva. A esfera permanece estacionária e o batente tipo luva é movimentado pela pressão do fluido. Isso permite ao fluido passar entre a esfera e a sede da luva deslizante;
- tipo gatilho - tem um dispositivo valvulado do tipo gatilho. Basicamente, são um cone e uma sede usinados em ângulos casados para prevenir contra a fuga de fluido. À medida que a pressão sobe a sua regulagem, o gatilho é levantado para fora da sua sede. Isso permite ao fluido passar pela abertura criada e ir para o retorno.

As válvulas de alívio de pressão (Figura 24) podem ser usadas como:

- válvulas de alívio do sistema – são usadas como um dispositivo de segurança contra a possibilidade de falha do compensador da bomba ou outros dispositivos de regulagem de pressão;

- válvulas de alívio térmico - são usadas para aliviar as pressões excessivas, que possam existir devido à expansão térmica do fluido.

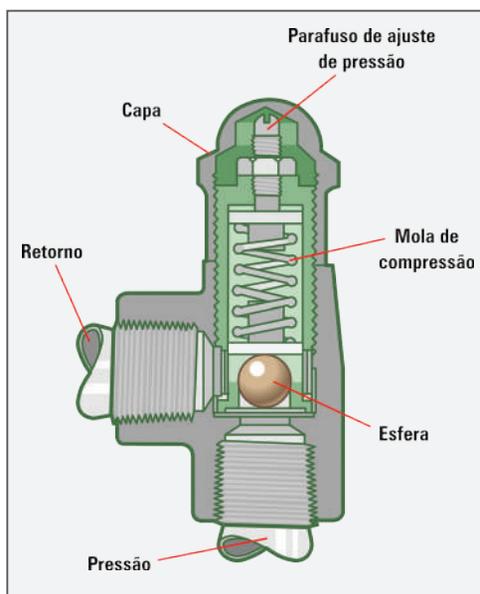


Figura 24 - Válvulas de alívio de pressão

## 5.4.2 Reguladores de pressão

Estes são dispositivos usados nos sistemas hidráulicos, que são pressurizados pelas bombas do tipo de fluxo constante. Têm como função controlar a saída da bomba para manter a pressão de operação do sistema dentro de uma faixa predeterminada e também permitir à bomba girar sem resistência (período em que ela não está sob carga). O regulador de pressão está localizado no sistema, no qual a saída da bomba pode alcançar o circuito de pressão somente passando pelo regulador.

## 5.4.3 Medidores de pressão

Os medidores de pressão medem a pressão no sistema hidráulico. Para isso, utilizam internamente um **tubo de Bourdon** e um dispositivo mecânico para transmitir a expansão do tubo ao indicador, conforme mostra a Figura 25.

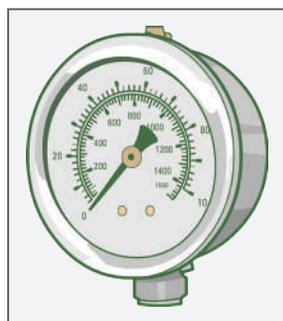


Figura 26 - Medidores de pressão

Uma tomada de ar no fundo da caixa mantém a pressão atmosférica em torno do tubo de Bourdon, que também proporciona um dreno para qualquer umidade acumulada, de acordo com o apresentado na Figura 26.

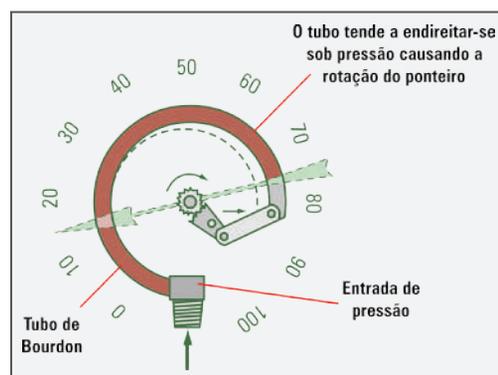


Figura 25 - Medidores de pressão

**Tubo de Bourdon:** elemento sensor para a medição mecânica de pressão.



## 5.5 Acumuladores

Os acumuladores têm como funções:

- manter a pressão do sistema;
- desenvolver o fluxo no sistema;
- absorver choques no sistema;
- absorver o aumento da pressão causado pela expansão térmica;
- manter a pressão do sistema ou movimentar o atuador, evitando, assim, oscilação.

### 5.5.1 Tipos de acumuladores

Possuem as mesmas finalidades, mas diferem nas formas físicas. Os tipos mais comuns são: formato esférico, do tipo diafragma, e formato cilíndrico, do tipo pistão.

#### a) Acumuladores do tipo diafragma

Os acumuladores do tipo diafragma têm duas metades de esferas ocas, presas juntas pela linha do centro, uma parte tem um conector para fixação da unidade ao sistema e a outra metade é equipada com uma válvula para o carregamento da unidade com nitrogênio.

Montado entre as duas peças externas unidas por um parafuso está um diafragma de borracha sintética, que divide o tanque em dois compartimentos. Uma tela cobre a saída sobre o lado do fluido do acumulador. Isso previne que uma parte do diafragma seja empurrada para o orifício de pressão do sistema e que este seja danificado. A Figura 27 apresenta um acumulador do tipo diafragma.

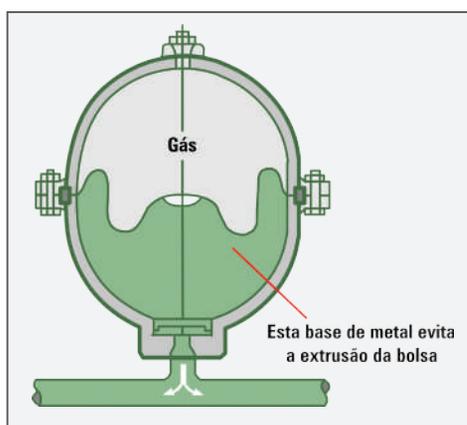


Figura 27 - Acumulador do tipo diafragma

#### b) Acumuladores do tipo pistão

Constituem-se de um corpo cilíndrico possuidor de duas tampas de vedação nas duas extremidades. Em seu interior, existe um pistão flutuante que separa compartimentos distintos do acumulador de óleo e de nitrogênio. Gaxetas isolam as duas câmaras e o conector em uma extremidade para fixação da unidade ao sistema e, na outra, é equipada com uma válvula para o carregamento da unidade com nitrogênio. A Figura 28 mostra um acumulador do tipo pistão.

A manutenção de acumuladores consiste em inspeções, pequenos reparos, substituições de partes componentes e teste.

Ações de manutenção rotineiras:

- verificar, visualmente, se há vazamento de óleo externamente, e, por meio de água e sabão, se há escapamento de nitrogênio externamente;
- observar o vazamento interno, desapertando o corpo da válvula de enchimento, se o óleo sair por ela, é evidente indício.

## 5.6 Válvulas

Válvulas são unidades hidráulicas com a função de direcionar o fluxo, reter vazamento e reduzir pressão ou vazão de fluido em um sistema.

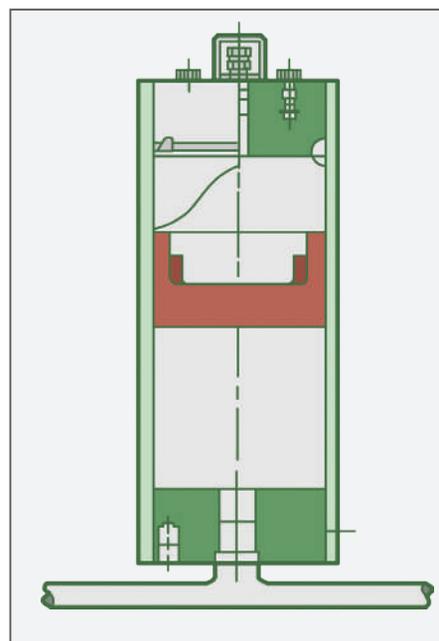


Figura 28 - Acumulador do tipo diafragma

### 5.6.1 Válvula unidirecional

A válvula unidirecional é comumente usada para controle de fluxo de fluido. Ela permite o livre fluxo do fluido em uma direção, mas não o permite no sentido oposto, ou o faz com restrição.

### 5.6.2 Válvula unidirecional em linha

Permite a passagem de óleo sob pressão somente em uma direção, impedindo que ele flua em direção oposta.

O fluido entra no orifício de entrada da válvula unidirecional, forçando-a a sair do seu alojamento contra a restrição da mola. Isso permite ao fluido seguir por meio da passagem então aberta.

No exato momento em que o fluido para de se mover nessa direção, a mola retorna à válvula para a sua sede e bloqueia o fluxo reverso de fluido por intermédio desta.

A direção do fluido por meio das válvulas unidirecionais em linha é, normalmente, indicada por uma seta pintada sobre a carcaça, uma única seta aponta para a direção do fluido.

### 5.6.3 Válvula unidirecional do tipo orifício

A válvula unidirecional em linha tipo orifício é usada para permitir uma velocidade normal de operação de um mecanismo pelo fornecimento de um fluxo de fluido em uma direção, enquanto permite uma velocidade limitada de operação por meio de um fluxo restrito na direção oposta.

A operação da válvula unidirecional em linha tipo orifício é a mesma da válvula unidirecional em linha tipo simples, exceto quanto ao fluxo restrito permitido quando fechado. Isso é conseguido

por uma segunda abertura na sede da válvula, que nunca está fechada, de tal maneira que algum fluxo reverso pode ocorrer por meio da válvula. A segunda abertura é muito menor que a abertura na sede da válvula. Como uma regra é de um tamanho específico, de modo a manter um controle total sobre a razão na qual o fluido pode voltar por intermédio da válvula.

Essa válvula unidirecional é, em geral, marcada com duas setas. Uma seta é mais pronunciada que a outra e indica a direção do fluxo irrestrito. A outra seta ou é menor que a primeira ou é construída em linhas pontilhadas, apontando no sentido do fluxo reverso restrito de fluido. As Figuras 29.A, 29.B, 29.C e 29.D apresentam as válvulas unidirecionais.

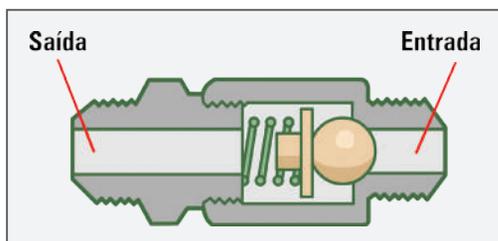


Figura 29.A - Em linha simples - tipo esfera

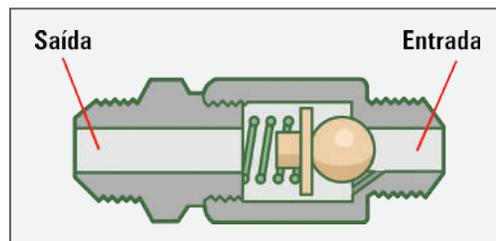


Figura 29.B - Em linha tipo orifício - tipo esfera

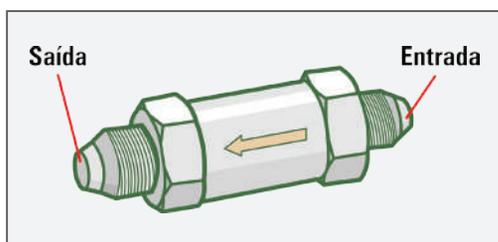


Figura 29.C - Direção do fluxo no tipo simples

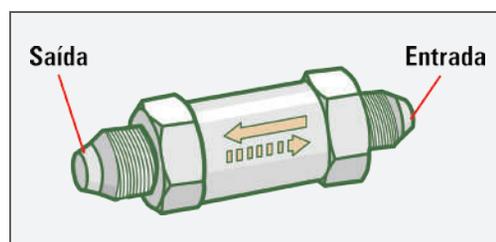


Figura 29.D - Direção do fluxo no tipo orifício

#### 5.6.4 Válvula para desconexão rápida ou para desconexão de linha

Existem partes em um circuito hidráulico em que o desligamento de linhas é frequente e sucessivo. Nesse sentido, para que não haja uma perda de fluido e ainda uma colocação de inúmeros bujões para impedir o vazamento, usam-se válvulas desconectoras ou de desligamento de linhas (Figura 30.A), uma vez que elas permitem o fluxo normal de líquido pelas tubulações. No entanto, quando são desligadas, sua construção interna corta a vazão total do fluido, evitando a perda para a atmosfera.

Esse tipo de válvula é utilizado frequentemente nos aviões porque permite ao mecânico maior facilidade de manejo.

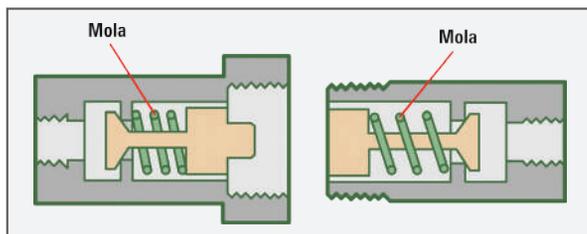


Figura 30.A - Válvulas para desconexão rápida que se conectam

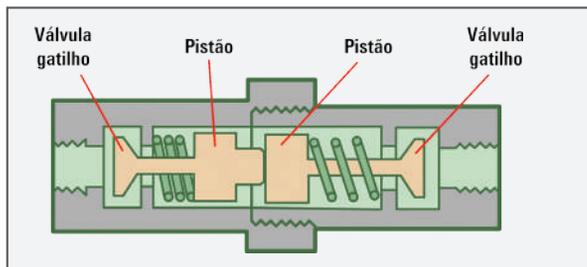


Figura 30.B - Válvulas conectadas

## 5.7 Cilindros atuadores

Os cilindros atuadores consistem, basicamente, em um cilindro com um ou mais pistões internos. Com o pistão no interior do cilindro, este se torna possuidor de duas áreas internas. A área em que a haste está situada é chamada área menor, pois possui menos espaço para o fluido, enquanto a outra é maior e, conseqüentemente, possui mais espaço para alojar o fluido. São encontrados em uso na aviação cilindros com um, dois ou três orifícios.

### 5.7.1 Cilindro atuador de ação única

À medida que o pistão se move, o ar é empurrado para fora da câmara da mola por meio do orifício de ventilação, comprimindo-a. Quando a pressão no fluido é aliviada para o ponto em que ela exerce menos força, apresentada na mola comprimida, a mola empurra o pistão, expulsando o óleo. A Figura 31 ilustra um cilindro atuador de ação única.

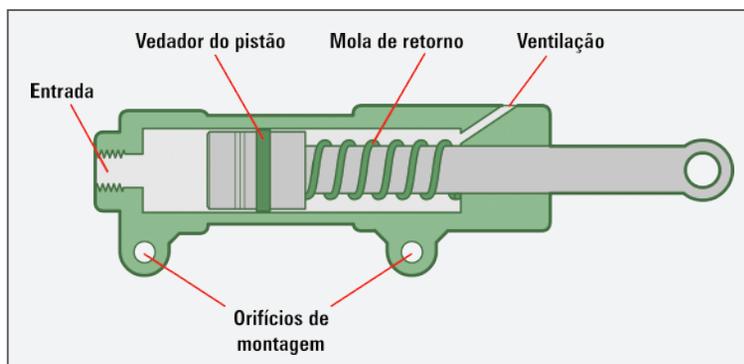


Figura 31 - Cilindro atuador de ação única

## 5.7.2 Cilindro atuador de dupla ação

O líquido sob pressão atua em uma área e força o êmbolo em direção a outra, que, ao ser movimentado, faz com que o pistão expulse o líquido ali contido, enviando-o para o retorno. Com esse tipo de cilindro, o mecanismo pode mover-se em duas direções, de acordo com a entrada da pressão do sistema (Figura 32).

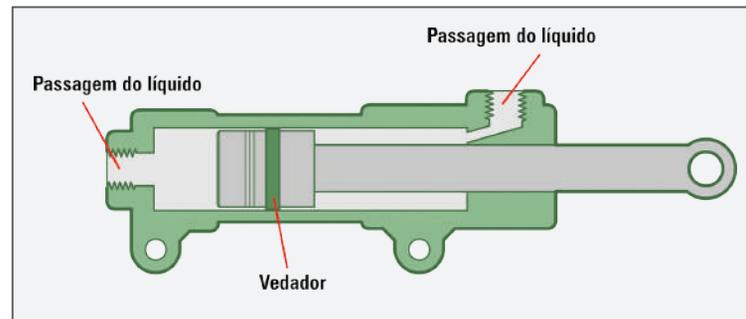


Figura 32 - Cilindro atuador de dupla ação

## Resumindo

Neste capítulo, apresentaram-se as unidades hidráulicas que, juntamente aos fluidos e às relações da física ligadas a essas unidades, permitem os comandos dos subsistemas hidráulicos das aeronaves.

Nesse intuito, abordaram-se as características e os princípios de funcionamento dos reservatórios de sistema hidráulico, cuja função principal é o armazenamento de fluido do sistema. A bomba manual de dupla ação é usada quando as bombas de força (principais) entram em colapso, provocando a perda de energia hidráulica. Já as bombas acionadas pelo motor são utilizadas para converter energia mecânica em hidráulica. A regulagem da pressão é a unidade que garante ao sistema cumprir as suas funções com segurança e os acumuladores e cilindros atuadores são destinados a utilizar a força hidráulica para produzir movimento.

# Capítulo 6

## Caracterização dos sistemas de trens de pouso

O sistema de trens de pouso é usado para amortecer os choques do avião contra a pista de aterrissagem ou suavizar seus movimentos nas rolagens e nos deslocamentos nos aeroportos. Portanto, os trens de pouso das aeronaves são constituídos de amortecedores de choque óleo-pneumático de dupla ação, elementos imprescindíveis nas aeronaves de asas fixas e em algumas de asas rotativas.

O modo de operação de uma aeronave determinará a disposição dos trens de pouso e dos amortecedores, levando-se em consideração, por exemplo, o centro de gravidade dela, o perfeito alinhamento, a fixação e o modo retração do trem, primordiais para o desempenho operacional dos aviônicos diariamente. Diante disso, os sistemas de extensão em emergência e dispositivos de segurança do trem de pouso devem estar em perfeito funcionamento, já que é a última opção da tripulação em caso de o sistema normal não operar corretamente.

Os sistemas de direção da roda do nariz e os amortecedores de vibração são essenciais às manobras de solo nos aeroportos e nos hangares de manutenção. Por isso, existe grande exigência quanto ao conhecimento desse sistema, uma vez que precisa ser cuidadosamente preparado para cumprir suas tarefas e as constantes solicitações no pouso e na decolagem.

### 6.1 Disposição dos trens de pouso

Muitas vezes, devido às necessidades operacionais e regionais, as aeronaves podem necessitar pousar e decolar no meio aquático ou terrestre. Nesse sentido, de acordo com o trem de pouso em uso, as aeronaves podem ser classificadas em hidroaviões (com flutuadores), aviões terrestres (com trem de pouso) e aviões anfíbios (flutuadores e trem de pouso).

Quando se fala em aeronaves comerciais e particulares, a maioria decola e pousa em aeroportos ou em pequenos aeródromos, nesse contexto são utilizados o pouso e a decolagem convencional, conhecidos, em inglês, como *conventional take-off and landing* (CTOL), cujo arranjo de trem de pouso mais apropriado é o triciclo.

Vantagens na utilização do trem de pouso triciclo:

- possibilita maior aplicação de força dos freios nas altas velocidades de pouso sem elevação do nariz;
- aumenta a visibilidade dos tripulantes durante o pouso e o **taxiamento**;
- tende a evitar o levantamento do nariz, movendo o centro de gravidade da aeronave para a frente das rodas principais. As forças atuam no centro de gravidade (CG);
- tende a manter a aeronave movendo-se para a frente, em linha reta antes do levantamento do nariz.



**Taxiamento:** deslocamento no solo.

O peso da aeronave, a localização do CG e o tamanho da fuselagem são analisados na escolha do número de rodas e no tipo de amortecedor. Quando se trata de projeto de engenharia, a pressão usada nos amortecedores e pneus, durante a sua utilização, permite uma maior margem de segurança ao operador da aeronave em todas as localidades, porém, uma eficiência maior é exigida, em localidade com altitudes elevadas, muito acima do nível do mar, pistas pequenas, pistas não pavimentadas e lugares muito frios.

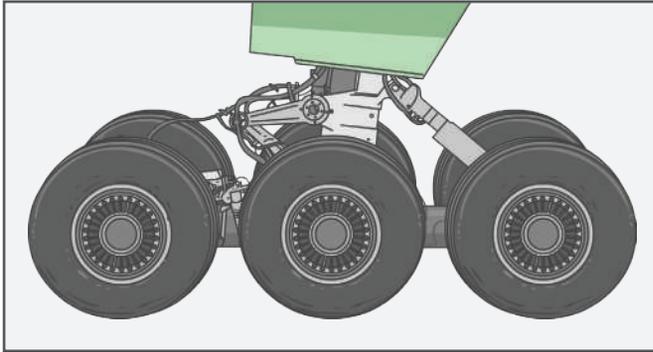


Figura 33 - Trem de pouso principal, tipo triciclo

Aeronaves pesadas podem usar quatro ou mais rodas. Quando as rodas são fixadas a uma perna de força, o mecanismo de fixação é chamado de truque (*truck* ou *bogie*).

O trem de pouso triciclo, apresentado na Figura 33, consiste em amortecedores a óleo/ar, unidades de alinhamento das pernas principais, unidades de suporte, mecanismos de segurança e retenção, mecanismo de proteção da perna de força auxiliar, sistemas de direção da roda do nariz, rodas da aeronave, pneus câmaras de ar e sistemas de freio da aeronave.

## 6.2 Amortecedores

São unidades hidráulicas que compõem o conjunto do trem de pouso, abastecidas com óleo hidráulico e nitrogênio. Em conjunto com outros componentes, suportam o peso da aeronave no solo, absorvendo efeitos prejudiciais à estrutura e dissipando as tremendas cargas de choque nos pousos. Dessa forma, os amortecedores devem ser inspecionados e reabastecidos regularmente para funcionar eficientemente, conforme orientações nos manuais técnicos.

O amortecedor, demonstrado na Figura 34, constitui-se basicamente de dois cilindros telescópicos ou tubos, com as extremidades externas fechadas, denominados de cilindro e pistão, quando montados, formam uma câmara superior e uma inferior para movimento do fluido.

A câmara inferior recebe o fluido hidráulico e a superior o nitrogênio ou ar comprimido seco sob pressão. Um orifício está colocado entre as duas câmaras e permite uma passagem do fluido para a câmara superior durante a compressão e o retorno durante a extensão do amortecedor, processo de amortecimento de impacto.

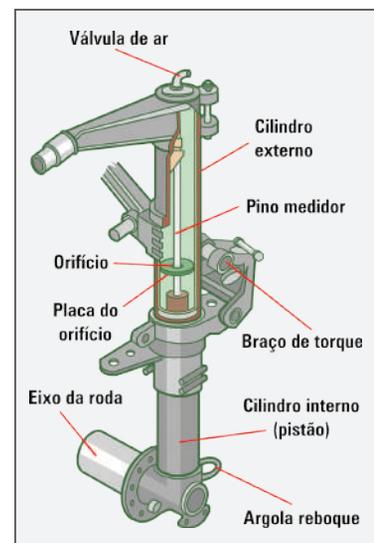


Figura 34 - Amortecedor do trem de pouso do tipo medidor

A Figura 35 apresenta a parte interna de um amortecedor do trem de pouso do tipo medidor.

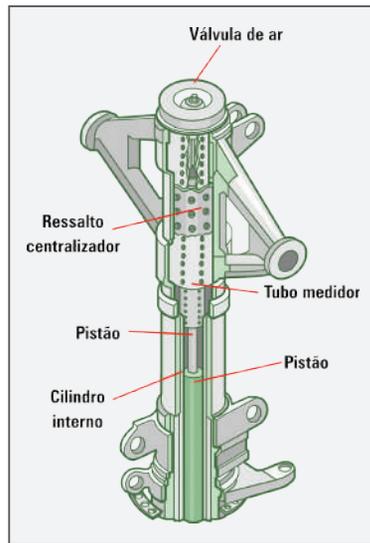


Figura 35 - Parte interna do amortecedor do trem de pouso do tipo medidor

Os trens possuem um eixo fixado ao cilindro inferior para a instalação das rodas (Figura 36). Todos os amortecedores possuem convenientes conexões que permitem sua fixação à estrutura da aeronave.

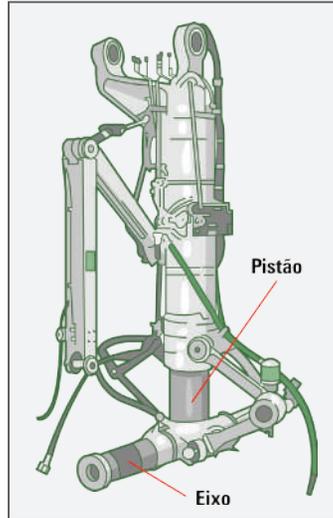


Figura 36 - Eixo para instalação das rodas

Um anel limpador está também instalado em uma ranhura no apoio inferior. Na maioria dos amortecedores, ele mantém a superfície de deslizamento do pistão ou cilindro interno livre de lama, gelo ou neve, pois a entrada de matérias estranhas na gaxeta sobreposta resultará em vazamentos.



**Gaxeta sobreposta:** um anel de vedação em cima de outro anel de vedação.

## 6.3 Alinhamento, fixação e retração do trem

Os trens de pouso devem ser inspecionados, testados e checados frequentemente para uma perfeita operação do sistema. O alinhamento deve ser verificado a fim de evitar tendências laterais durante o deslocamento no solo. Além disso, é necessário verificar a fixação e a retração do trem do pouso para possibilitar total segurança, impedindo o recolhimento e possíveis danos materiais e humanos.

### a) Alinhamento

O braço de torque (Figura 37), também conhecido como tesoura de torção, mantém os trens de pouso direcionados para frente. Está fixado nos cilindros superior e inferior dos amortecedores, para manter o correto alinhamento da roda, as tesouras (braço de torque) são articuladas no centro, possibilitando, assim, o movimento no cilindro para cima e para baixo.

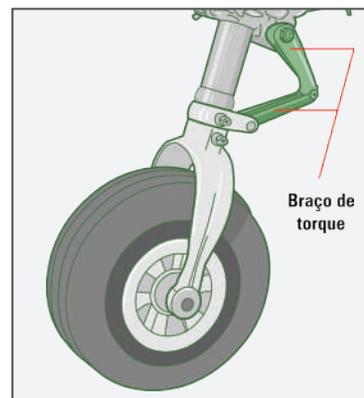


Figura 37 - Braço de torque

### b) Fixação

Para prender a perna de força principal na estrutura da aeronave, são empregados um munhão, representado na Figura 38, e alguns suportes desenvolvidos para permitir a torção para frente ou para trás quando o trem de pouso estiver sendo recolhido e estendido.

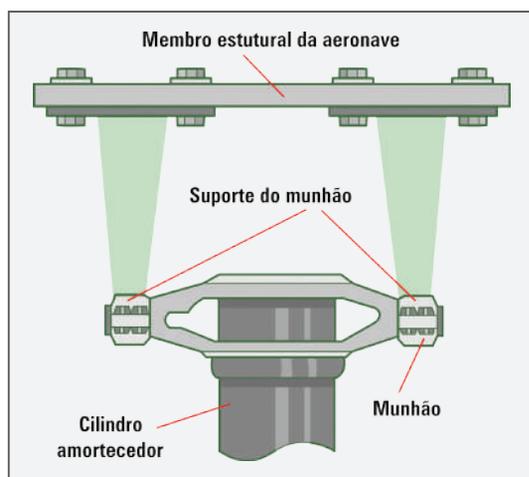


Figura 38 - Montagem do munhão e suporte

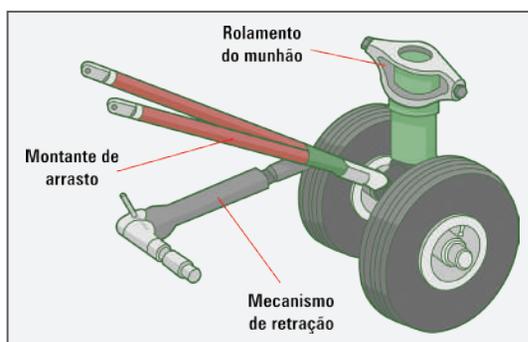


Figura 39 - Ligações dos montantes de arrasto

No solo, são usadas hastes e tirantes, um exemplo é o tirante contra o arrasto (*drag strut*), torção para frente ou para trás do trem de pouso. A parte superior do tirante contra o arrasto está conectada à estrutura da aeronave, enquanto a parte inferior está conectada à perna de força. As ligações dos montantes de arrasto são evidenciadas na Figura 39.

### c) Retração do trem

Um sistema elétrico de retração do trem de pouso, tal como o mostrado na Figura 40, tem as seguintes características: um motor para converter energia elétrica em movimento rotativo; um sistema de engrenagens de redução para reduzir a velocidade do motor, aumentando, assim, a força de rotação; outras engrenagens para transformar o movimento de rotação (a uma velocidade reduzida) em movimento de vaivém; hastes para conexão do movimento de vaivém para a perna de força.

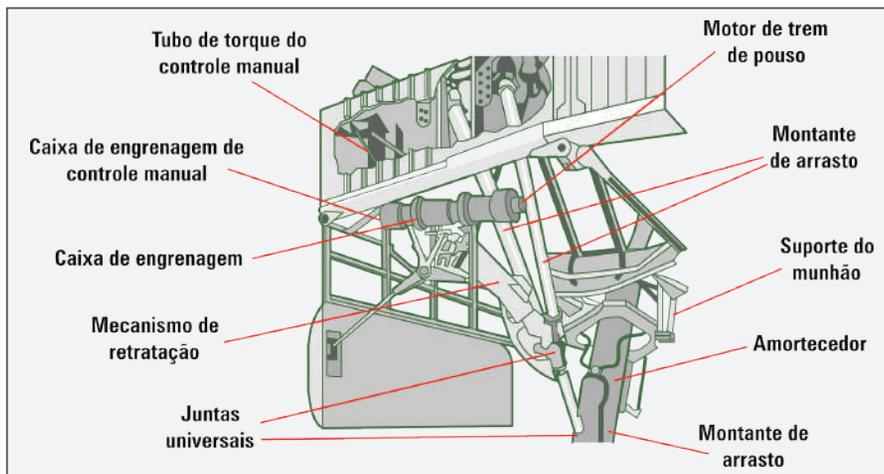


Figura 40 - Sistema de retração elétrico

A operação de um sistema hidráulico de retração do trem de pouso, representada na Figura 41, deve acontecer da seguinte maneira:

- a válvula seletora deve estar na posição em cima (*UP*), o fluido pressurizado segue, então, para a linha de subida do trem, direcionando-se para as oito unidades do circuito;
- o líquido flui para as válvulas de sequência (C) e (D). Com estas fechadas, o fluido pressurizado não é dirigido para os cilindros da porta e as portas não serão fechadas. O fluido entra nos três cilindros da trava embaixo, o qual mantém o trem de pouso destravado. Ao mesmo tempo, ele penetra na parte superior de cada cilindro de atuação e nas pernas de força para cima;
- a perna de força do nariz completa a retração e o travamento em cima, antes da perna de força principal, pois o cilindro de atuação é menor, sua porta é operada somente por hastes ligadas à perna de força, a qual se fecha;

- o fluido passa por um orifício da válvula de retração, atuando com a válvula de seqüência (A) ou (B). Quando as pernas principais estão totalmente recolhidas e engrazam sob a ação de mola, a trava superior e os mecanismos de ligação comandam o pino de atuação das válvulas de seqüência (C) e (D). Isso abre estas válvulas e permite que o fluido penetre nos cilindros de atuação das portas, fechando-as.

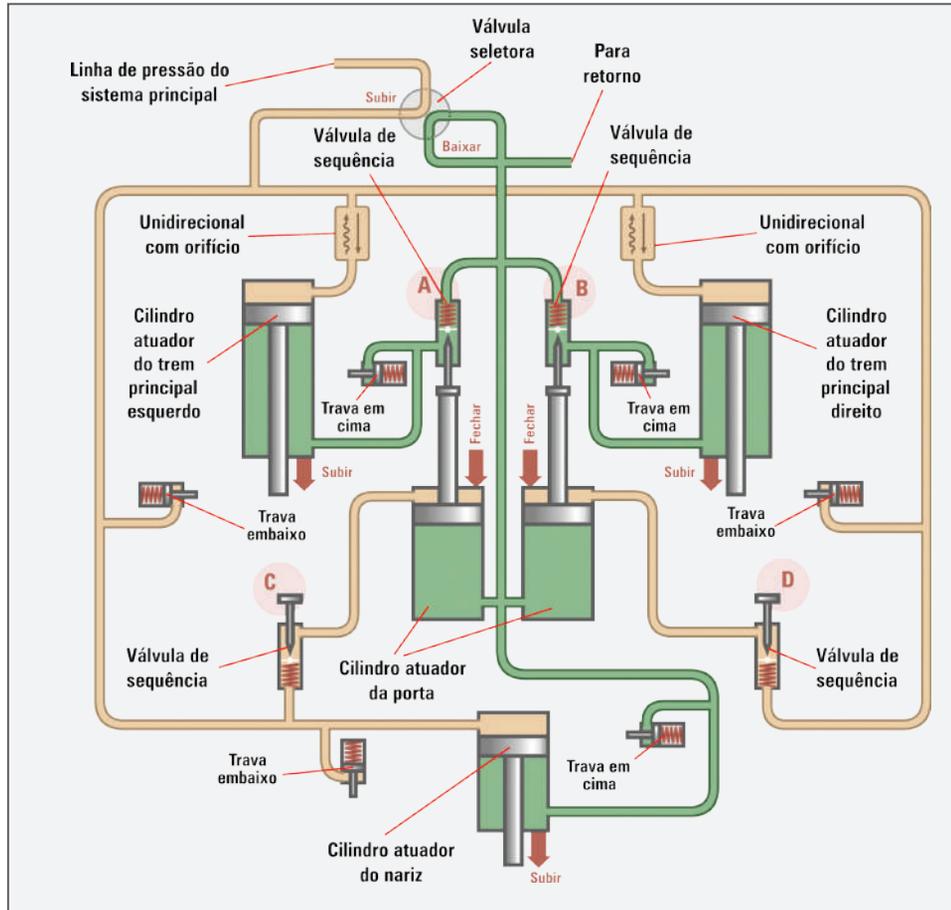


Figura 41 - Esquema hidráulico de retração do trem de pouso

## 6.4 Sistemas de extensão em emergência

O sistema de extensão em emergência, travamento embaixo, possibilita descer o trem de pouso se o sistema principal falhar.

Algumas aeronaves têm um punho na cabine que permite, quando acionado, a queda livre, isto é, o abaixamento do trem de pouso pelo próprio peso.

A pressão hidráulica para a operação em emergência pode ser fornecida por uma bomba manual auxiliar, um acumulador ou uma bomba hidráulica acionada eletricamente, dependendo do desenho da aeronave.

## 6.5 Dispositivos de segurança do trem de pouso

São usados para dar indicação visual ao piloto da posição do trem de pouso, a fim de evitar que o do nariz recolha em uma posição capaz de danificar seu alojamento.

### 6.5.1 Indicação de posição

Para proporcionar uma indicação visual da posição do trem de pouso, indicadores são instalados na cabine ou no compartimento de voo.

Mecanismos ou dispositivos de alarme estão incorporados em todas as aeronaves com trens de pouso retráteis e usualmente consistem em uma buzina, ou algum outro dispositivo sonoro, e uma lâmpada vermelha de aviso.

A buzina soará e a lâmpada estará acesa quando uma ou mais manetes forem retardadas e o trem de pouso estiver em alguma posição que não seja baixado e travado.

Indicações por meio de luzes mostram a posição do trem de pouso à tripulação no painel de instrumentos.

### 6.5.2 Centralização da roda do nariz

Durante a retração do trem de pouso do nariz, um mecanismo de centralização concentra a roda por meio de ressaltos internos. Se essa unidade centralizadora não estiver incluída no sistema, o alojamento da roda e das unidades próximas poderá ser danificado. É possível verificar o ressalto centralizado interno da perna do nariz na Figura 42.

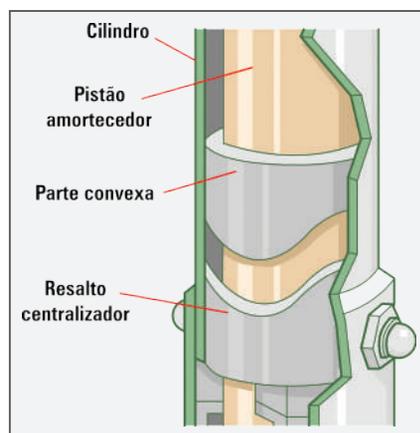


Figura 42 - Vista em corte do ressalto centralizador interno da perna do nariz

## 6.6 Sistemas de direção da roda do nariz

As aeronaves leves são normalmente equipadas com direção da roda do nariz. Existe um sistema simples de ligações mecânicas, conectadas aos pedais do leme de direção. As hastes rígidas

são um exemplo mais comum que conectam os pedais nas alavancas, localizadas na porção pivotada da perna de força do nariz.

As grandes aeronaves utilizam uma fonte de força, que poderá ser hidráulica para a direção da roda do nariz, a qual normalmente será composta por:

- controle na cabine, como volante, punho, manete ou interruptor (para permitir a partida, a paralisação e controlar a ação do sistema);
- conexões mecânicas, elétricas ou hidráulicas para a transmissão dos movimentos de controle da cabine para uma unidade de controle da direção;
- unidade de controle, que poderá ser válvula de controle ou medidora;
- cilindros direcionais;
- mecanismo de neutralização;
- válvulas de segurança para permitir que as rodas fiquem livres para as mudanças de direção, no caso de falha do sistema hidráulico.

As unidades hidráulicas e mecânicas do sistema da perna do nariz são representadas na Figura 43.

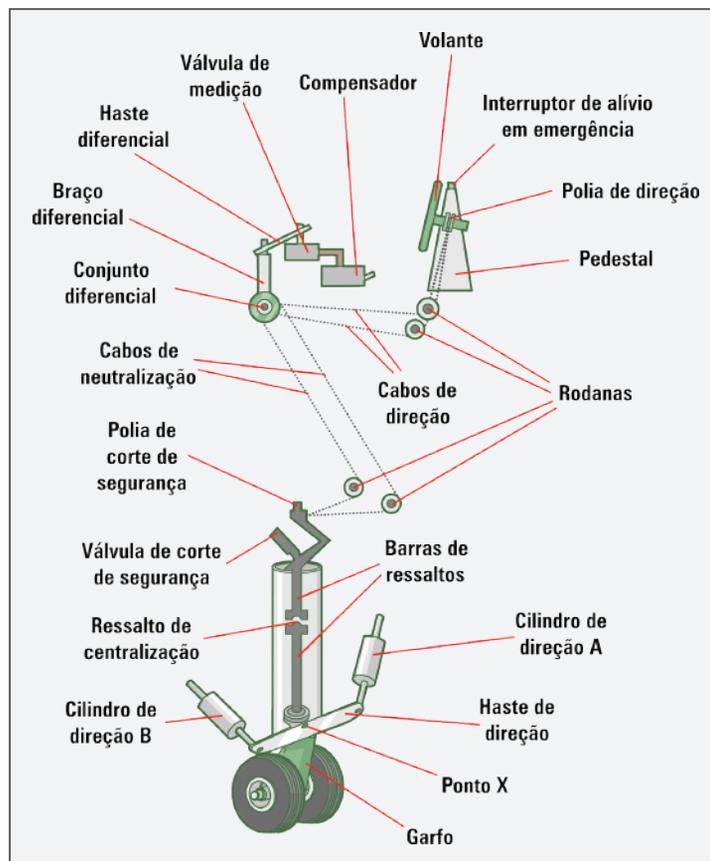


Figura 43 - Unidades hidráulicas e mecânicas do sistema da perna do nariz.

## 6.7 Amortecedores de vibração

Na decolagem, o trem de pouso dianteiro das aeronaves tende a sofrer vibrações no seu conjunto, que serão sentidas na cabine no painel de instrumentos e estrutura. Esse fenômeno pode danificar a estrutura da aeronave, prejudicar os instrumentos deixando-os não confiáveis e ainda fazer com que o piloto perca o controle da aeronave em velocidades maiores no solo.

Portanto, os amortecedores de vibração (Figura 44), geralmente, estão instalados no trem do pouso do nariz e têm como função minimizar as vibrações por meio de seus mecanismos internos: molas, pistão ou ar comprimido.

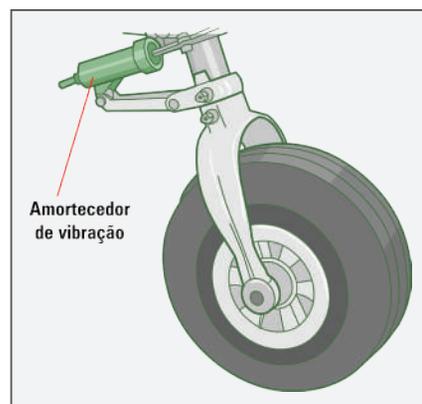


Figura 44 - Amortecedor de vibração

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os trens de pouso, dispositivos usados para amortecer os choques do avião contra a pista de aterragem ou suavizar seus movimentos nas rolagens, nos deslocamentos nos aeroportos. Foi descrita a disposição dos trens de pouso e amortecedores, levando-se em consideração, por exemplo, o centro de gravidade da aeronave; o perfeito alinhamento, a fixação e o modo de retração do trem, que são primordiais para o desempenho operacional das aeronaves diariamente.

Foram expostos, ainda, os sistemas de extensão em emergência e dispositivos de segurança do trem de pouso, que deverão estar em perfeito funcionamento, já que consiste na última opção da tripulação em caso de o sistema normal não operar corretamente. Também foram tratados os sistemas de direção da roda do nariz e os amortecedores de vibração, que são essenciais às manobras de solo nos aeroportos e nos hangares de manutenção.



# Capítulo 7

## Sistemas de freio

Os sistemas de freio são empregados para deter os aviões durante a rolagem ou após a aterrissagem e, em muitos casos, para dirigir o avião nos deslocamentos em solo. Eles são acionados pelos mesmos pedais que comandam o leme de direção. Esse sistema incorpora também um dispositivo, que deve ser usado quando a aeronave estiver parada no pátio de estacionamento.

Os sistemas de freio devem proporcionar força suficiente para parar a aeronave em uma razoável distância, permitindo que ela fique estática durante os giros de manutenção, teste e operação do motor.

Localizados nas rodas das pernas de força principais, podem atuar independentemente um do outro. O freio da roda direita será controlado pela aplicação da parte superior do pedal de direção direito e o da roda esquerda controlado pelo pedal de direção esquerdo.

Os três tipos de sistemas de freio geralmente usados são: sistemas independentes, de controle de força e de reforço de força.

### 7.1 Sistemas de freio independentes

Este sistema não depende do sistema hidráulico da aeronave. É sempre comandado por um cilindro mestre localizado abaixo dos pedais de comando.

O sistema é composto de reservatório, cilindros mestres, ligações mecânicas que conectam cada cilindro mestre com o seu correspondente pedal de freio, linhas de fluido hidráulico e conexões e um conjunto de freio em cada roda das pernas de forças principais.

O cilindro mestre transforma o trabalho de pressão nos pedais em pressão hidráulica, realizando trabalho como se fosse uma bomba de ação simples acionada pelo pé, que força um êmbolo contra uma área de fluido, criando pressão a ser transmitida para os conjuntos de freios.

No cilindro mestre com reservatório incorporado (Figura 45), pode ou não haver um visor

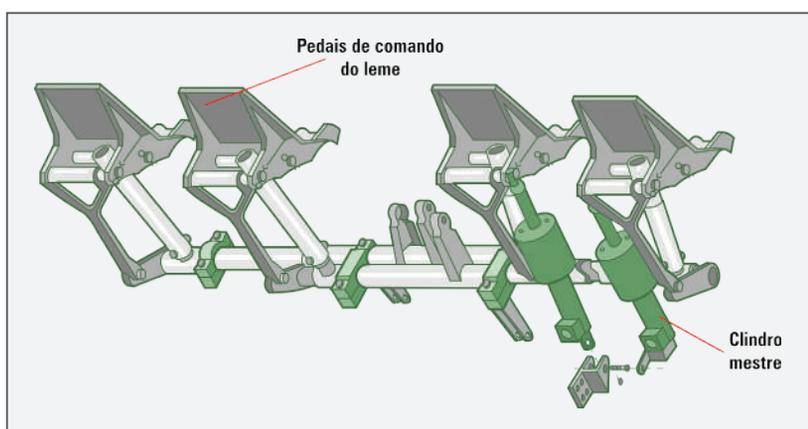


Figura 45 - Cilindro mestre

também incorporado em seu interior, e o sem reservatório incorporado nunca terá esse tipo de visor. Nesse caso, o visor estará no reservatório que se encontra separado do cilindro mestre.

Veja-se um sistema de freio independente na Figura 46.

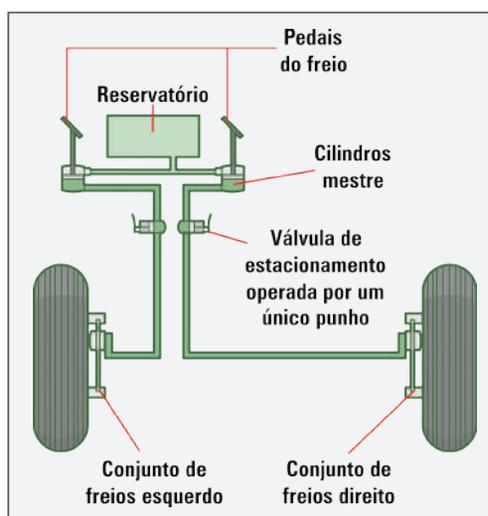


Figura 46 - Sistema de freio independente

## 7.2 Sistemas de controle de freio de força

São usados nas aeronaves em que os freios devem ser potentes, devido ao grande porte da aeronave, necessitando, assim, de volume de fluido adicional para a operação. Isso significa uma maior disponibilidade de fluido em altas pressões e, por essa razão, sistemas com cilindros mestre independentes não são praticáveis em aeronaves pesadas.

### 7.2.1 Válvula de controle de freio tipo esfera

Sua função é aliviar e regular a pressão do sistema principal para os freios, e aliviar a expansão térmica quando estes não estiverem sendo usados.

Quando a pressão do pé é aplicada na parte superior dos pedais, ela permite que a pressão do sistema principal penetre na linha do freio, até que haja um equilíbrio entre a ação de pressão no pedal e a pressão do sistema hidráulico para os freios, ocorrendo, nesse momento, o assentamento da válvula de esfera, fechando a passagem da pressão do sistema.

### 7.2.2 Válvula de controle de freio tipo carretel deslizante

Consiste em uma luva e um carretel instalados em um corpo. O carretel se move dentro da luva, abrindo ou fechando tanto a passagem de pressão quanto o retorno para a linha do freio.

Duas molas têm primordial importância nesse componente. São elas:

- mola maior (mola do pino) - dá sensibilidade para o pedal do freio;
- mola pequena - retorna o carretel para a posição neutra.

## 7.3 Cilindros redutores

São usados em conjunto com as válvulas de controle dos freios. Esses componentes são usados em unidades de alta pressão e freios de baixa pressão. A função desses cilindros é reduzir a pressão para os freios e aumentar o volume do fluxo de fluido.

Estão instalados na linha de pressão entre a válvula de controle e o freio, sendo atuados somente quando o freio é acionado.

## 7.4 Sistemas de freio com aumento de força

Este sistema é usado em aeronaves que pousam rápido demais para empregar o sistema de freios independentes. Entretanto, são muito leves no peso para utilizar válvulas de controle de freio assistido. Nessa configuração, uma linha é tomada do sistema hidráulico principal, porém, a pressão não é dirigida aos freios. A pressão do sistema principal é usada para auxiliar os pedais por meio do uso dos cilindros mestres de reforço de força, que têm um reservatório, dois cilindros mestres, duas válvulas lançadeiras e um conjunto de freio em cada roda da perna de força principal, uma garrafa de ar comprimido com um indicador e uma válvula de alívio.

## 7.5 Freio da roda do nariz

Usado em aeronaves de transporte, o freio instalado na roda do nariz é controlado por meio de ligações diferenciais de freio.

A atuação no pedal da direita ou da esquerda acionará a correspondente válvula medidora do freio das rodas principais da direita ou esquerda. Esse movimento de ambos os pedais de freio é aplicado nas rodas principais e na roda do nariz, após aproximadamente metade do curso do pedal. A atuação de um dos pedais de freio, para controle direcional, não atuará no freio da roda do nariz.

O freio da roda do nariz é disponível acima de 15 mph, partindo da posição reta e em frente, com variação lateral de aproximadamente 6°. A partir desse ponto, o interruptor de corte do freio e direção da roda do nariz ativa a válvula do sistema antideslizante e veda o sistema de freios da roda do nariz. Não há freio na roda do nariz abaixo de 15 mph.

## 7.6 Conjunto de freio

O peso da aeronave age diretamente sobre o fator potência necessário para dimensionar o projeto de um freio. Um freio projetado para frear uma aeronave de uma tonelada jamais será eficiente para frear um avião de cinco toneladas. Pode-se afirmar, portanto, que o aumento de peso do avião implica um aumento necessário de força de frenagem, do mesmo modo, a velocidade também tem influência no processo de frenagem.

Nas aeronaves, são encontrados estes tipos de freio: monodisco, duplo disco, múltiplo disco, rotor segmentado ou do tipo tubo de expansão.

### 7.6.1 Freios a disco

O conjunto de freio a disco é, basicamente, formado por um corpo de freio que aloja um ou mais pares de pistões diametralmente opostos. Esses pistões acionam pastilhas de fibra, sendo, respectivamente, uma fixada ao corpo do conjunto de freio e a outra móvel. Nesta última, os pistões empurram em direção ao disco de freio produzindo um atrito e reduzindo, conseqüentemente, a velocidade da aeronave.

### 7.6.2 Freios monodiscos

Com os freios monodiscos (Figura 47), a frenagem é executada pela aplicação de fricção em ambos os lados de um disco rotativo, o qual é **chavetado** internamente nas rodas do trem de pouso principal.



**Chavetado:** encaixe do cubo da roda em um freio, em que a roda tem peça macho e o freio peça fêmea.

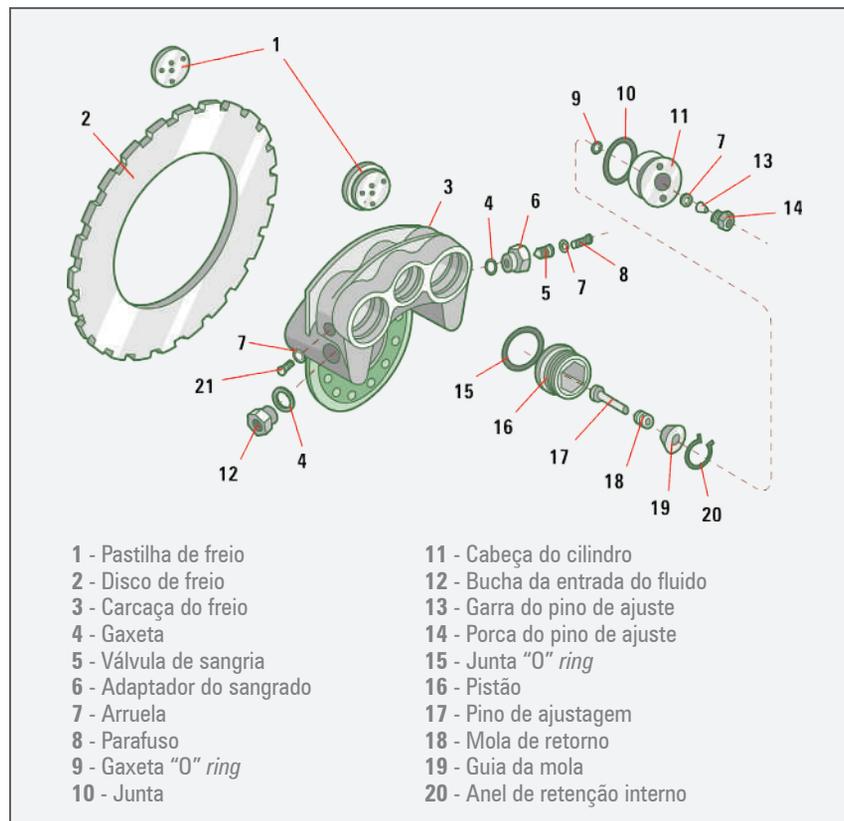


Figura 47 - Vista explodida de um conjunto de freio de disco simples (monodisco)

### 7.6.3 Freios de duplo disco

Neste tipo de freio, existem dois discos. Essa é a única diferença para o freio monodisco. Os freios de duplo disco são usados em aeronaves quando for desejada uma maior fricção de frenagem.

## 7.6.4 Freios de múltiplos discos

São usados com válvulas de controle do freio de força ou cilindros mestre de reforço de força. O freio de múltiplos discos, representado na Figura 48, consiste em um suporte, quatro discos rotativos chamados de rotores, três discos estacionários denominados estatores, um cilindro atuador de forma anular, um ajustador automático e vários componentes menores.

A pressão hidráulica força o pistão a mover-se para fora, comprimindo os discos rotativos, os quais são chavetados à roda, e comprimindo os discos estacionários, os quais são chavetados ao suporte. A fricção resultante causa uma ação de frenagem no conjunto roda e pneu.

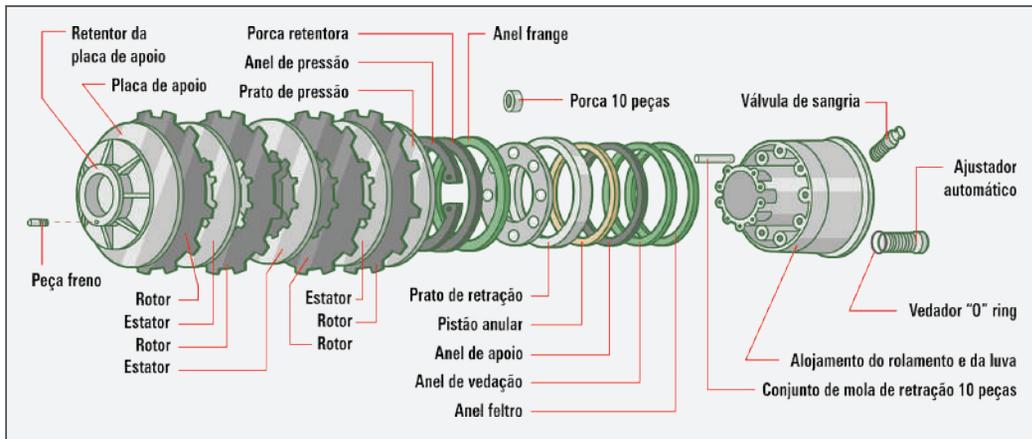


Figura 48 - Vista explodida de um conjunto de freios de múltiplos discos

## 7.6.5 Freios de rotor segmentado

Utilizados para trabalhos pesados e adaptados para uso em sistemas hidráulicos de alta pressão, os freios de rotor segmentado, exibidos na Figura 49, são usados tanto com válvulas de controle de freio de força quanto com cilindros mestres com reforço de força. Sua frenagem é executada por meio de vários conjuntos de pastilhas de freio do tipo alta fricção estacionária, fazendo contato com os segmentos rotativos.

O conjunto do freio consiste em um suporte, dois pistões e pistão anular, prato de pressão, um prato estacionário auxiliar, segmentos rotativos, discos estacionários, um espaçador de compensação, ajustadores automáticos e uma placa de apoio.

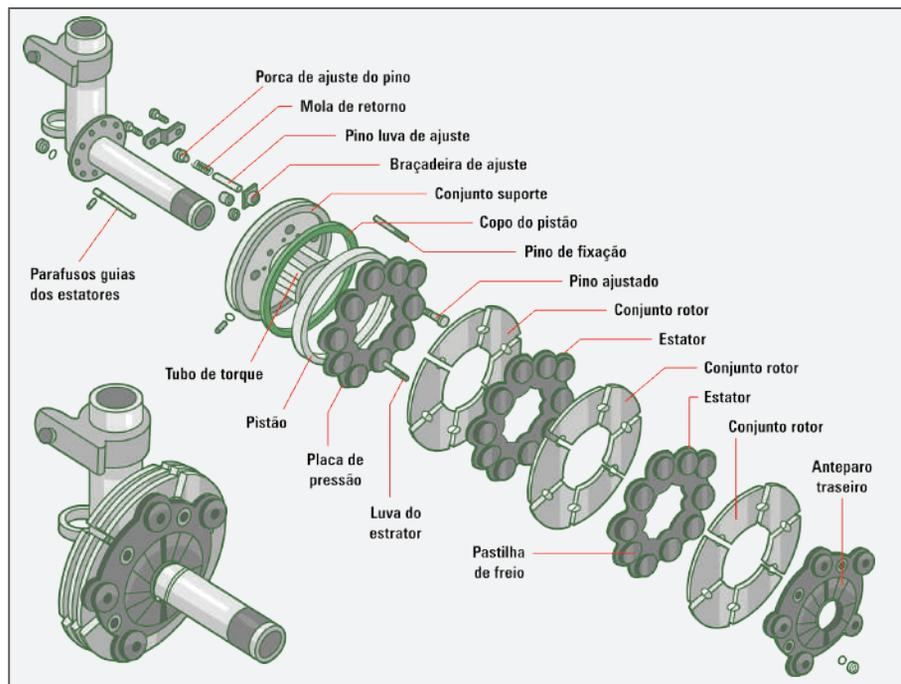


Figura 49 - Unidades de um conjunto de freio de rotor segmentado

## 7.6.6 Freios de câmara de expansão

Freios feitos para baixa pressão, com 360° de superfície de frenagem, têm pouco peso, poucas peças móveis, e podem ser usados em grandes e pequenas aeronaves.

Suas principais partes são moldura, unidade básica em volta da qual a câmara de expansão é instalada, câmara de expansão, blocos de freio (lonas), mola de retorno e ajustador de folga.

A Figura 50 retrata a vista explodida do freio do tipo câmara de expansão.

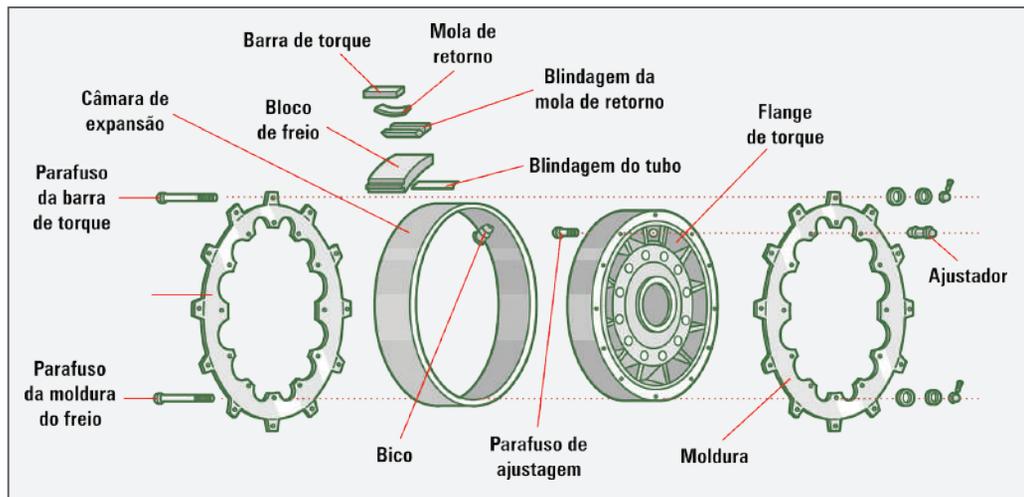


Figura 50 - Vista explodida do freio do tipo câmara de expansão

## 7.7 Inspeção e manutenção dos sistemas de freio

A verificação do funcionamento do sistema de freio deve ser cumprida conforme os manuais técnicos.

A inspeção de vazamentos do sistema deve ser executada com o sistema sob pressão de operação, porém o aperto de conexões frouxas deve ser executado sem pressão no sistema. Deve-se verificar se as tubulações flexíveis e as mangueiras apresentam dilatação, rachaduras e fixação, substituindo-as se houver evidência de deterioração.

O nível de fluido deve estar no grau adequado para evitar falhas no freio, ou entrada de ar no sistema. A presença de ar é indicada pela ação esponjosa dos pedais do freio, que só será corrigida pela sangria do sistema.

A sangria dos freios é necessária sempre que qualquer serviço de manutenção for executado e as tubulações dos freios sejam desconectadas, ou quando for notada anormalidade na aplicação deles.

Existem dois métodos de sangria dos freios:

a) Na sangria de cima para baixo (método por gravidade), representada na Figura 51, é necessário:

- remover a tampa e o pino (plugue ou bujão de proteção) da válvula de sangria do conjunto de freio;
- providenciar um recipiente com um pouco de fluido hidráulico e um tubo de plástico transparente;
- ligar o tubo plástico à válvula de sangria, deixando a outra extremidade submersa no fluido do recipiente;
- acionar o freio conservando o pedal comprimido e abrir lentamente a válvula de sangria, deixando escoar o fluido pelo tubo plástico;
- fechar a válvula de sangria e só depois aliviar a pressão no pedal;
- repetir esse procedimento várias vezes até não haver mais indícios de bolhas de ar.

b) Na sangria de baixo para cima (método por pressão), representada na Figura 52, é necessário:

- obter acesso ao cilindro mestre;
- remover a tampa de proteção e o núcleo da válvula de abastecimento do cilindro mestre;
- conectar um tubo plástico ou bujão de sangria no cilindro mestre do pedal esquerdo do piloto, deixando a outra extremidade no interior de um recipiente com um pouco de fluido hidráulico;
- conectar à válvula de sangria do conjunto de freio uma bomba manual equipada com fluido hidráulico ou um reservatório pressurizado;
- afrouxar a porca de abertura da válvula de sangria e acionar a bomba manual, observando o tubo plástico instalado no cilindro mestre. Cessar o acionamento da bomba manual quando não saírem mais bolhas de ar pelo tubo plástico;
- acionar diversas vezes o freio envolvido.

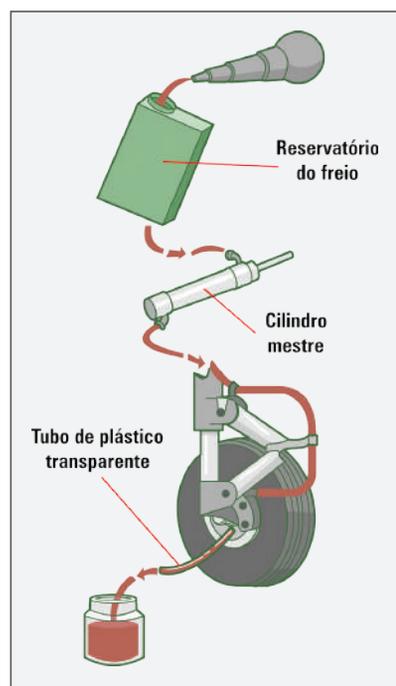


Figura 51 - Sangria dos freios pelo método de gravidade

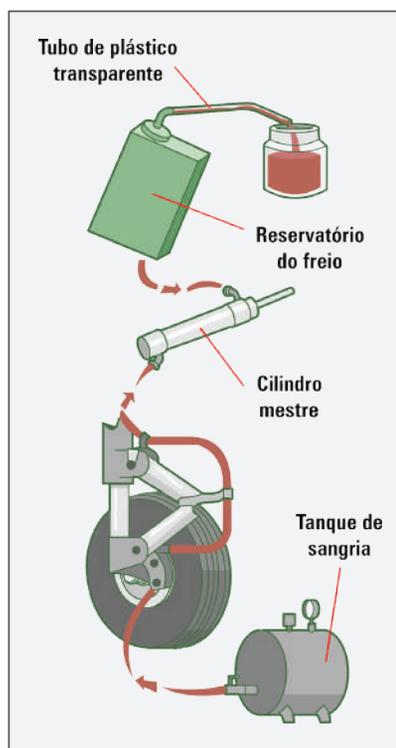


Figura 52 - Sangria dos freios pelo método de gravidade

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os sistemas de freios empregados para deter os aviões durante a rolagem ou após a aterrissagem e, em muitos casos, para dirigir o avião nas rolagens.

Foram explanadas, ainda, as características dos redutores de velocidade cujo perfeito funcionamento é de máxima importância para segurança de aeronaves, tripulação e passageiro; os sistemas de freio independentes, aqueles que não dependem do sistema hidráulico da aeronave; os sistemas de controle de freio de força usados nas aeronaves que requerem um grande volume de fluido para a operação dos freios; a válvula de controle de freio tipo esfera e a válvula de controle de freio tipo carretel deslizante, que tem como função aliviar e regular a pressão do sistema principal para os freios.

# Capítulo 8

## Rodas e pneus de aeronaves

As rodas de aeronaves permitem a montagem dos pneus, os quais absorvem o choque na aterrissagem em conjunto com os trens de pouso, suportam a aeronave no solo e auxiliam o controle no solo durante o táxi e a decolagem.

As rodas são usualmente feitas de alumínio ou de magnésio, pois são mais leves e resistentes a impactos e geralmente se dividem em dois semicubos (interno e externo).

### 8.1 Rodas de aeronaves

As rodas comumente apresentam rachaduras causadas por fadiga do material; arranhões no bordo do talão ou área do flange, resultado de danos por manuseio ou uso inadequado das ferramentas de remoção de pneus; corrosão ou desgaste na área da borda do talão, que ocorre usualmente na área da unha do talão do pneu; mau assentamento na área do talão, causado pelo acúmulo de borracha do pneu ou por sujeira. Diante disso, é necessário vedá-las.

Para vedar uma roda quando houver um vazamento de ar, é necessário retirar todo material estranho da superfície antes da sua montagem. É permissível uma camada fina e uniforme de tinta base.

Portanto, alguns procedimentos são imprescindíveis:

- inspecionar cuidadosamente o anel de vedação o qual não deve estar esgaçado, cortado, deformado, danificado ou então deteriorado;
- seguir, como especificado pelo fabricante da roda, o torque apropriado e os procedimentos de aperto para assegurar adequada compressão do vedador sob todas as condições de temperatura;
- verificar se os orifícios e as áreas ao redor estão livres de arranhões, sulcos ou material estranho. O aperto da válvula de pneus sem câmara deverá seguir as específicas instruções do fabricante da roda. O miolo da válvula deverá ser checado e substituído quando estiver vazando e as tampas das válvulas deverão ser usadas e apertadas com os dedos;
- verificar se há falha do fusível térmico, pois pode causar vazamento e requerer substituição;
- inspecionar se as superfícies seladas pela gaxeta estão limpas e livres de arranhões e sujeira;
- prevenir contra a perda de pressão de ar antes da montagem. Após a montagem, se ocorrer uma perda de ar, o uso de uma solução de sabão (ou, se possível, uma completa imersão do conjunto roda-pneu) pode indicar o ponto exato da fonte do vazamento.

## 8.2 Tipos de rodas

As rodas de um trem de pouso são peças usadas para receber os pneus. Geralmente, consistem em dois semicubos (interno e externo) e são fabricadas em liga de magnésio fundido por ser um material mais leve e resistente a impactos. Podem ser encontradas nos tipos: bipartidas, de flange removível e de flange fixo.

### 8.2.1 Rodas bipartidas

São dois semicubos unidos por parafusos e porcas que compõem a roda, os quais recebem um grau de aperto (torque) determinado pelo fabricante. Existem rodas bipartidas que só poderão ser usadas com pneus sem câmara de ar. Na junção dos semicubos, é obrigatório o uso de um anel de vedação.

### 8.2.2 Rodas de flange removível

A utilização das rodas de flange removível é apropriada para pneus de baixa pressão. Elas têm um flange inteiriço que é mantido no lugar por um anel de retenção. Os tipos encontrados são base reta ou depressão central.

Uma roda de base reta pode ser rapidamente removida dos pneus, removendo o anel de retenção, que mantém o flange inteiriço removível no lugar retirando-o de sua sede, conforme a Figura 53.A. A Figura 53.B demonstra as rodas de flange removível com depressão central.

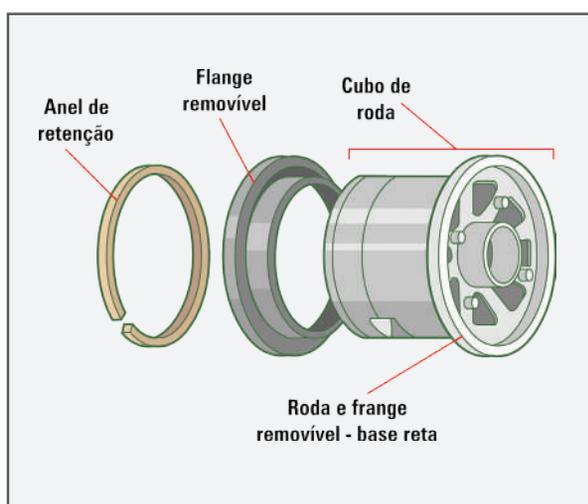


Figura 53.A - Rodas de flange removível com base reta

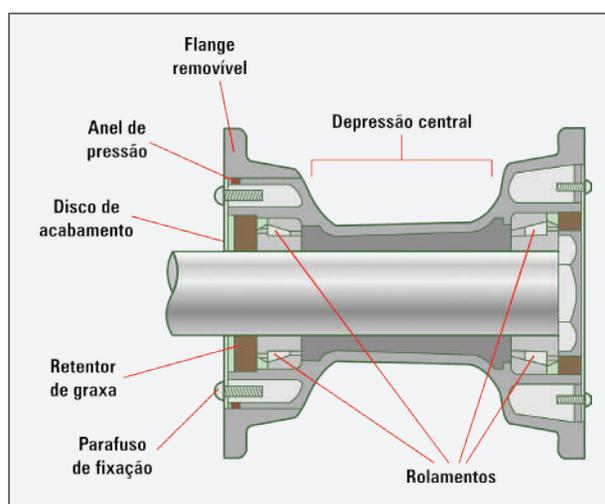


Figura 53.B - Rodas de flange removível com depressão central

### 8.1.3 Rodas de flange fixo

As rodas de aeronaves, de flange fixo e depressão central, são rodas de uso especial, semelhantes às militares para pneus de alta pressão.

## 8.3 Rolamentos de rodas

Nas aeronaves, os rolamentos das rodas (Figura 54) permitem o giro da roda no eixo do trem de pouso. Eles são constituídos de anéis com pistas (um anel interno e um externo), de corpos rolantes (esferas e rolos) e de um elemento retentor dos corpos rolantes. O retentor separa os corpos rolantes em intervalos regulares e os retém no lugar entre as pistas internas e externas permitindo que eles girem livremente.

Cada semicubo da roda possui um mancal de rolamento, ou pista, mantida no lugar sob pressão. Os semicubos podem possuir retentores externos, feltro, carenagem ou calota para manter o rolamento livre de corpos estranhos, poeira, areia, lama e internamente para evitar que a graxa tinja as lonas de freio.

Selos de **feltro** são instalados para evitar que detritos sujem os freios de múltiplos discos. Da mesma maneira, nas **aeronaves anfíbias**, eles impedem a entrada de água nos rolamentos.

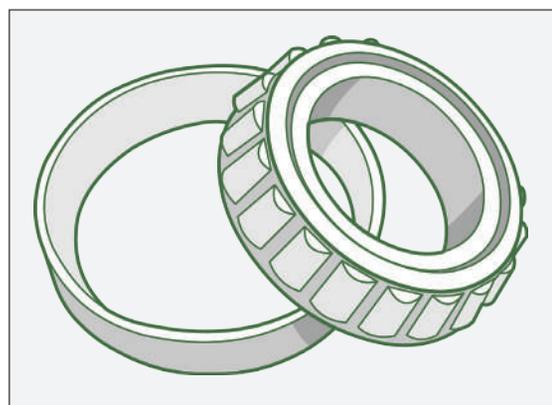


Figura 54 - Rolamentos das rodas

## 8.4 Pneus de aeronaves

Os pneus de aeronaves oferecem um amortecimento de ar que ajuda a absorver os impactos dos pousos e das decolagens. Por esse motivo, são os pneumáticos mais fortes e resistentes feitos para suportar altas velocidades e pesadíssimas cargas estáticas e dinâmicas.

Além disso, suportam o peso da aeronave no solo e os pneus oferecem, também, uma ajuda na tração, devido ao atrito com o solo. Esse atrito é necessário para adquirir velocidade na decolagem e frenagem da aeronave durante o pouso.

Os pneus de aeronaves apresentam um invólucro flexível e, devido à sua constituição, trazem confiabilidade na sua aplicação. A construção do pneu de aeronave é representada na Figura 55.

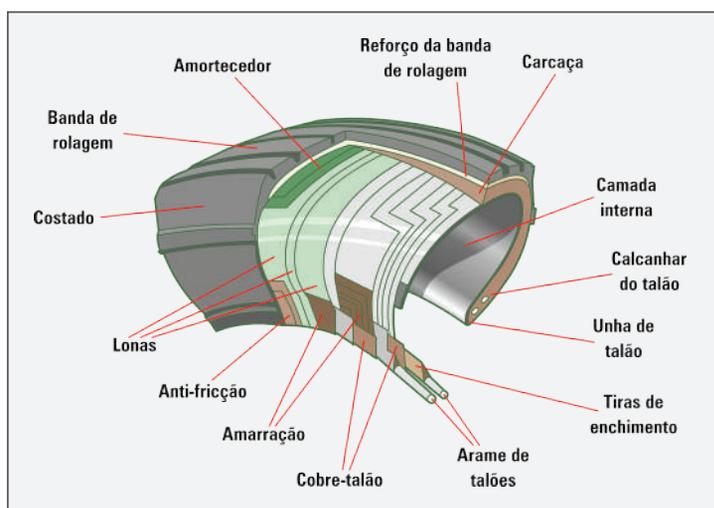


Figura 55 - Construção do pneu de aeronave



**Feltro:** anel de vedação feito de fibras naturais. Comumente é usado em vedação de áreas com graxa, instalado para evitar que detritos sujem os freios de múltiplos discos.

**Aeronaves anfíbias:** aeronaves que pousam na água e no solo.

O pneu se subdivide em partes conforme demonstrado na Figura 56, as quais possuem funções específicas e fundamentais para que ele opere com segurança, quais sejam:

- banda de rodagem - feita de composto de borracha natural para oferecer resistência e durabilidade, a rodagem é modelada de acordo com requisitos operacionais da aeronave;
- costado - são primariamente coberturas sobre as laterais dos **cordoneís** do corpo para protegê-los de danos e exposição à luz, calor, frio, etc. Uma construção especial de costado, o chine tire, é um pneu de roda de nariz desenhada com a construção de um deflector para desviar a água da pista para os lados, assim reduzindo os jatos de água nas áreas da frente dos motores a jato;
- antifricção - são camadas de tecido e borracha que protegem a carcaça de danos durante a montagem e desmontagem;
- cobre talão - as camadas de cordoneís e borracha isolam a carcaça dos arames do talão e aumentam a durabilidade do pneu;
- talões - feitos de arame de aço cobreado incrustados em borracha e cobertos com tecidos, os talões ancoram as lonas da carcaça e proporcionam superfícies firmes para montagem na roda;
- unha do talão - borda interna do talão, próxima à linha central do pneu;
- calcanhar do talão - a borda externa do talão, que se ajusta ao flange da roda;
- camada interna - nos pneus sem câmara, esta camada de borracha é menos permeável, atua como uma câmara de ar embutida, e impede que o ar penetre por meio das lonas. Nos pneus com câmara, uma camada mais fina de borracha é usada para evitar o atrito entre a câmara de ar e a lona interna;
- carcaças - são camadas diagonais de cordoneís de *nylon* cobertos por borracha, montadas em ângulos opostos, cuja função é dar forma e resistência ao pneu. Circundando completamente o corpo do pneu, as lonas são dobradas em volta dos talões, inserindo-se novamente na carcaça;
- reforço da banda de rodagem - uma ou mais camadas de cordoneís de *nylon* reforçado fortificam a rodagem para operação em alta velocidade;
- amortecedores - nem sempre usados, essas camadas extras de cordoneís de *nylon* reforçado são colocadas sob a borracha da rodagem, a fim de proteger o envoltório de lonas e reforçar a área da rodagem. Os amortecedores são considerados parte integral da construção da carcaça.

É recomendável que os pneus montados em conjuntos duplos tenham, quando inflados, seus diâmetros externos iguais. Isso assegura que cada pneu carregará igual parte de carga. Os diâmetros externos de pneus novos ou **recauchutados** devem ser medidos na pressão de operação e os pares deverão operar dentro da tolerância prescrita.

Os pneus estão, ainda, entre os itens mais críticos para segurança em uma aeronave, pois além de suportar o seu peso, devem absorver grande parte do choque, no pouso, nas acelerações, desacelerações e variações súbitas de temperatura.

Portanto, são caros e determinados cuidados desde a sua armazenagem até a sua operação devem ser frequentemente observados. Atitudes como realizar pequenas rolagens, deslocar



**Cordoneís:** fios de aço ou de tecido que formam as lonas e cintas dos pneus.

**Recauchutados :** pneus reaproveitados que recebem uma nova camada de borracha.

com velocidade baixa de táxi, realizar o mínimo de freiadas e pressão apropriada nos pneus aumentam a sua durabilidade.

Existem algumas definições utilizadas em pneus quando em serviço, são elas:

- corretamente usado - este pneu teve uma manutenção adequada e recebeu pressões de inflação corretas. Ele está apto para uma recauchutagem, se uma inspeção não revelar possíveis falhas internas;
- continuação em serviço - a rodagem neste pneu não está gasta o bastante para necessitar de recauchutagem. Já que ele foi bem cuidado, poderá permanecer em serviço;
- desgastado - gasto até as faixas dos amortecedores. Este pneu não tem condições para ser recauchutado nem continuar em uso;
- baixa inflação - o desgaste acentuado do ombro da rodagem é um resultado de baixa inflação crônica;
- alta inflação - uma superinflação contínua acelera o desgaste do centro da rodagem;
- cortes - objetos estranhos nas pistas e rampas podem produzir sérios cortes e, caso sejam encontrados em pneus, devem ser analisados conforme os manuais, a fim de verificar se ainda há condições de uso;
- desgaste em ponto isolado - isso pode ter sido causado por uma aterrissagem com freios presos ou freada excessiva. O pneu pode ser reparado ou recauchutado caso as lonas não estejam expostas;
- dano por atrito - técnicas impróprias de montagem e uso de ferramentas impróprias podem causar este dano ao talão;
- calor do freio - uso demasiado dos freios ou desajustes podem provocar calor capaz de danificar seriamente o talão;
- eventos - orifícios do costado (usualmente brancos, aluminados ou verdes), liberam o ar retido entre lonas da carcaça, prevenindo assim a formação de bolhas. Estes orifícios são necessários durante toda a vida do pneu e são preservados na recauchutagem;
- inimigos naturais - óleo, alcatrão, fluido de freio, agente lubrificante, outros hidrocarbonetos e produtos químicos deterioram a borracha. É necessário, portanto, limpar os pneus com um pano embebido em gasolina, lavando-os imediatamente com água e sabão neutro.

## 8.5 Manutenção de pneus de aeronaves

Manter os pneus de avião em suas pressões de inflação corretas é mais importante que qualquer programa de manutenção preventiva. Com isso, essas pressões devem ser checadas com instrumento de precisão, como por exemplo, o manômetro de pressão.

A baixa inflação provoca desgaste irregular da rodagem, aumenta as possibilidades de atrito dos **costados** e ombros dos pneus contra os flanges do aro, diminui a vida do pneu devido ao calor excessivo e faz com que pneus tipo câmara girem em torno do aro e cortem a base da válvula.

Já a alta inflação provoca desgaste irregular da rodagem, reduz tração e se torna mais suscetível



**Costado:** parte lateral;  
flanço, lado.

a cortes. É importante ressaltar que as ações de manutenção devem sempre seguir o que está previsto nos manuais técnicos.

As pressões dos pneus devem ser checadas diariamente e nas aeronaves de alto desempenho, as pressões devem ser checadas antes de cada voo. Deve-se utilizar um medidor seguro, de preferência tipo mostrador. Medidores inexatos são os maiores causadores de inflações impróprias.

O pneu de aeronave é fabricado com cordonéis de *nylon*. Um tempo inicial de 24 horas de esticamento de um pneu de *nylon*, recentemente montado, pode representar em 5 a 10 por cento de queda na pressão de ar. Conseqüentemente, os pneus não devem ser colocados em serviço até que completem pelo menos 12 horas de montagem. Após esse período, a inflação deverá ser corrigida antes da instalação.

A máxima difusão, vazamento, permitida em um pneu sem câmara é de 5 por cento, do valor que foi calibrado, por um período de 24 horas. Entretanto, é preciso levar em consideração que nenhum teste de precisão deve ser feito após o pneu ter sido montado e inflado pelo menos após 12 horas, e adicionado ar para compensar a queda de pressão devido à expansão do corpo de *nylon* e algumas mudanças na temperatura do pneu.

Uma queda de pressão superior a 10 por cento durante o período inicial deve ser uma razão suficiente para não colocar o conjunto de roda e pneu em serviço.

Diferentes pressões de ar em pneus montados em conjuntos duplos, do trem de pouso principal ou trem de pouso do nariz devem ser analisados.

Certamente, um desses pneus estará carregando mais carga do que o outro, o fato deve ser anotado e deverão ser feitas referências a cada inspeção de inflação subsequente para verificar se há falhas do pneu ou da câmara de ar.

Outra opção é a checagem da válvula de abastecimento, é necessário, pois, pingar um pouco de água sobre o topo e a base dela. Se não aparecem bolhas, pode-se concluir que a válvula está retendo a pressão satisfatoriamente.

A inflação dos pneus das rodas do nariz segue as recomendações previstas pelas publicações técnicas, as quais levam em consideração tanto a carga extra transferida para a roda do nariz pelo efeito dos freios quanto a carga estática.

A pressão de ar no pneu da roda do nariz baseada somente na carga estática resultará em baixa inflação para suportar cargas quando os freios forem aplicados.

Aeronaves com inflação baixa nos pneus são passíveis de patinar e deslizar na roda durante o pouso ou quando os freios forem aplicados.

Uma pressão muito baixa leva ao desgaste rápido e desigual perto da borda da banda de rodagem, levando paredes laterais, ou o ombro do pneu, a serem destruídos pelo aro da roda.

Existe um limite de carga que cada pneu de aeronave pode suportar para operar de forma segura e eficiente. Em resumo, cargas acima do limite podem resultar nestes defeitos indesejáveis:

- esticamento além do previsto sobre o corpo dos cordonéis e talão dos pneus;
- pancadas em obstáculos ou durante o pouso.

Pneus de avião, por serem construídos de *nylon*, sofrerão achatamentos temporários em aeronaves estacionadas por um espaço de tempo. O grau desse achatamento depende da carga, deflexão do pneu e temperatura. O achatamento é mais frequente e mais difícil de desaparecer durante o inverno. Sob condições normais, um achatamento desaparecerá ao final do taxiamento.

## 8.6 Inspeção do pneu montado na roda

Para verificar se as válvulas localizadas no semicubo da roda no lado externo apresentam vazamentos, é necessário inserir algumas gotas de água no seu bico de enchimento. Caso apareçam bolhas, deve-se trocar o conjunto da válvula e a inspeção deve ser repetida.

A válvula deve ser inspecionada também para se ter certeza de que a rosca não está danificada e se o conjunto da válvula e da tampa estão em boas condições.

É possível verificar com os dedos se as tampas das válvulas estão apertadas firmemente.

O núcleo da válvula de enchimento, demonstrado na Figura 56, é um mecanismo montado dentro de válvula. Suas funções principais são possibilitar que o ar ou o fluido fluam para dentro ou para fora de um sistema, pneu ou reservatório, quando a pressão de entrada for maior do que o ajuste da mola da válvula e evitar que o ar ou fluido flua para fora. Os núcleos de válvula são usados em uma ampla gama de aplicações.

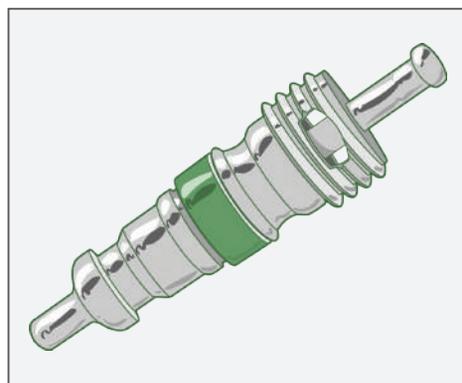


Figura 56 - Núcleo da válvula de enchimento

A inspeção da área da banda de rodagem é imprescindível para verificar se há cortes ou outros danos. Os pedaços de vidro, as pedras, os metais ou outros objetos desconhecidos, que podem estar incrustados na banda de rodagem, penetradas nos cordonéis devem ser retirados. Para isso, pode-se utilizar um **furador rombudo**, embora uma chave de fenda também sirva caso o furador não esteja disponível.

Quando o corte não expõe a carcaça dos cordonéis, não é obrigatória a retirada do pneu do serviço.

Já os pneus que mostram sinais de saliências na banda de rodagem ou laterais devem ser removidos, pois isso pode ser resultado de uma fenda nos cordonéis ou indicar separação da banda de rodagem ou de camadas. A Figura 57 demonstra uma banda de rodagem com saliências que devem ser sempre marcadas com giz, antes de esvaziar o pneu; de outra forma,

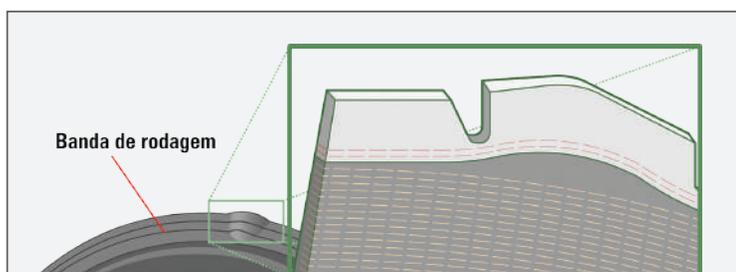


Figura 57 - Banda de rodagem com saliências



**Furador rombudo:**  
ferramenta para retirada de material em um pneu, não cortante.

pode ser muito difícil, se não impossível, localizar a área após o pneu estar vazio.

Ambas as laterais dos pneus devem ser inspecionadas na busca de evidências de desgaste ou teste de ozônio e rachadura, rachaduras radiais, cortes, protuberâncias, etc. Se os cordonéis estiverem expostos, o pneu deve ser removido do serviço.

As rodas rachadas ou avariadas deverão ser retiradas para reparos ou substituídas de acordo com as instruções do fabricante.

## 8.7 Inspeção do pneu desmontado

Os procedimentos para inspeções regulares dos pneus e das câmaras, após certo número de horas ou pousos, estão previstos no manual do fabricante, para uso em condições normais ou uso além do permitido.

Caso uma aeronave tenha feito um **pouso placado** com forte impacto no solo, o pneu e a câmara devem ser desmontados e inspecionados a fim de determinar se existe algum dano oculto. A roda também deve ser inspecionada na mesma ocasião para verificar se há empeno e rachaduras.

Após isso, examinam-se todos os cortes, os furos e outros danos na banda de rodagem com uma punção, e remove-se o material estranho.

As laterais precisam ser revisadas com o fim de verificar a evidência de desgaste por tempo ou inspeção de ozônio e rachadura, rachaduras radiais, cortes e protuberâncias. Dessa forma é necessário:

- descartar qualquer pneu com cortes radiais que se estendam aos cordonéis;
- descartar qualquer pneu com desgaste por tempo, ozônio ou rachadura, que se estende aos cordonéis. O desgaste por tempo é uma condição normal que afeta todos os pneus. Antes dos cordonéis serem expostos, não afeta a disponibilidade e a segurança do pneu;
- descartar pneus com cortes ou protuberâncias nas laterais danificadas no exterior da lona.

O talão interior e a área sobre o calcanhar do talão do lado de fora do pneu devem ser verificados para detectar esfolamento pelo flange da roda ou danos por ferramentas de pneu. Caso haja saliência, separação ou um péssimo enroscamento do fio do talão, o pneu deve ser descartado.

Quando é encontrada alguma saliência nos pneus, é necessário marcá-los com um giz, por exemplo, enquanto estiverem montados e inflados. Após isso, deve-se desmontá-los, inspecionando-os interiormente. Caso nenhuma ruptura seja encontrada, sonda-se com um furador que não seja pontiaguado. Se existir separação, o pneu deve ser descartado, a menos que haja somente uma pequena separação localizada entre a rodagem ou a borracha das laterais e o corpo de cordonéis. Diante disso, um pequeno reparo ou uma recauchutagem podem ser satisfatórios.

No caso de pneus sem câmaras, com a finalidade de reter o ar, o talão é mais apertado na roda, então a sua face deve estar livre de qualquer dano em sua superfície, evitando assim vazamentos



**Pouso placado:** pouso com excesso de força no solo.

indesejáveis. Para evitar elevadas temperaturas nesses pneus é instalado o fusível térmico, um dispositivo utilizado para evitar que eles estourem ou fiquem com a borrada agarrada na roda.

## 8.8 Inspeção da câmara de ar

Falhas na câmara de ar são causadores de danos irreparáveis ao pneu no qual está montada, bem como à roda da aeronave ou a si mesma. Em decorrência disso, a importância do tamanho adequado da câmara e da utilização das válvulas corretas.

Ao inspecioná-la, é preciso apenas dar o contorno da sua circunferência interna, de forma a não colocar mais ar do que o necessário.

Portanto, ao redor da haste da válvula deve ser examinado cuidadosamente para verificar se existem vazamentos, sinais de separação do apoio da válvula, inclinação ou danos.

Em suma, as câmaras de ar devem ser frequentemente inspecionadas para verificar:

- desgaste por atrito nas unhas do talão do pneu - caso haja indícios consideráveis de desgaste por atrito, retira-se a câmara de serviço.
- esticamento ao redor da borda do assento do talão da roda - na montagem de um conjunto a câmara deve ser inflada até o talão do pneu ficar em posição, depois completamente esvaziada e então inflada novamente até a pressão final;
- enrugamento - devido à montagem imprópria dentro do pneu, as câmaras podem apresentar muitas rugas e, a partir disso, poderá acarretar num aquecimento por fricção, ambiente propício à ocorrência de estouro;
- afinamento do tecido - inspecionar as câmaras quanto ao aquecimento do tambor de freio durante as freadas na área nas quais elas têm contato com a roda e a unha do talão;
- aquecimento do tambor do freio - nessas situações, as câmaras de ar à base de tecido deverão sempre ser usadas por possuírem uma camada de fios de *nylon* diretamente embebidos na borracha da circunferência interna das câmaras de ar, para protegê-las contra o afinamento devido ao calor do tambor do freio.

Veja-se a inspeção da câmara de ar em diferentes localidades nas Figuras 58.A, B e C.

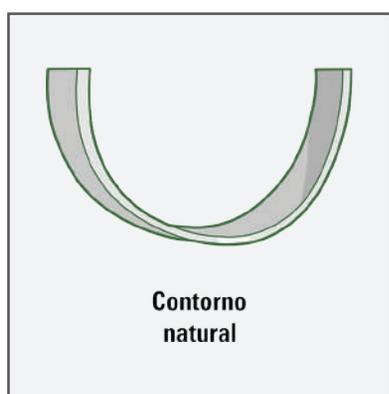


Figura 58.A - Inspeção do contorno natural da câmara de ar



Figura 58.B - Inspeção do formato de assentamento da câmara de ar



Figura 58.C - Inspeção do afinamento de borda da câmara de ar

## 8.9 Montagem e desmontagem de pneus

Este serviço deve ser executado usando as ferramentas adequadas para não danificar os pneus, as câmaras de ar ou as rodas. Para tanto, deve-se:

- inspecionar a roda quanto a presença de rachaduras ou partes danificadas;
- inspecionar pneu e câmara de ar cuidadosamente;
- pulverizar com talco a parte interna do pneu e da câmara antes da instalação da câmara de ar. Isso evita que a câmara cole na parte interna do pneu ou na sua borda e auxilia a câmara de ar a assumir a sua forma normal, dentro do pneu durante a inflação, removendo a possibilidade de enrugamento ou **adelgaçamento**.
- montar a câmara de ar no pneu com a válvula projetando-a pelo lado que contém o número de série.

Nos pneus sem câmaras, para facilitar a montagem e permitir o assentamento apropriado das bordas do pneu de encontro com os flanges da roda, é necessário lubrificar a unha do talão com uma solução a 10% de sabão de óleo vegetal, ou simplesmente com água pura, evitando que haja perda de ar. E nos pneus com câmara, a lubrificação citada anteriormente pode ou não ser necessária, dependendo do tipo de roda que está sendo usada, porém quando usada, é necessário aplicar na unha do talão, e sempre ao lado de entrada da câmara no cubo, para facilitar a montagem.

O conjunto de rodas de uma aeronave quando desbalanceado e com o trem de pouso na posição de aterrissagem, uma parte mais pesada da roda terá a tendência em manter-se para baixo e, dessa maneira, sempre tocará no solo, ou na pista de pouso em primeiro lugar.

Isso resulta em severo desgaste em só uma área do pneu, ocasionando uma antecipada substituição, fortes vibrações e, algumas vezes, informações não confiáveis dos instrumentos, devido à vibração no painel de fixação.

Na câmara de ar marcas de balanceamento aparecem para indicar sua porção dura. Essas marcas são de aproximadamente 1/2 polegada de largura por duas polegadas de comprimento.

Na montagem, quando a câmara é introduzida no pneu, a marca de balanceamento da câmara deverá estar coincidindo com a marca de balanceamento do pneu. Se a câmara não possuir marca de balanceamento, o lugar da válvula deverá ficar na posição da marca do pneu.

Na inflação, após o pneu e a câmara de ar estarem montados na roda, o conjunto deverá ser colocado em uma gaiola de segurança para a calibração, construída de modo a resistir, se necessário, aos efeitos de uma explosão do pneu, da câmara ou da roda.

Portanto, o pneu deve ser inflado para pressão recomendada no manual técnico. Depois disso, ele deverá ser completamente esvaziado, e novamente reinflado para a pressão correta (não prender a válvula no cubo até que a operação tenha terminado).

Tal ação contribui para: remover rugas na câmara de ar; evitar beliscões na câmara pela unha do talão; eliminar as possibilidades de uma seção da câmara ser esticada mais do que o restante, danificando aquela área; e ajudar na remoção do ar preso entre a câmara e o pneu.



**Adelgaçamento:** diminuição de espessura, largura, volume; estreitamento.

Após isso, o conjunto recém-montado deve ser mantido longe da área de trabalho por um mínimo de 12 horas e, de preferência por 24 horas. O intuito é determinar se existe algum ponto fraco na estrutura do conjunto pneu, câmara e roda, permitindo também uma revisão no pneu após um período de 12 ou 24 horas a fim de determinar alguma queda de pressão devido ao vazamento.

## 8.10 Segurança na desmontagem

Os pneus devem ser completamente esvaziados antes da desmontagem e, após isso, deve-se retirar o núcleo das válvulas, porque a pressão de ar dentro da câmara ou do pneu poderia causar a ejeção do núcleo da válvula, como um projétil, e provocar ferimentos.

Os pneus sem câmara com rodas bipartidas são usados para conter a pressão de ar e a inflação é executada por meio de uma válvula própria instalada na roda, que é selada contra a perda de ar por um anel vedador ou um anel de seção circular.

As rodas bipartidas, representadas na Figura 59, são seladas para evitar perda de ar por um vedador circular montado em uma ranhura na superfície da junção de uma das metades da roda.

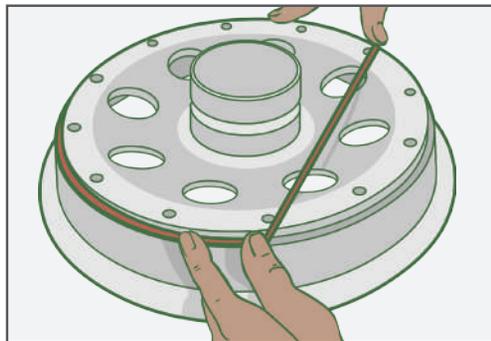


Figura 59 - Pneus sem câmara - rodas bipartidas

Para a montagem é necessário:

- inspecionar a correta instalação e a ausência de danos da válvula de enchimento dos pneus sem câmara e fusível térmico;
- consultar o manual do fabricante da roda para os corretos procedimentos de instalação;
- inspecionar os vedadores circulares usados para selar a roda quanto a danos;
- lubrificar o vedador circular, como especificado pelo fabricante da roda, colocando-o na ranhura da roda;
- limpar e secar as bordas das rodas antes da montagem para garantir uma correta selagem;
- assegurar que os lados mais leves (com uma letra L estampada nas bordas) estejam a 180° defasados um do outro;
- apertar as porcas e os parafusos com os valores de torque recomendados. Para tanto, deve-se consultar o manual do fabricante das rodas para os procedimentos corretos.
- encher, esvaziar e encher novamente com a pressão recomendada.
- colocar a tampa da válvula, apertando com os dedos.



**Ejeção:** saída de uma peça do seu encaixe com alta velocidade e força.

Para a desmontagem é necessário:

- remover o núcleo da válvula até esvaziar completamente a câmara de ar;
- descolar o talão das partes dos flanges da roda com uma ferramenta apropriada, aplicando pressão em volta de toda a circunferência de cada lado da roda;
- remover os parafusos e as porcas de fixação da roda, puxando as metades da roda de dentro do pneu.

## 8.11 Causas da perda da pressão do ar em pneus sem câmara

As informações aqui tratadas devem ser usadas como guia geral de métodos de inspeção, das áreas dos conjuntos de rodas e pneus, as quais podem ser envolvidas nas perdas de pressão de ar:

- talões danificados - checar a exposição da carcaça na área da unha do talão ou sob a **face do talão**;
- assentamento impróprio dos talões - checar a insuficiente pressão de ar ou a baixa inflação, os talões não lubrificados e talões torcidos ou com pregas;
- cortes ou furos - checar inteiramente os cortes e furos por meio da carcaça e da camada interna;
- temperatura do ar - checar a pressão dos pneus quando tiverem atingindo a temperatura ambiente externa;
- período inicial de dilatação - checar a pressão dos pneus no espaço de tempo de, no mínimo, 12 horas após ter sido montado, para permitir a dilatação da carcaça. Todos os pneus de aeronaves são construídos de *nylon*, e certa quantidade de dilatação ocorre depois que o pneu for inflado, isso poderá resultar em uma queda de 10% da pressão do ar. Somente após esse período, poderá ser determinada a verdadeira pressão interna do pneu.



**Face do talão:** a superfície plana entre a unha e o calcanhar do talão.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os tipos de rodas: bipartidas, de flange removível e de flange fixo, semicubos unidos por parafusos os quais em conjunto com os pneus oferecem um amortecimento de ar, que ajuda a absorver os impactos da aeronave nos pousos e decolagens, bem como os métodos de montagem e desmontagem desses equipamentos, incluindo a câmara de ar.

Foram mostrados também os rolamentos das rodas, responsáveis por permitir que as rodas girem no eixo dos trens de pouso. As características das manutenções e inspeções dos pneus de aeronaves estão previstas de forma a permitir que estes estejam em condições seguras de uso, ou seja, suportem a aeronave no solo, e auxiliem o controle no solo durante o táxi e a decolagem.

## Capítulo 9

### Estocagem e reparos de pneus e câmaras de ar para aeronaves

A estocagem consiste em acondicionar pneus e câmaras de ar de forma a guardar suas propriedades durante a validade. Em decorrência disso, precisam ser mantidos adequadamente em oficinas de manutenção aeronáutica, certificadas de acordo com o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) n° 145 e estarem em condições totalmente seguras de operação. Esse tipo de atividade é regulamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), por meio do RBAC n° 145.

Portanto, reparar esses equipamentos é dar especial atenção e manutenção, pois são itens críticos para a segurança. Eles suportam todo o peso da aeronave no solo, absorvem parte do choque na pista, no pouso, nas acelerações e desacelerações súbitas e grandes variações de temperatura.

Atualmente, 85% dos pneus das grandes aeronaves comerciais e de carga utilizados no mundo são reparados por serem extremamente seguros e, em média, 30% mais baratos que os pneus novos, proporcionando uma economia considerável às empresas aéreas.

#### 9.1 Condições para estocagem de pneus e câmaras de ar

Quando recebidos, os pneus e as câmaras de ar devem ser inspecionados a fim de verificar se há danos devido ao transporte e ao manuseio.

Levando-se em consideração que pode haver deformação da forma normal, podendo ocasionar problemas quando forem montados, os pneus devem ser estocados horizontalmente em prateleiras e nunca verticalmente em pilhas conforme mostram as Figuras 60.A e 60.B.

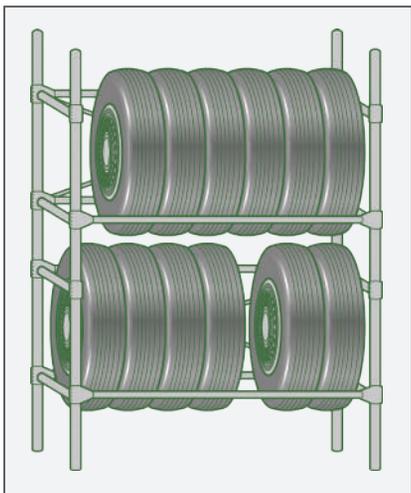


Figura 60.A - Forma correta de armazenar pneus



Figura 60.B - Forma incorreta de armazenar pneus

No transporte e na estocagem de pneus montados em rodas, eles devem ser inflados até assentar os talões no flange da roda, com pressão suficiente para conservar os talões e manter a forma e o contorno.

A condição ideal de armazenamento são as câmaras escuras, pois a borracha natural sofre com **corrosão fotoquímica**, especialmente por raios ultravioletas, resultando em um aspecto ressecado do pneu e comprometendo sua durabilidade, limitada a, no máximo, cinco anos, estando em uso ou não. A utilização de lâmpadas fluorescentes em locais de armazenamento de pneus deve ser evitada, pois elas sempre emitem radiação ultravioleta. O ambiente deve ser frio, seco e escuro, bem como, deve estar livre de correntes de ar e de sujeira. Deve apresentar baixas temperaturas, não abaixo de 0 °C, pois as altas temperaturas, acima de 23 °C são danosas.

A fermentação acontece quando há condições úmidas ou molhadas e cria traz elementos estranhos danosos para a borracha e para o tecido com cordonéis.

Além disso, as correntes de ar fortes nos locais de armazenagem devem ser evitadas, antes que aumentem a quantidade de oxigênio, pois carregam, frequentemente, bastante ozônio, causando o envelhecimento da borracha.

Como prevenção, é necessário manter os pneus estocados, longe dos motores elétricos, carregadores de baterias, equipamentos de solda elétrica, geradores elétricos e equipamentos similares que criam ozônio. O gás ozônio está presente em atmosferas poluídas e em locais onde estão instalados equipamentos elétricos de alta tensão.



**Corrosão fotoquímica:** causada especialmente por raios ultravioleta. Dá um aspecto de ressecado para o pneu e compromete sua durabilidade.

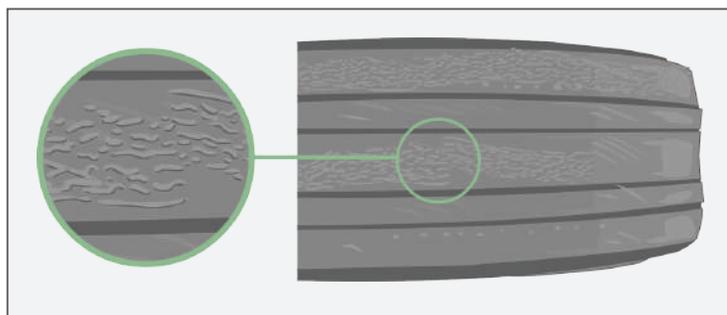


Figura 61 - Pneu contaminado por ozônio

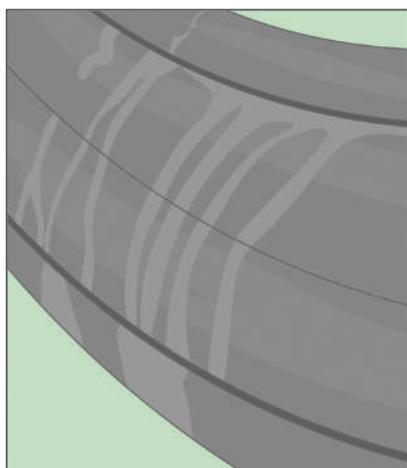


Figura 62 - Pneu contaminado com combustíveis e solventes

Devido aos perigos iminentes dos combustíveis e solventes, é necessário evitar o contato dos pneus e das câmaras com óleo, gasolina, querosene, fluidos hidráulicos e outro tipo de solvente de borracha, uma vez que são os inimigos naturais e causadores da desintegração rápida desses equipamentos.

Portanto, é necessário cobri-los quando em manutenção nos motores ou no trem de pouso para evitar o contato e o repouso em pisos que estejam sujos de óleo ou graxa.

A sala de estocagem deve ser escura ou pelo menos livre da iluminação direta do Sol. Deve ser dada às janelas uma cobertura de tinta azul ou cobertura com plástico preto para prevenir a difusão de luz durante o dia.

É preferível utilizar o plástico porque ele mantém a temperatura baixa na sala durante os meses quentes e permite que os pneus sejam estocados com as janelas fechadas.

Sempre que possível, os pneus devem ser estocados em suportes regulares, que os mantenham na horizontal. A superfície do suporte contra o qual o peso do pneu incida deve ser plana, se possível com 3 a 4 polegadas de largura.

Se os pneus precisarem ser empilhados um sobre o outro, não se deve estocá-los em um local muito alto, porque isso causará defeitos, principalmente nos pneus sem câmara, como aqueles que ficam na parte de baixo da pilha e podem ter os talões amassados.

As câmaras de ar podem permanecer estocadas em suas caixas originais ou em seus pneus correspondentes, porém nunca devem ser guardadas em caixas grandes ou prateleiras sem embrulho. Sempre que possível, é necessário polvilhá-las com talco e embrulhá-las em papel grosso.

Caso essas câmaras sejam estocadas nos pneus, estes deverão estar limpos e polvilhados com talco, enquanto as câmaras deverão ser infladas até ficarem cheias. Não se pode pendurá-las em pregos ou qualquer outro objeto pontiagudo, uma vez que resultará em vinco ou rachadura.

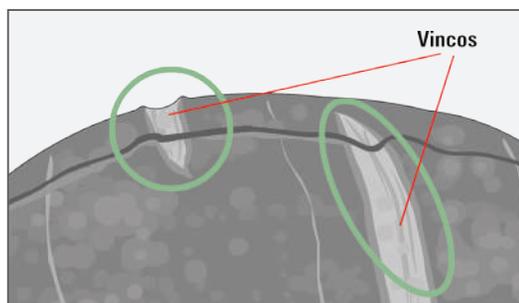


Figura 63 - Identificação de vinco em câmara de ar

## 9.2 Reparos de pneus e câmaras de ar

Atualmente, existem recursos disponíveis que possibilitam a reparação dos pneus e das câmaras de ar das aeronaves que apresentam danos decorridos do serviço, assegurando uma nova operação ou um novo uso. Assim, os pneus de aeronaves muito usados em serviços, ou deformados e removidos prematuramente podem ser recauchutados e, como consequência, a nova **banda de rodagem** oferece uma condição de serviço semelhante à original. Os pneus que foram descartados podem ser reconicionados com segurança repetidas vezes e, em seguida, podem continuar em serviço.

Recauchutagem é, portanto, o reconicionamento de um pneu pela restauração da banda de rodagem ou restauração de uma ou ambas as laterais. É válido ressaltar que esse procedimento só é possível em pneus de aviões grandes e comerciais. Já os pneus do trem de pouso do nariz podem ser recauchutados até 11 vezes.

### 9.2.1 Tipos de recauchutagem de pneus de aeronaves

- Cobertura superior, em inglês, *top capping* - para os pneus gastos até a parte de baixo do desenho da banda de rodagem, que não apresentam muita deformação, mas possuem a banda de rodagem já áspera. Dessa forma, uma nova banda deve ser aplicada.
- Cobertura total, em inglês, *full capping* - para os pneus gastos em toda a sua volta, aqueles com deformações até os cordonéis ou aqueles com numerosos cortes na área da banda de rodagem. O novo material da rodagem é mais largo do que aquele usado na cobertura superior (*topcap*) e desce algumas polegadas sobre o ombro (*shoulder*) do pneu.



**Banda de rodagem:** área do pneu que está sempre em contato com o solo.

- Recauchutagem três quartos, em inglês, *three quarter retread* - para pneus que precisam de uma nova rodagem e a restauração da borracha de uma das laterais devido a danos ou desgaste por tempo, uma capa total é aplicada e em adição, aproximadamente 1/16” de espessura da borracha da lateral velha é lixada. Então, uma nova borracha deve ser aplicada no talão até a borda da nova rodagem do único lado lixado.
- Recauchutagem talão a talão, em inglês, *bead to bead retread* - uma nova rodagem em ambas as laterais deve ser aplicada por esse método.

### 9.2.2 Pneus que podem ser recauchutados

- pneus que têm o corpo de cordonéis e os talões em bom estado ou que se encontram com as limitações descritas como pneus reparáveis de aeronaves;
- pneus com desgaste de 80% ou mais de profundidade total de sua rodagem;
- pneus com um ou mais marcas de achatamento, severas o bastante para causar uma condição de desbalanceamento, sem se importar com a porcentagem de uso.

### 9.2.3 Pneus não recauchutáveis

- pneus com seis lonas ou mais que já foram muito usados, atingindo mais que um corpo de lona, ou seja, em que o desgaste da borracha tenha atingido até a segunda camada de lona da estrutura do pneu;
- pneus com desgaste pelo tempo ou rachaduras causadas pelo ozônio, na rodagem ou nas laterais que exponham os cordonéis.

### 9.2.4 Pneus reparáveis de aeronaves

São os pneus com pelo menos 30% de permanência de vida de rodagem, que normalmente deixaram o serviço por garantia de reparos.

### 9.2.5 Pneus não reparáveis de aeronaves

- alguns danos nos talões ou dentro da área dos talões (exceto danos limitados à cobertura do talão ou no final da tira como previamente mencionado em pneus reparáveis de aeronaves);
- alguns pneus com o fio do talão saliente ou enrugados;
- alguns pneus que apresentam evidências de reparos de lonas ou rodagem;
- alguns pneus com rachaduras ou cordonéis do lado de fora da lateral ou na área dos ombros. Pneus que tiveram achatamento total ou parcial, devido ao derretimento ou à falha do dispositivo sensor da roda devem ser descartados, até mesmo se não houver evidências visíveis de danos no interior ou exterior dos pneus. A única exceção é quando se tem certeza de que o vazamento do ar foi causado por um defeito do fusível.

## 9.2.6 Reparos parciais

Quando forem considerados econômicos, os reparos parciais podem ser feitos, como por exemplo:

- pneus de baixa velocidade (até 160 m.p.h.), com danos na rodagem, os quais não aprofundam mais do que 25% do real corpo de lonas (faixa estreita de freada não incluída) e tenham no máximo 2 polegadas de comprimento na superfície;
- pneus com um aprofundamento além dos 25% do real corpo de lonas podem ser reparados, porém o comprimento do dano na superfície não deve ser maior do que 1 polegada;
- pneus com estrago material por meio do corpo de cordonéis na área de rodagem, medindo 1/8" ou menos do ponto mais distante são considerados perfurações e são facilmente reparados;
- cortes rasos na borracha das laterais e dos ombros são reparáveis somente se os cordonéis estiverem expostos, porém não danificados;
- pneus com menores danos por meio da faixa de acabamento, ou danos superficiais causados por ferramentas em geral na área do talão são reparáveis se o dano não se estender até as lonas do pneu. No entanto, deve-se ter a certeza de que não há sinais de reparação na área do talão;
- bolhas no revestimento, menores que 4" x 8" podem ser reparadas se não houver mais do que duas em um quarto da seção do pneu, e não mais do que cinco no pneu completo. Normalmente, é mais econômico fazer esse reparo durante a recauchutagem do pneu;
- é considerado antieconômico reparar pneus de aeronaves dos tipos 4 e 6 lonas;
- a falha de um pneu em conjunto duplo ou múltiplo, quando ocorrer perda total de ar, requer a remoção e imediata condenação de todos os pneus do conjunto. Quando um pneu falha, os outros (do mesmo trem) serão sobrecarregados e estarão sujeitos a sérios danos;
- é necessário tomar cuidado com danos tais como cortes, protuberâncias ou outras condições que necessitem de avaliação. O pneu deve ter 25% do real corpo de lonas, e não acima de 2 polegadas de comprimento na superfície. Reparos parciais vulcanizados são feitos também, às vezes, para encher o **friso** da banda de rodagem, que não seja mais fundo do que a borracha da banda de rodagem e não penetre no corpo dos cordonéis.



**Friso:** são pequenos canais esculpidos na banda de rodagem.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados conceitos básicos e fundamentais sobre estocagem de pneus e câmaras de ar. Aprendeu-se a acondicionar esses equipamentos de forma a guardarem suas propriedades durante o prazo de validade; as condições para estocagem de pneus e câmaras de ar; os cuidados a serem tomados a fim de evitar a umidade e ozônio, os quais danificam a borracha do pneu; os perigos com combustíveis e solventes, seus inimigos naturais; a importância e guardá-los em câmara escura, fator primordial para livrá-los do envelhecimento da borracha e de como deveriam se os suportes para estocar pneu.

Foram abordados os tipos de reparos de pneus e câmaras de ar; a recauchutagem de pneus de aeronave, que é recondição de um pneu pela restauração da banda de rodagem ou restauração de uma ou ambas as laterais; os pneus que podem ser recauchutados; pneus não recauchutáveis; pneus reparáveis; não reparáveis de aeronaves. E, por último, foi apresentado de forma geral como se um pneu pode ser avaliado em relação aos reparos parciais.



# Capítulo 10

## Manuseio e operações com pneus

O fator mais importante que incide sobre o desempenho e a resistência a danos dos pneus é a observação criteriosa ao desgaste, assim como à inflação adequada. Como já apresentado, é necessário inflar os pneus até a pressão especificada antes do voo para melhorar o seu desempenho, uma vez que se inflado inapropriadamente aumenta-se a possibilidade de falha na aterragem devido às cargas de alto impacto.

### 10.1 Cuidados na utilização e conservação de pneus

As condições de operação de todas as aeronaves requerem uma grande variedade de tamanhos de pneus e construções. Portanto, os pneus aeronáuticos são projetados pela engenharia para suportar o transporte e o arrasto no deslocamento da aeronave no solo, bem como a variação de temperatura devido à aplicação dos freios e das cargas pesadas em baixas e altas velocidades.

Um pneu é composto essencialmente por três principais materiais: aço, borracha e tecido. O processo de fabricação exige uma montagem de precisão de componentes de tolerância e um processo de cura em condições de tempo, temperatura e pressão controladas cuidadosamente.

### 10.2 Taxiando, freando e girando

Os pneus aeronáuticos são muito exigidos durante os deslocamentos de solo (taxiamento), nas frenagens durante pouso, na decolagem e nas curvas necessárias para estacionar a aeronave.

#### 10.2.1 Taxiando

Nas operações das aeronaves nos aeródromos, durante o taxiamento, os danos ou o uso excessivo dos pneus devem ser evitados.

Uma grande parte do peso de uma aeronave fica nas rodas dos trens de pouso e os pneus são projetados para operar com uma pressão de inflação definida para cada tipo de operação. Com isso, eles absorvem impactos no pouso e comprimem cerca de duas vezes e meia a mais do que os pneus de um carro ou de um caminhão.

A deflexão, portanto, causa mais trabalho na rodagem e também um maior arrasto. Ademais, se um pneu de aeronave bater em um buraco ou uma pedra ou se algum objeto estranho for jogado nas pistas de pouso ou de taxiamento, ou ainda no pátio de estacionamento, haverá maior possibilidade de ser cortado, furado ou danificado devido à porcentagem de deflexão.

Por exemplo: num trem de pouso principal com rodas duplas, um dos pneus pode ser forçado, ocasionando um impacto danoso em sua estrutura. Isso porque todo o peso foi concentrado em apenas um, em vez de ser dividido entre os dois pneus.

Outro fator é o crescimento dos aeroportos e das pistas de taxiamento, aumentando as chances de danos e desgastes e, por consequência, reduzindo a vida útil dos pneus. Por isso, as pistas de taxiamento devem ter um tamanho adequado.

Em resumo, para reduzir pequenos danos aos pneus durante o taxiamento, os aeroportuários devem inspecionar regularmente todas as áreas pavimentadas a fim de eliminar objetos estranhos ou, em inglês, *foreign object damage* (FOD).

### 10.2.2 Freando

Com o aumento do tráfego nos aeroportos, dos longos taxiamentos, das decolagens e dos pousos, os pneus precisam suportar um maior calor resultante de freadas, rolagens e giros.

Devido ao uso severo dos freios, é comum o desgaste em pontos específicos, causando o **desbalanceamento** e a consequente necessidade de recapeamento ou troca prematura.

A tripulação pode, dessa maneira, conservar os pneus, evitando a aplicação severa ou prolongada dos freios, reduzindo a velocidade de deslocamento no solo.

### 10.2.3 Girando

As realizações de curvas e giros no solo pela aeronave devem ser feitas de forma cuidadosa a fim de que haja prolongamento da vida útil dos pneus. Como exemplo, o giro da aeronave deve ser feito assim como o de um automóvel ou caminhão, uma vez que essa manobra em raio é bem maior e reduz materialmente o desgaste na banda de rodagem. Entretanto, quando uma aeronave faz uma curva travando uma roda, o pneu da roda travada é arrastado e torcido com mais força contra o pavimento.

Nessa situação, além de um maior desgaste, um pequeno pedaço de pedra ou rocha que, normalmente não causaria nenhum dano, pode penetrar no pneu. A ação de arrasto ou de desgaste tira a borracha da banda de rodagem e coloca uma tensão muito severa nas paredes laterais do pneu.

Outra situação que pode causar sérios danos nas laterais ou nos ombros do pneu é quando uma das rodas do trem de pouso gira em uma curva, podendo sair da superfície pavimentada. Alguns tipos de danos também podem ocorrer quando a roda rola de volta sobre a borda da superfície pavimentada.

## 10.3 Decolagem e pouso

O conjunto de roda e de pneus de aeronaves está sempre sob tensão nos momentos das decolagens ou dos pousos. Mas nas condições normais, com o controle próprio e a manutenção dos pneus, é capaz de resistir às pressões e executa-las como projetado.



**Desbalanceamento:** pneu montado no cubo de roda com uma parte mais pesada que as outras.

A maioria das ocorrências das falhas ocorre durante o descolamento no pneu, que pode ser extremamente perigoso, resultante, por exemplo, da contaminação de algum objeto estranho. Isso pode ser minimizado com uma inspeção dos pneus e das rodas, bem como das áreas dos hangares e da rampa, de forma a manter as superfícies livres de objetos estranhos.

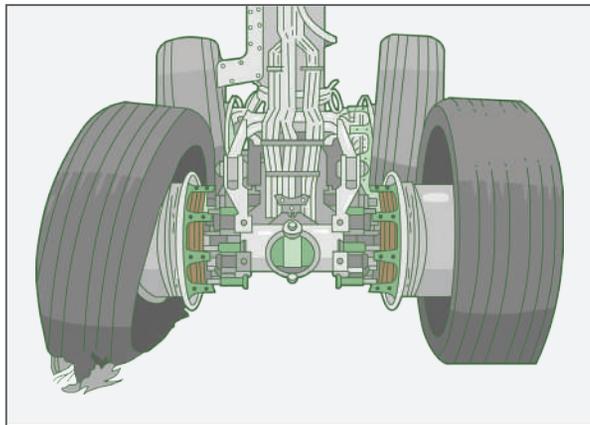


Figura 64 - Falha do pneu em uma corrida de decolagem

É relevante mencionar que os pousos suaves resultam em menor desgaste e eliminam o excesso de tensões nos pneus no momento do impacto. Já os pousos com freios travados, não muito comuns nos modelos atuais de aeronave, quando acontecem, podem resultar em pontos chatos e, nesses casos, a remoção para recapeamento ou trocas é indicada.

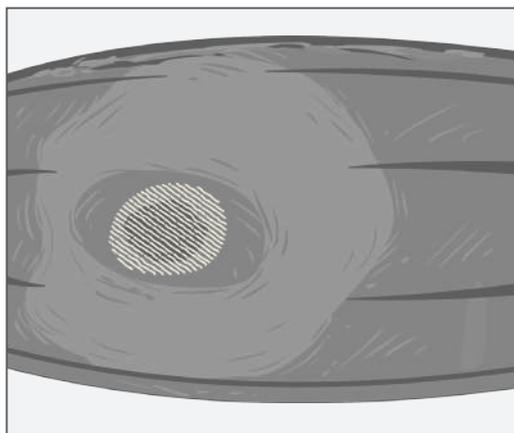


Figura 65 - Travamento de roda - derrapagem

A utilização dos freios nos pousos sempre causa um aquecimento severo no ponto de contato da banda de rodagem, aumentando a temperatura e, em decorrência disso, o derretimento da borracha da banda de rodagem (queima de derrapagem). Decerto, o calor intenso nos pneus tem a tendência de enfraquecer as cintas e colocar tensões severas na banda de rodagem. Além disso, pode levá-los a **desvulcanizar** na área de rolagem. Nessas circunstâncias, não é incomum ocorrerem estouros uma vez que o ar comprimido ou sob pressão deve ser expandido.

Os pneus que derrapam numa pista de alta velocidade têm ação similar à de um pneu sendo encostado a uma pedra de **esmeril** em alta rotação. Quando a aeronave necessita pousar em velocidade, a vantagem do comprimento da pista não pode ser aproveitada, então os freios são



**Desvulcanizar:** retirada de borracha do pneu.

**Esmeril:** pedra em um disco giratório usada para lixar uma peça de forma mais profunda.

aplicados tão severamente que alguns pontos chatos serão produzidos nos pneus. Caso isso ocorra, eles podem derrapar na pista, ficando danificados além do limite de recuperação. O mesmo pode ocorrer no pouso brusco caso os freios sejam aplicados após o primeiro toque.

## 10.4 Condições da pista

Independentemente da excelência de qualquer programa de manutenção preventiva, ou do cuidado tomado pelos pilotos e pela tripulação de terra em lidar com a aeronave, por certo haverá danos nos pneus se passarelas, faixas de taxiamento, rampas e outras áreas pavimentadas de um aeródromo estiverem em mau estado, ou indevidamente mantidas.

Devido a isso, qualquer irregularidade no pavimento ou presença de detritos deve ser relatada ao pessoal do aeroporto para reparo imediato ou remoção.

## 10.5 Hidroplanagem

Lâminas d'água presentes em pistas de pouso e decolagem representam perigo às operações nos aeródromos devido à ocorrência de um fenômeno conhecido como hidroplanagem. Isso ocorre quando os pneus da aeronave, ao passarem sobre um filme de fluido, água, perdem o seu contato com a pista do aeródromo, resultando em perda do controle direcional da aeronave.

Fisicamente esse fenômeno inicia-se em um ponto no qual a elevação hidrodinâmica sob os pneus equivale ao peso da aeronave conduzida sobre as rodas. A partir desse ponto, qualquer aumento da velocidade acima desse valor crítico elevará completamente o pneu do pavimento, iniciando assim a hidroplanagem.

O peso e a velocidade da aeronave, assim como a pressão dos pneus, as características físicas da pista de pouso, a decolagem e o acúmulo de água na pista, são condições propícias para ocorrência de tal fenômeno.

Como alternativa de melhoramento do escoamento da água, muitos dos principais aeroportos em todo o mundo têm modificado suas superfícies de pista ao cortarem sulcos transversais, também chamados de *groove*.

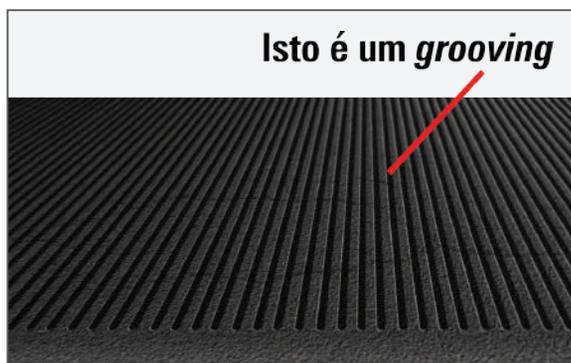


Figura 66 - Pista cortando sulcos transversais

O *grooving* pode causar um padrão de cortes no formato da letra (V) nas nervuras do centro da banda de rodagem em que altas pressões de ar são utilizadas nas aeronaves a jato, conforme demonstrado na Figura 67.

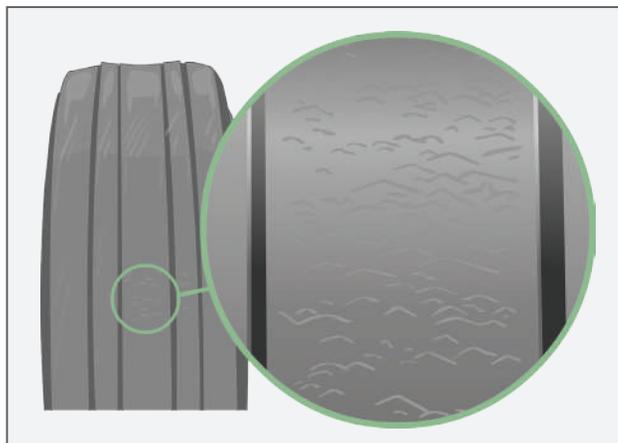


Figura 67 - Danos ao pneu causados por pista com sulcos transversais

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os cuidados na utilização e conservação de pneus, que sofrem com a variação de temperatura devido à aplicação dos freios e às cargas pesadas em baixas e altas velocidades; bem como às operações de táxi, ao freio e ao giro.

Foram trazidas também as precauções com todas as áreas pavimentadas que devem ser regularmente inspecionadas para eliminação de objetos estranhos, possíveis causadores de danos aos pneus nas decolagens e nos pousos. Foi visto que a observação criteriosa das condições da pista é imprescindível, pois furos, deformações e rachaduras no pavimento ou asfalto são os grandes causadores de defeitos. Por conseguinte, o fenômeno físico denominado hidroplanagem causada por lâmina d'água em pistas foi descrito, trazendo como alternativa de melhoramento do escoamento da água a utilização dos sulcos transversais ou *grooves*.



# Capítulo 11

## Reparos de câmaras de ar

As câmaras de ar são definidas como anéis de borracha ocos e flexíveis inseridos para segurar a pressão de inflação de pneus de aeronaves ao serem colocadas dentro deles. Elas devem conter a inflação com perda mínima de pressão. Algumas câmaras de ar têm *nylon* e tecido de armação mergulhado na borracha para fornecer força com a finalidade de resistir à fricção e proteger contra o calor durante a frenagem.

Existem câmaras de ar em diversos tamanhos específicos para cada pneu. Veja-se um exemplo de câmara de ar na Figura 68.

A montagem e a desmontagem corretas de pneus e câmaras de aeronaves são essenciais para a máxima segurança e economia dos voos. É um trabalho especializado que deve ser feito somente por pessoas treinadas, de posse das ferramentas adequadas. Portanto, deve ser dada atenção às instruções específicas e aos procedimentos estabelecidos.

Alternadamente, por períodos curtos de tempo, conforme o manual do fabricante, uma câmara de ar pode ser armazenada dentro de um pneu com o tamanho correto, inflando-a apenas o suficiente para completar a área interna do pneu. Nessa ação de armazenagem, deve-se colocar talco no interior do pneu e do lado de fora da câmara para impedir que esses equipamentos grudem. Deve-se também remover a câmara de ar do pneu para inspeção antes da montagem permanente.

Independentemente do método de armazenamento, é necessário sempre guardar as câmaras de ar em um lugar seco, fresco e escuro, longe de ozônio produzido por equipamentos e ar em movimento. Além disso, ao manuseá-las e armazená-las, os vincos devem ser evitados, pois enfraquecem a borracha e, eventualmente, causam falhas. Ademais, nunca se deve pendurá-las num tubo longo de prego ou pino com fins de armazenamento.

Elas devem, ainda, ser inspecionadas com o propósito de verificar se existem danos que possam causar um vazamento ou uma falha. Assim, para investigar a existência de vazamentos, é necessário remover o pneu, inflar a câmara de ar apenas o suficiente para que tome forma e, depois disso, mergulhá-la em um recipiente de água, verificando se há formação de bolhas de ar. Uma câmara grande pode exigir que a água seja aplicada sobre ela, nesse caso, deve-se atentar para a presença de bolhas. O núcleo da válvula também deve ser molhado para verificar se existem vazamentos.

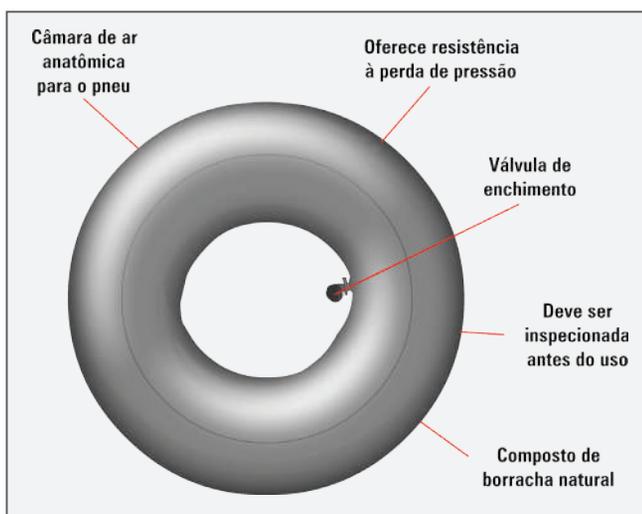


Figura 68 - Câmara de ar

É relevante mencionar que não há limite obrigatório relacionado a tempo de uso ou armazenamento das câmaras de ar. Exige-se, entretanto, que elas sejam elásticas e não tenham rachaduras ou dobras para serem consideradas úteis.



**Área valvular:** área em que a válvula de enchimento do pneu é colocada.

A **área valvular** também está suscetível a danos e, devido a isso, deve ser inspecionada. É necessário inspecionar o corpo no qual é instalado o núcleo da válvula para garantir que não haja fissuras ou rachaduras na base ligada ao pneu ou na área em que ela passa por meio do orifício do aro da roda. Deve-se inspecionar, do mesmo modo, o núcleo da válvula para garantir que ele esteja apertado de forma suficiente e livre de vazamentos.

Decerto, caso uma área da câmara de ar esteja com a borracha desgastada, ela deve ser descartada.

Como foi mencionado anteriormente, as câmaras de ar são fabricadas para o tamanho específico do pneu e aplicadas em rodas tipo tubulares. Assim, existem alguns cuidados necessários a serem tomados na inspeção desses equipamentos. São eles:

- examinar se as câmaras apresentam quaisquer cortes, rachaduras ou outros danos, não as usar caso estejam danificadas;

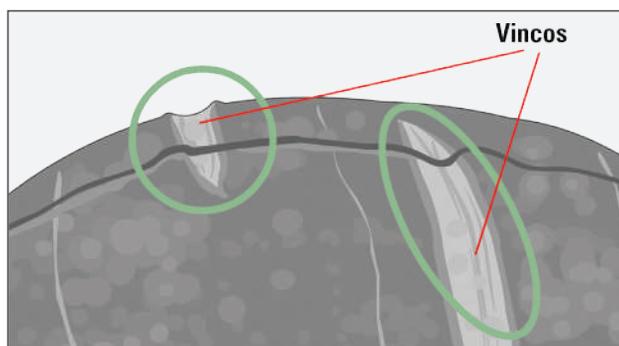


Figura 69 - Câmara de ar

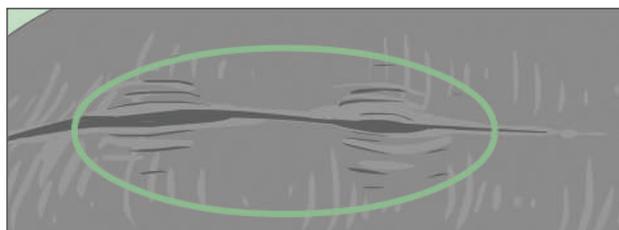


Figura 70 - Identificação de vinco em câmara de ar

- pulverizar com talco em volta da câmara de ar e dentro do pneu. Isso reduz a abrasão e as chances de rugas ou dobras;
- instalar a câmara de ar com a haste da válvula ao lado do número de série do pneu junto à marca vermelha;



Figura 71 - Marca vermelha de balanceamento

- inflar a câmara até que ela comece a assumir a forma do pneu, verificando se há rugas ou pregas entre a câmara e o pneu. Ao utilizar a válvula de enchimento, é necessário mover a câmara para trás no interior do pneu para remover quaisquer rugas. Se o tubo não se mover facilmente, é necessário desinflar ligeiramente e, caso seja preciso, repetir o processo;
- a câmara de ar não pode ser cheia para passar talão do pneu, nem pode ser comprimida durante a montagem das metades de rodas. Se necessário, deve ser esvaziada até que possa se assentada.

Existem três razões que acarretam perda de pressão em uma câmara de ar:

- furo na câmara de ar;
- uma haste de válvula danificada;
- um núcleo de válvula de abastecimento em mau funcionamento.

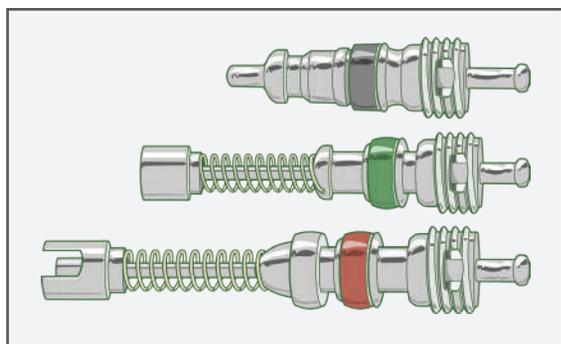


Figura 72 - Núcleo de válvula de abastecimento

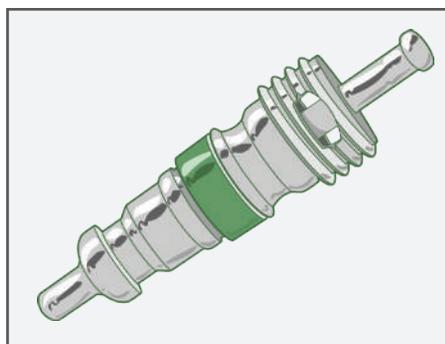


Figura 73 - Núcleo de válvula de abastecimento (alta pressão)

Encontrar um vazamento de inflação é geralmente simples. O primeiro passo é verificar se a válvula está apertada. Caso esteja e o vazamento continue, deve-se substituí-la e, caso não haja fuga de ar pela válvula, deve-se desmontar o pneu, remover a câmara e localizar a fuga por imersão da câmara em água. Se for encontrado um vazamento no corpo, é necessário substituir a câmara.

Em caso de uma falha física definida, é recomendada, como procedimento de resolução de problemas, a consulta ao manual de manutenção e revisão do fabricante dos pneus, das câmaras e das rodas.

## **Resumindo**

Neste capítulo, foram apresentados conceitos básicos sobre reparos de câmaras de ar, mostrando a sua composição e função, bem como os métodos de segurança no trabalho conjunto com pneus, rodas e câmaras.

Por conseguinte, foram apresentados métodos de inspeção, cuidados e ações corretivas referentes a cada tipo de problema encontrado nesse material.

# Capítulo 12

## Inflação de pneus

Um pneu inflado com uma pressão acima do previsto terá desgaste mais acentuado do sulco central da banda de rodagem do que dos sulcos laterais.

De forma contrária, se ele for inflado com uma pressão abaixo do previsto, o desgaste será intensificado nos sulcos laterais.

De acordo com a Figura 74, este é um pneu que atuou com uma pressão menor da que foi especificada.

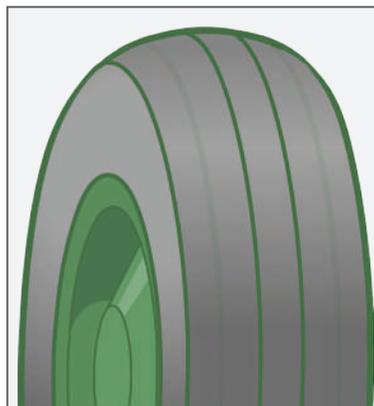


Figura 74 - Pneu que operou com pressão abaixo do especificado

### Pneus com inflação lateral

Esses pneus são especiais, pois possuem um orifício por meio do qual ocorre a inflação, que dispensa a válvula no cubo da roda para enchimento.

É necessário sempre verificar se eles estão em boas condições. Na operação de checagem, é obrigatório seguir as recomendações de segurança expedidas pelas empresas fabricantes, como, por exemplo: corretas calibragem e pressão interna no uso desses equipamentos.

A fabricação dos pneus de aviação envolve modernas técnicas de engenharia superiores às dos pneus comuns, pois, tecnologicamente, os primeiros devem proporcionar segurança ao suportar grandes pesos, altas velocidades e grandes variações de temperatura.

Dentre os vários tipos de pneus encontrados em uso na aviação, os fabricados com uma válvula na própria parede lateral eliminam a necessidade de **usinar** a roda. O enchimento de um pneu, assim como a verificação da pressão de ar, é executado inserindo-se uma agulha por meio de uma válvula, na parte lateral do pneu, parecida àquelas utilizadas em bolas de futebol e outros tipos que usam os mesmos métodos de enchimento. Deve-se tomar cuidado com essa agulha, porque, se danificada, pode atingir a válvula, resultando em perda de ar, particularmente quando o pneu estiver com carga.

Já a válvula é facilmente trocada, uma vez que o único equipamento necessário é uma faca ou uma tesoura para cortar a antiga dentro do pneu e um pedaço de barbante para inserir a que será trocada. Também é possível trocá-la sem ser necessária a remoção do pneu da roda.

Outro ponto relevante é a recomendação do uso de nitrogênio no abastecimento dos pneus com inflação lateral, uma vez que eles perdem menos pressão com o passar do tempo pelo fato de a borracha ser menos permeável ao gás em relação ao ar comprimido. Além disso, a durabilidade das rodas em que são montadas é aumentada, reduzindo o risco de oxidação em virtude da não



**Usinar:** trabalhar em uma peça ou fabricar uma nova.

compatibilidade entre oxigênio e umidade presentes nesse ar. Outro fato positivo é que a pressão não varia, porque o nitrogênio impede o aumento excessivo da temperatura. Veja-se na Figura 75 um carro abastecedor de nitrogênio.

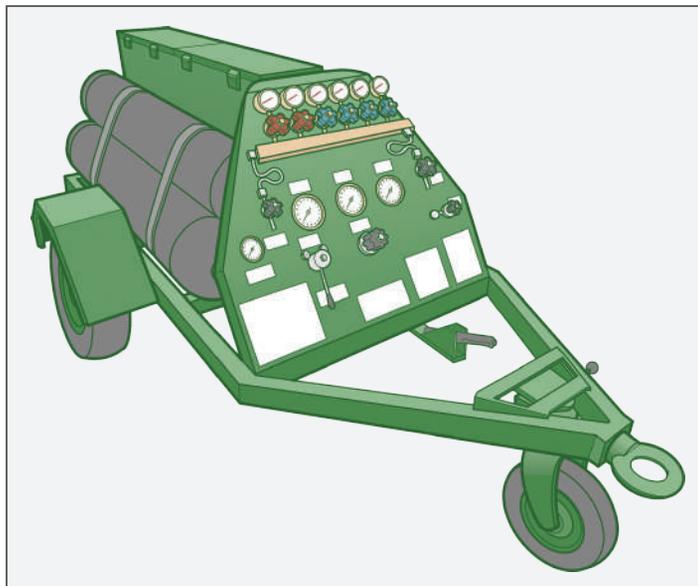


Figura 75 - Carro abastecedor de nitrogênio

A pressão interna é a principal função de manutenção, imprescindível, pois, para a segurança e a durabilidade de utilização dos pneus de aeronaves. Portanto, deve ser checada com instrumentos de precisão e manômetros, uma vez que um pequeno vazamento pode ser desenvolvido, ocasionando perda de ar dentro de dois ou três dias e, como consequência, danos ao pneu. Os manômetros de pressão digital e de pressão analógico podem ser identificados nas Figuras 76.A e 76.B.

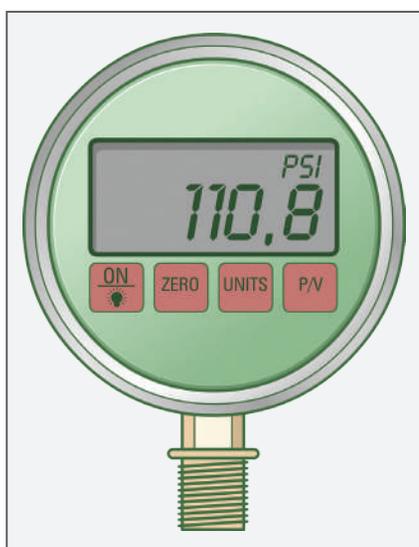


Figura 76.A - Manômetro de pressão digital

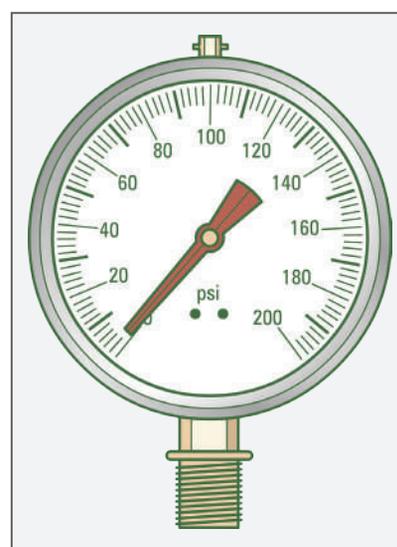


Figura 76.B - Manômetro de pressão analógico

Ressalta-se que a inspeção deve ser feita quando a pressão interna dos pneus se apresentar em temperatura ambiente. No entanto, é necessário aguardar pelo menos duas horas após o voo para inspecioná-la.

Decerto, uma baixa inflação poderá resultar em uma patinação ou em um deslizamento do pneu durante o pouso ou a aplicação dos freios. Outra situação de pressão muito baixa seria o desgaste rápido e desigual próximo à borda da banda de rodagem.

## **Resumindo**

Neste capítulo, foram abordadas as características dos pneus com a válvula de enchimento instalada na sua lateral.

Foi visto que a função dessa válvula é possibilitar a inflação dos pneus de aeronave e manter a pressão correta de operação. Alertaram-se, também, quanto ao uso recomendado do nitrogênio como gás de inflação e as inspeções necessárias para a segurança de operação.



# Capítulo 13

## Inspeção de pneus

Uma inspeção sistemática dos pneus é enfaticamente recomendada para segurança e economia dos voos. Assim, a frequência deve ser determinada pelo uso e desgaste normal do pneu da aeronave particularmente envolvida, precisando ser inspecionado após um pouso normal ou forçado.

### 13.1 Vazamento ou danos na válvula

Para a inspeção de vazamento ou danos na válvula, é necessário:

- verificar se há possibilidade de vazamentos nas válvulas de enchimento;
- retirar a tampa protetora e despejar algumas gotas de água no bico;
- substituir o núcleo ou todo o conjunto da válvula caso apareçam bolhas e, posteriormente, repetir a inspeção;
- apertar a tampa da válvula firmemente com os dedos a fim de evitar contaminação por poeira, óleos e outras misturas que penetrem no interior das válvulas, podendo danificar o seu núcleo.

### 13.2 Banda de rodagem

Para a inspeção da banda de rodagem, é necessário:

- verificar se existem cortes ou danos na área da banda de rodagem;
- remover obrigatoriamente pedaços de vidro, pedras, metais ou outros objetos desconhecidos que possam estar incrustados na banda de rodagem ou que tenham penetrado nos cordonéis. Usar um **furador rombudo** ou uma chave de fenda para isso;

Caso seja encontrado algum corte ou material estranho, deve-se cuidar para não alargá-lo ao dirigir a ponta do furador ou da chave de fenda para dentro do corpo de cordonéis.

Quando o corte não expõe a carcaça dos cordonéis, a retirada dos pneus do serviço não é obrigatória. Caso contrário, se os cortes ou outros danos exponham ou tenham penetrado no corpo de cordonéis, devem ser removidos e reparados, recapeados ou descartados.

Já os pneus com sinais de saliência na banda de rodagem ou nas laterais precisam ser removidos. É necessário, portanto, identificar os locais com giz antes de esvaziá-los.



**Furador rombudo:**  
ferramenta para retirada  
de material em um pneu,  
não cortante.

### 13.3 Uso desigual de pneu, danos nas laterais e desgaste normal

É necessário inspecionar os pneus para verificar se há evidências de mau alinhamento das rodas expostas nas Figuras 77.A e 77.B. Caso haja, eles devem ser desmontados, virados e remontados na ordem de uso.

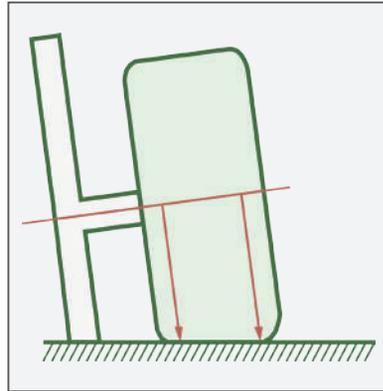


Figura 77.A - Representação de um pneu com desgaste irregular

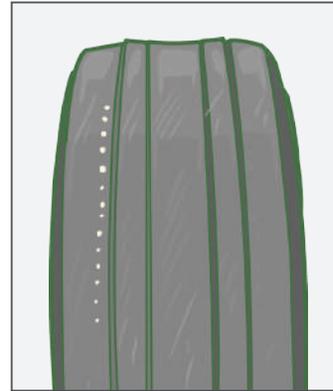


Figura 77.B - Pneu com desgaste irregular

As bandas laterais são partes dos pneus que sofrem bastante esforço nos deslocamentos, na decolagem e no pouso de uma aeronave, portanto devem estar livres de corte ou qualquer tipo de deterioração.

Ambas as laterais devem ser inspecionadas cuidadosamente, se possível, depois de cada voo, a fim de evidenciar desgastes, rachaduras radiais, cortes, protuberâncias, etc. Se os cordões estiverem expostos, o pneu deve ser removido do serviço.

Em contraste, um pneu com gasto normal mostrará uma uniformidade entre os desgastes dos sulcos centrais e dos ombros conforme pode ser observado nas Figuras 78.A e 78.B.

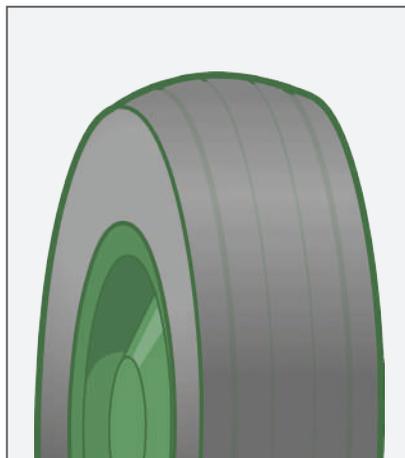


Figura 78.A - Pneu com desgaste normal



Figura 78.B - Pneu usado além do limite

## 13.4 Pneus sem câmaras e inspeção do pneu desmontado

Um pneu sem câmara – área do talão – é adequadamente mais apertado na roda do que um que possui câmara. Dessa maneira, a face do talão não pode estar danificada para não causar vazamento. Destaca-se, assim, a importância em verificar se existem danos por ferramentas, falta de aderência, enquanto em serviço, ou danos que deixam o ar escapar do interior do pneu.

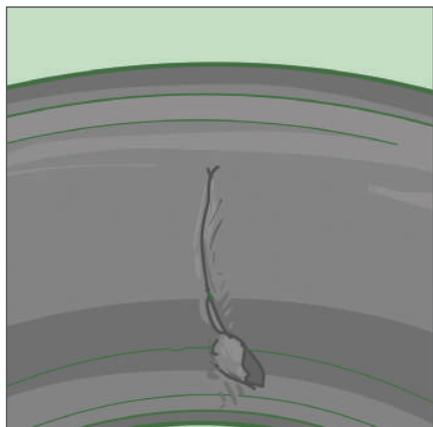


Figura 79.A - Pneu com dano causado pelo transporte em empilhadeira



Figura 79.B - Empilhadeira

O método de levantamento por empilhadeiras é utilizado no transporte dos pneus de aeronaves de grande porte devido ao seu peso. No entanto, devem-se evitar empilhadeiras com duas forquilhas, uma vez que pode causar danos ao talão e à banda lateral do pneu, conforme Figura 79.A. O ideal é utilizar apenas uma forquilha como demonstrado na Figura 79.B.

Por último, caso uma aeronave faça um pouso duro, mais brusco que o normal, o pneu e a câmara devem ser desmontados e inspecionados para determinar se existe algum dano oculto. A roda também deve ser inspecionada na mesma ocasião.

Ressalta-se que esforços acima do limite especificado para os pneus trazem como consequência a redução da vida útil e a saída precoce de operação.

Acidentes graves podem ser evitados caso haja uma inspeção cuidadosa prevista nos manuais técnicos.

## 13.5 Fusível térmico

Algumas rodas de aeronaves têm um dispositivo capaz de sentir temperaturas elevadas e baixar a pressão de ar para evitar que o pneu estoure ou agarre na roda.

É necessário determinar se o sensor derreteu a uma temperatura mais baixa do que a prevista ou se o ar pode ter saído ao redor do sensor devido a uma instalação imprópria.

Se um pneu for submetido a uma temperatura alta a ponto de derreter um dos sensores, deve haver uma inspeção cuidadosa para verificar evidências de reversão da cobertura de borracha ao redor da área de contato com o aro.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os métodos de inspeção sistemática dos pneus com a finalidade de atingir segurança e economia.

Ademais, foi abordada a inspeção no talão, demonstrando que o pneu sem câmara deverá ser adequadamente mais apertado na roda para reter o ar no seu interior, assim como o fusível térmico, um dispositivo que se destina a sentir temperaturas elevadas e baixar a pressão de ar para evitar que o pneu estoure ou agarre na roda. Por conseguinte, explanaram-se sobre os tipos de desgaste de pneu, característicos de inflação correta, abaixo e acima do previsto para a operação.

# Capítulo 14

## Sistema de antiderrapagem

A finalidade dos freios que estão localizados na roda é reduzir a velocidade da aeronave, após o toque na pista ou durante o deslocamento dela no solo. Os freios podem ser produzidos pela troca da energia do movimento em energia térmica por meio da fricção de peças mecânicas desenvolvidas no sistema de freios.

Aeronaves de grande porte necessitam de alta pressão para atuar nos sistemas de freio. Assim, uma forma encontrada para proporcionar maior segurança é controlar a derrapagem ou aplicar uma proteção contra ela, evitando o travamento das rodas e a possibilidade de um descontrole da aeronave.

Esse sistema detecta a derrapagem da roda, assim como a sua iminência em derrapar, aliviando momentaneamente a pressão para os pistões de freio da roda e conectando fluido de freio pressurizado com a linha hidráulica de retorno do sistema. A pressão é mantida no freio em um nível que retarda a roda sem causar a derrapagem, o que equivale à máxima eficiência de frenagem quando as rodas desaceleram, mas não derrapam.

Se uma roda desacelera muito rapidamente, é uma indicação de que os freios estão prestes a bloquear e causar uma derrapagem. Para garantir que isso não aconteça, cada roda é monitorada para uma taxa de desaceleração mais rápida que uma taxa predefinida. Quando é detectada a desaceleração excessiva, a pressão hidráulica é reduzida para evitar que as rodas travem.

Uma derrapagem não corrigida pode acarretar em um pneu furado, possíveis danos e perda do controle da aeronave.

### 14.1 Controle de derrapagem normal

Em um controle de derrapagem normal, os freios são aplicados sobre as rodas para redução de velocidade, mas não as travam nem as paralisam.

Nessa ação de comando para diminuição de velocidade, poderá ocorrer um início de deslizamento (derrapagem), o que não ocorrerá por segurança do sistema. Quando essa situação ameaçar acontecer, a válvula de controle remove parcela da pressão hidráulica aplicada nos freios da roda. Isso possibilitará que ela gire mais rapidamente e pare a ação de deslizamento.

Caso haja uma derrapagem com maior intensidade, a válvula de controle retira uma maior parcela de pressão do freio.

A detecção e o controle de derrapagem de cada roda são completamente independentes, pois existe uma detecção exclusiva para cada roda. Além disso, a intensidade da derrapagem da roda é medida pela quantidade de queda de giros.

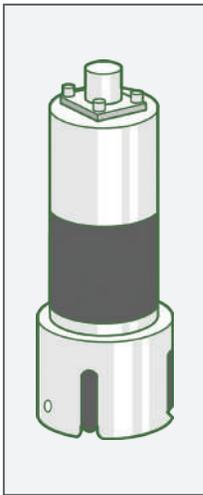


Figura 80 - Gerador do controle de derrapagem

## 14.2 Gerador do controle de derrapagem

As funções desse componente se resumem em:

- medir a velocidade de rotação da roda;
- sentir as variações da velocidade da roda.

Este pequeno gerador (sensor) eletrônico está localizado no eixo, que é o ponto de fixação de cada roda do trem de pouso. A armadura desse gerador está acoplada e sendo conduzida pela roda principal, por meio do captador de rotação na roda. Com o giro dela, o gerador desenvolve um sinal de corrente e voltagem.

O gerador do controle de derrapagem é evidenciado na Figura 80.

A intensidade do sinal indicará a rotação da roda. Esse sinal alimenta a caixa de controle por meio das cablagens, que é um conjunto de fios elétricos.

## 14.3 Caixa de controle de derrapagem

A caixa de controle de derrapagem pode ser considerada como o cérebro do sistema, pois interpreta o sinal vindo do gerador do controle de derrapagem e sente as mudanças da intensidade do sinal. A interpretação pode ser entendida como:

- derrapagem em desenvolvimento;
- travamento das rodas;
- aplicação dos freios;
- liberação dos freios.

Além disso, ela envia os sinais apropriados para os solenoides nas válvulas de controle de derrapagem. Na Figura 81, apresenta-se uma caixa de controle de derrapagem.

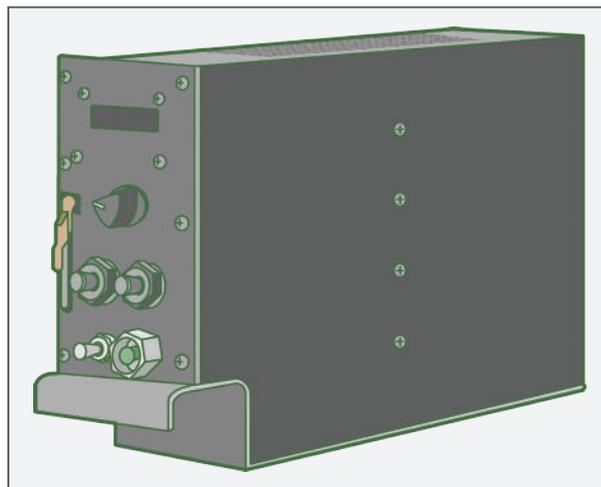


Figura 81 - Caixa de controle de derrapagem

Principais características da caixa de controle de derrapagem:

- recebe sinais a partir de cada um dos sensores de rodas;
- a unidade de controle pode ou não ter chaves de testes externos e de status indicando luzes;
- é localizada, comumente, no compartimento de aviônica da aeronave.

## 14.4 Válvulas de controle de derrapagem

As válvulas de derrapagem são operadas por solenoides sob os quais os sinais elétricos vindos da caixa de controle de derrapagem atuam.

No entanto, se uma derrapagem acontecer, levemente ou seriamente, um sinal é enviado para o solenoide, que permite baixar a pressão medida na linha entre a válvula de medição e os cilindros dos freios. Portanto, a válvula de controle de derrapagem também faz a retirada do fluido para a linha de retorno do reservatório sempre que o solenoide for energizado. Naturalmente, isso alivia imediatamente a aplicação dos freios.

Um fluxo de pressão nas linhas e nos freios vem das válvulas de medição enquanto o piloto pressiona o pedal do freio. Mas o fluxo e a pressão retornam para o reservatório em vez de irem para os freios das rodas. Em suma, a pressão do sistema de utilidade entra na válvula de controle do freio, na qual é medida para os freios das rodas.

Porém, antes que possa ir para os freios, ela precisa passar pela válvula de controle de derrapagem. Se o solenoide estiver atuado (energizado), uma passagem é aberta na linha entre a válvula de controle do freio e o freio.

Essa passagem leva a pressão de aplicação do freio para a linha de retorno do sistema de utilidade. Isso reduz a aplicação do freio e as rodas giram rápido novamente. O sistema é projetado para operar abaixo do limite de uma derrapagem, o que dá maior efetividade ao sistema.

As Figuras 82.A e B evidenciam dois modelos de válvulas de controle de derrapagem.

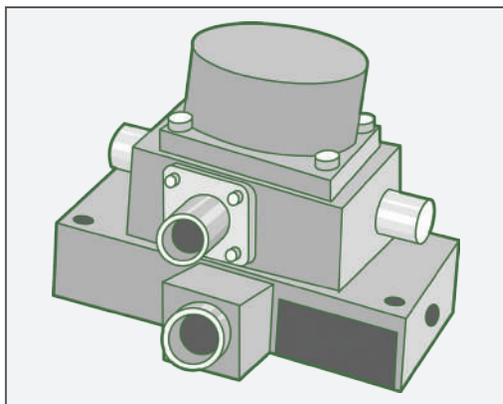


Figura 82.A - Válvulas de controle de derrapagem

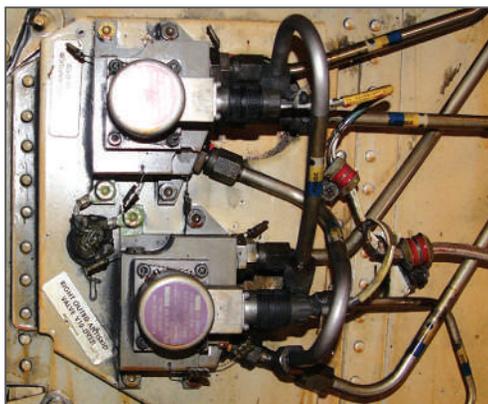


Figura 82.B - Caixa de controle de derrapagem  
Fonte: EUA, 2012. FAA.



**Solenoide:** condutor enrolado em forma de espiras, utilizado para produzir força mecânica.

## 14.5 Controle do piloto

O sistema de antiderrapagem pode ser cancelado por meio de um interruptor na caixa de comando demonstrada na Figura 83.

Para verificar se o sistema está desligado ou se há uma falha nele, basta verificar se uma lâmpada de alarme foi acesa.

Para operar o sistema de antiderrapagem (*anti-skid*), os interruptores antiderrapagem interna (INBD) e externa (OUTBD) devem ser colocados na posição on (ligado). Depois que o avião toca o solo, o piloto aplica e mantém pressão total para os pedais de freio, o mesmo do leme. O sistema de antiderrapagem, em seguida, funciona automaticamente até que a velocidade da aeronave caia para, aproximadamente, 20 mph. Com isso, o sistema retorna para o modo de travagem manual para taxiamento lento e manobras no chão.

Existem vários modelos de sistemas antiderrapantes que funcionam sem interferência humana. Alguns deles fornecem travagem automática completa, em que o piloto só precisa ligar o sistema de freio automático e os componentes antiderrapantes desaceleram a aeronave sem entrada de pedal.

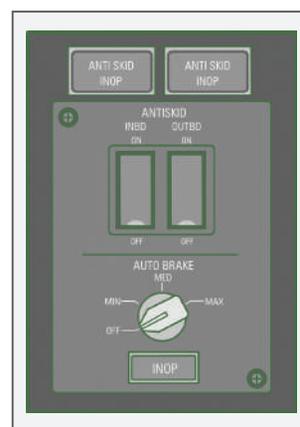


Figura 83 - Caixa de comando do sistema de antiderrapagem

## 14.6 Controle de derrapagem de roda travada

O controle de derrapagem de roda travada tem como função liberar completamente o freio quando a roda travar.

Uma roda trava facilmente sobre uma camada de gelo, devido à falta de atrito do pneu com a superfície, por exemplo. Essa situação pode ocorrer caso o controle de derrapagem normal não evite que a roda atinja uma derrapagem completa.

O controle da roda travada fica fora de ação durante velocidades menores que 15 a 20 mph.

## 14.7 Proteção no toque com a pista

O circuito de proteção, no toque com a pista, evita que os freios sejam aplicados durante o pouso, caso os pedais de freio sejam pressionados, ação que pode ocorrer de forma involuntária ou inadvertida ao controlar o avião. Evita, ainda, que as rodas estejam travadas quando tocarem a pista de pouso.

As rodas têm uma chance de começar a rodar antes de suportarem todo o peso da aeronave.

Uma das condições que precisa existir antes das válvulas de controle de derrapagem é permitir a aplicação do freio, a fim de que a caixa de controle envie o sinal apropriado para o solenoide da válvula de controle de derrapagem. Para isso, o gerador do controle de derrapagem deve sentir que a velocidade da roda esteja acima de 15 a 20 mph.

## 14.8 Proteção contra falhas

O circuito de proteção contra falhas monitora a operação do sistema de controle de derrapagem. E automaticamente retorna o sistema de freio para operação manual em caso de falha do sistema, ativando uma luz de alarme.

É importante saber o estado do sistema de antiderrapagem antes de tentar usá-lo durante um pouso ou uma decolagem abortada. Um sistema inoperante pode ser desligado sem afetar a operação do freio normal.

Os componentes do sistema de antiderrapagem requerem pouca manutenção, portanto, uma solução de falhas é realizada por meio de qualquer circuito de teste ou, ainda, por meio do isolamento da falha de um dos três principais componentes de funcionamento do sistema. Esses componentes, normalmente, são enviados para o fabricante ou um centro de reparação certificando quando o trabalho de manutenção é necessário.

Relatos de mau funcionamento do sistema de antiderrapagem são, por vezes, problemas de funcionamento do sistema de freio ou dos conjuntos de freio. Dessa maneira, cabe ao mecânico garantir que estejam sangrando e funcionando normalmente sem vazamentos antes de iniciar a inspeção do sistema propriamente dita.

O gerador do controle de derrapagem deve ser firmemente e corretamente montado no eixo, bem como deve ser livre de contaminação. Diante disso, os que fazem uso de selantes devem estar corretamente instalados e em boas condições. A fiação também está sujeita a condições severas e deve ser inspecionada a fim de verificar a sua integridade e segurança e, caso esteja danificada, deverá ser reparada ou substituída conforme as instruções do fabricante.

Outro equipamento que deve ser avaliado é a válvula de controle de derrapagem do sistema hidráulico, a qual deve ser limpa ou substituída nos intervalos prescritos, seguindo todas as instruções do fabricante ao realizar essa manutenção. Ademais, a fiação para a válvula deve ser segura e não deve haver vazamento de fluido nessa unidade.

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados conceitos básicos e fundamentais sobre o sistema de antiderrapagem, o qual detecta a derrapagem da roda, assim como a iminência em derrapar, aliviando momentaneamente a pressão para os pistões de freio da roda e conectando fluido de freio pressurizado com a linha hidráulica de retorno do sistema.

Foram abordadas também as características dos três principais componentes desse sistema: o gerador do controle de derrapagem, responsável por medir a velocidade de rotação e sentir as variações da velocidade das rodas; a caixa de controle de derrapagem, que envia sinais apropriados para os solenoides nas válvulas de controle de derrapagem; as válvulas de controle de derrapagem, cuja função é aliviar a pressão que vai para os freios aliviando evitando assim a derrapagem. E, por conseguinte, foram apresentados os sistemas de proteção: o de toque na pista, o qual evita que os freios sejam aplicados antes do toque no solo e o circuito de proteção contra falhas que monitora a operação do sistema de controle de derrapagem.



# Capítulo 15

## Manutenção dos sistemas de trem de pouso

Os trens de pouso necessitam de inspeção regular, bem como de manutenção preventiva e corretiva, devido às tensões provocadas pelo amortecimento do impacto da aeronave no pouso e no deslocamento do solo.

### 15.1 Inspeção, serviços e manutenção dos sistemas de trem de pouso

Para que os procedimentos de inspeção, serviços e manutenção sejam feitos de maneira apropriada, todas as superfícies devem estar totalmente limpas, a fim de possibilitar a identificação de todos os pontos problemáticos.

Nas inspeções dos trens de pouso, geralmente, estão incluídas as seguintes verificações:

- vazamento de óleo dos amortecedores de choque;
- restrição de vibração na roda do nariz dos amortecedores de vibração (*shimmy*);
- instalação correta das travas de segurança no solo;
- funcionamento do indicador de posição do trem de pouso, das luzes e buzinas de alarme;
- posicionamento e condições apropriadas dos punhos dos controles e sistemas de emergência;
- corrosão ou frouxidão dos parafusos das rodas do trem de pouso;
- deterioração da fiação do sistema antiderrapagem;
- deterioração e desgaste por graxa ou óleo dos pneus, alinhamento das marcas de deslizamento (marca de alinhamento entre a válvula de abastecimento, cubo e pneu) e pressão de inflação;
- operação e ajustes apropriados dos mecanismos que constituem o sistema de trem de pouso;
- alinhamento e segurança do comando de direção da roda do nariz;
- folga e desgaste dos freios.

A Figura 84 demonstra um amortecedor de vibração.

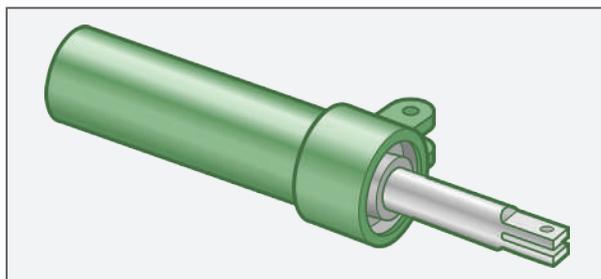


Figura 84 - Amortecedor de vibração (*shimmy*)

Para efetuar o serviço de lubrificação, é necessário seguir os manuais de manutenção, que determinarão os tipos de lubrificante requeridos para os pontos de fricção e desgaste do trem de pouso.

De início, o lubrificante é aplicado com as mãos ou uma engraxadeira do tipo manual, mostrada na Figura 85, ou automática.

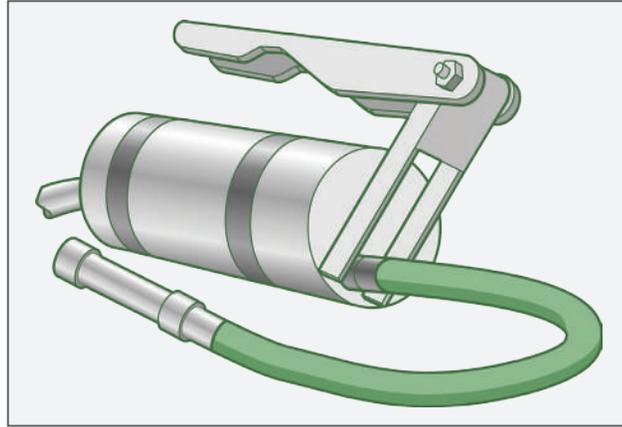


Figura 85 - Engraxadeira do tipo manual

Após a aplicação com a engraxadeira, por exemplo, devem-se limpar os bicos de lubrificação do trem de pouso e remover a graxa velha e a sujeira. Isso porque areia, sujeira e lubrificante misturados produzem um composto de natureza muito abrasiva.

Ademais, é necessário deixar livre de quaisquer contaminações os lubrificantes aplicados pela engraxadeira, assim como as hastes dos pistões e dos cilindros expostos antes de operar com a finalidade de evitar danos em selos e gaxetas (anéis de vedação).

Para manutenção dos rolamentos, é indispensável:

- removê-los das rodas para limpeza, inspeção e lubrificação;
- utilizar o solvente recomendado pelo manual técnico para limpeza;
- não usar gasolina com chumbo;
- secar o rolamento pelo direcionamento de jatos de ar seco entre os roletes;
- não direcionar o ar nos rolamentos para que os detritos não sejam projetados contra as pessoas que estão nas proximidades.

Dessa maneira, não poderão ser colocados em serviço os rolamentos que apresentarem:

- lascas, rachaduras ou superfícies quebradas;
- aspereza devido à pressão de impacto ou desgaste;
- corrosão ou furos na superfície do rolamento;
- descoloração causada por superaquecimento;
- gaiolas rachadas ou quebradas;
- capas ou cones de rolamentos riscados ou frouxos, uma vez que podem afetar o assentamento correto do eixo na roda.

Na Figura 86, é possível verificar os defeitos nos rolamentos.

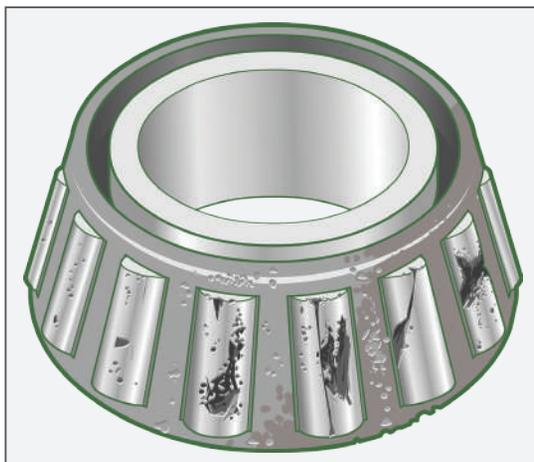


Figura 86 - Rolamentos com defeito

Para a lubrificação do rolamento, é preciso:

- colocar uma pequena porção do lubrificante adequado na palma da mão;
- segurar o cone, parte de base maior do rolamento, com a palma da mão;
- segurar o cone do conjunto do rolamento com o polegar e os primeiros dois dedos da outra mão, mantendo o diâmetro maior do rolamento próximo à palma;
- mover o conjunto do rolamento com a mão em direção ao polegar, forçando o lubrificante no espaço entre o cone e os roletes;
- virar o conjunto após cada ciclo, até que todas as aberturas entre os roletes estejam cheias de lubrificante;
- remover o lubrificante em excesso do cone e da parte externa da capa do rolamento.

As Figuras 87.A e 87.B evidenciam a lubrificação do rolamento, assim como o resultado da lubrificação.



Figura 87.A - Lubrificação do rolamento  
Fonte: EUA, 2012. FAA.



Figura 87.B - Rolamento após ser lubrificado  
Fonte: EUA, 2012. FAA.

## 15.2 Ajustagem e alinhamento do trem de pouso

Algumas vezes é necessário regular interruptores, portas, articulações e travas de trens de pouso para uma correta operação de portas e trens de pouso. Igualmente, se os cilindros atuadores dos trens de pouso forem trocados, deve-se fazer e checar o ajuste do comprimento.

Cada projeto de aeronave terá seu procedimento particular de regulagem. Por essa razão, é imprescindível consultar o manual técnico da aeronave antes da ajustagem ou do alinhamento do trem de pouso.

As travas operam automaticamente e são usadas no sistema de trem de pouso para manter a unidade na posição desejada.

Assim, quando o trem de pouso é retraído, cada perna de força é mantida ao final do ciclo, na posição em cima por uma trava individual. Da mesma forma, quando ele é estendido, é mantido travado por outra trava embaixo.

Além disso, as travas também seguram as portas do trem de pouso nas posições aberta e fechada.

Os componentes principais de cada mecanismo de trava são:

- um cilindro de trava hidráulico;
- um gancho de trava;
- uma articulação sob ação de mola;
- um setor.

O cilindro de trava é conectado hidráulicamente por meio de mangueiras ou tubulações com o sistema de controle do trem de pouso e, mecanicamente, de articulações com o gancho de trava.

Quando a pressão hidráulica atua no cilindro, ela age nas articulações para engatar ou desengatar o gancho com o rolete de trava da porta. Mas quando é direcionada para a trava, o cilindro age sobre as articulações para mover o gancho (engatar ou desengatar) com o rolete de trava da porta. No movimento do trem de pouso para baixo, o gancho é desengatado pela carga da mola da articulação.

Conforme a Figura 88, o interruptor de cada trava de trem de pouso na posição em cima dá uma indicação positiva de que o trem de pouso está travado por meio de luzes de indicação na cabine de pilotagem.

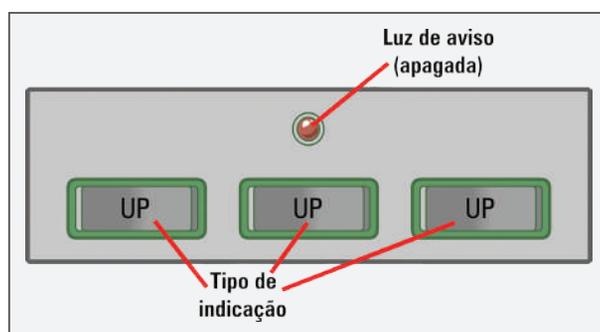


Figura 88 - Indicação positiva de trem de pouso travado em cima na cabine de pilotagem

Já no movimento do trem de pouso para cima, o cilindro opera a articulação para engatar o gancho com o rolete da trava. Os cabos de extensão (abaixamento) em emergência do trem de pouso estão conectados ao setor para permitir a liberação em emergência dos roletes de trava.

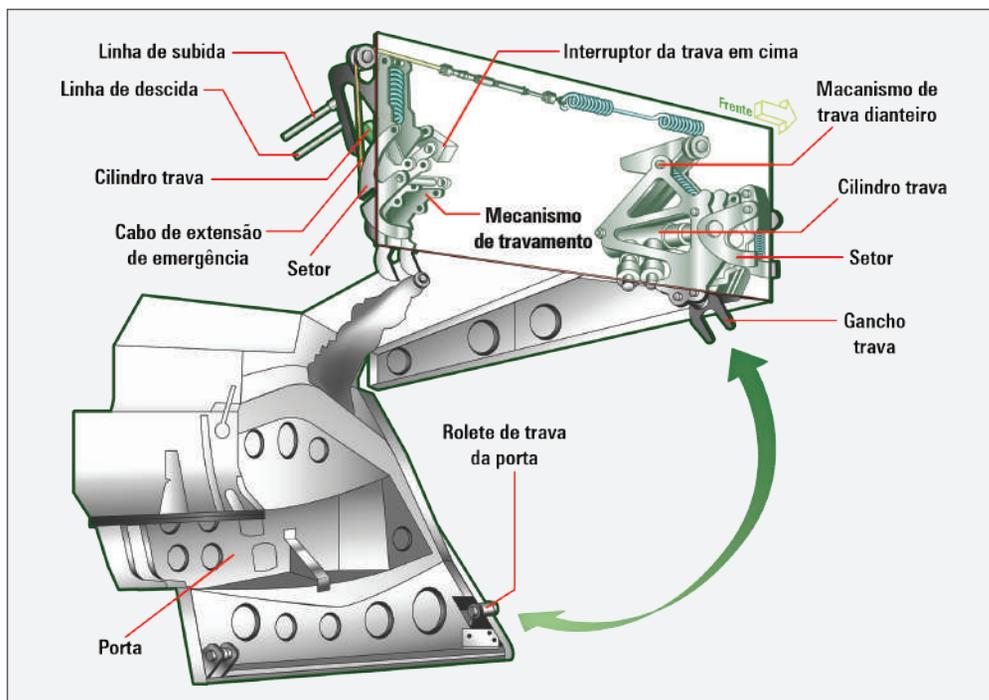


Figura 89 - Mecanismo de trava da porta da perna principal do trem de pouso

Ao inspecionar a folga adequada do rolete da trava, conforme mostra a Figura 90, a tolerância necessária é de  $1/8 + \text{ou} - 3/32$  polegadas. Se o rolete não estiver dentro dessa tolerância, ele deverá ser ajustado.

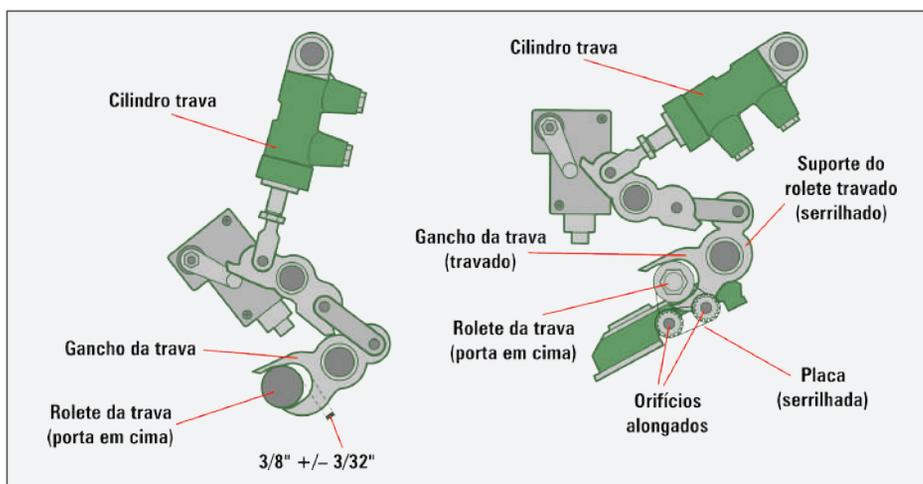


Figura 90 - Instalações da trava da porta do trem de pouso

Pode-se ajustar a tolerância necessária de 1/8" + ou - 3/32" no rolete da trava das dobradiças da porta e as hastes de conexão, regulando o excesso de material das portas.

Em algumas instalações, essas partes são ajustadas colocando uma dobradiça serrilhada e arruelas serrilhadas na posição correta e torqueando o parafuso de fixação como mostrado na Figura 91.

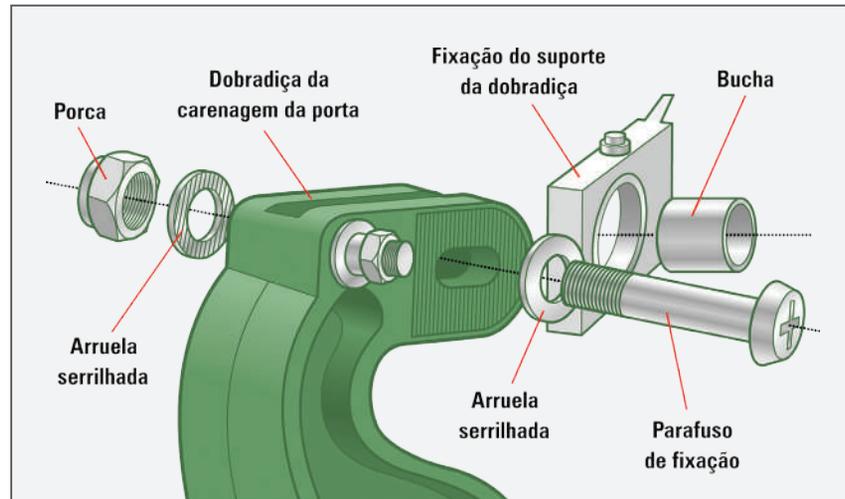


Figura 91 - Instalação das dobradiças ajustáveis da porta

### 15.3 Folgas das portas do trem de pouso

As folgas das portas do trem de pouso utilizadas para dar formato aerodinâmico ao alojamento do trem de pouso, estando ele travado em cima ou embaixo, devem estar perfeitamente reguladas. Com isso, serão minimizados: o arrasto na aeronave; as deformações na estrutura e os ruídos indesejáveis.

As portas do trem de pouso têm um limite de folga permissível que deve ser mantido entre as portas e a estrutura da aeronave, ou outras portas do trem de pouso. Para esses tipos de ajustes, faz-se necessário seguir os procedimentos previstos nos manuais de manutenção. Esses procedimentos são específicos para cada tipo de aeronave.

### 15.4 Ajustes dos braços de arrasto e dos braços laterais do trem de pouso

Constituídos de uma haste superior e uma inferior, os braços laterais do trem de pouso articulam-se no centro, permitindo-os ter um movimento igual ao de um canivete durante a retração do trem de pouso.

Os pivôs superiores são fixados em um mancal, local de fixação que permite uma movimentação rotacional, no alojamento do trem de pouso. A parte inferior é, então, conectada aos amortecedores do próprio trem de aterrissagem.

## 15.5 Checagem da retração do trem de pouso

O manual de manutenção pode exigir uma checagem de retração do trem de pouso, que é realizada no hangar com a aeronave suspensa nos macacos hidráulicos, utilizando como fonte de energia a bomba hidráulica elétrica da aeronave ou o teste hidráulico de solo.

A inspeção programada do sistema do trem de pouso e os serviços de manutenção que afetam as fixações e os ajustes, como a substituição de um atuador, são exemplos de casos nos quais é feito o teste do sistema, como movimento de recolhimento e abaixamento, para verificar se todas as ligações estão devidamente conectadas e ajustadas.

Outro exemplo de cheque de abaixamento e recolhimento pode estar associado ao pouso pesado ou à supercarga, podendo danificar o trem de pouso.

Esses testes são muito eficazes nas pesquisas para localizar mau funcionamento de algum componente no sistema do trem de pouso.

Especificamente, podem-se fazer, por meio dos manuais técnicos, as seguintes checagens de retração do trem de pouso:

- da retração e extensão, dos travamentos e do tempo para realização do ciclo das pernas de força do trem de pouso;
- da operação do cheque dos interruptores (chaves de comando), luzes indicadoras e buzinas de alarme (aviso);
- das portas do trem de pouso principal e auxiliar quanto a folgas, liberdade de funcionamento e travamento;
- das hastes de ligação e fixação quanto a folga, regulagem, operação correta, condições gerais;
- da operação e ajustagens dos trincos e das travas;
- do funcionamento dos sistemas alternados (emergência) de extensão e retração;
- do ruído e da lentidão anormal que podem ser causados por atrito, aquecimento por fricção, vibração ou falta de lubrificação.

### Resumindo

Neste capítulo, apresentaram-se conceitos básicos sobre inspeção, serviços e manutenção dos sistemas de trem de pouso, ações imprescindíveis devido ao excesso de carga que o equipamento absorve. Abordaram-se, ainda, a ajustagem e o alinhamento do trem de pouso para a correta operação de retração e abaixamento e folgas das portas, com o intuito de evitar danos em razão de uma regulagem mal feita.

Nesse contexto, discorreu-se sobre os ajustes dos braços de arrasto e dos braços laterais do trem de pouso, assim como a checagem da retração do trem de pouso. E, para finalizar, foram explanados os procedimentos e das informações relativas às atividades normais ligadas às checagens de retração e extensão, ações que o mecânico de manutenção aeronáutica deve realizar ao consultar sempre as instruções aplicáveis do fabricante da aeronave.



# Unidade 7

## Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

A mistura dos gases que compõem a atmosfera da terra é comumente chamada de ar. O ar é composto de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e o 1% restante se refere a pequenas quantidades de outros gases. O peso da coluna de ar sobre nossos corpos é chamado de pressão. Embora não seja possível senti-la, a pressão padrão ao nível do mar é de 14,7 libras. Essa coluna de ar torna mais confortável a respiração. À medida que se afasta da superfície, a pressão se torna cada vez menor e o oxigênio fica mais rarefeito, dificultando o ato de respirar. Ao atingir certa altitude, uma pessoa pode morrer de hipoxia, ou seja, falta de oxigênio.

Felizmente, as aeronaves que voam a aproximadamente 11.000 metros de altitude têm suas fuselagens pressurizadas. Isso significa que, apesar de o avião estar a uma altitude superior, no interior da aeronave a altitude é simulada em 2.438 metros (8.000 pés). Assim, os passageiros desfrutam da viagem pelo céu sem imaginar que é a pressurização que mantém o oxigênio a bordo. Esse oxigênio vem do ar removido do sistema pneumático do avião que, transformado em ar condicionado, serve para simular uma pressão interna na fuselagem da aeronave, deixando o voo mais seguro.

Caso haja falhas nesses sistemas – pneumáticos, de ar condicionado e de pressurização –, o oxigênio é provido artificialmente por geradores químicos durante alguns minutos, tempo suficiente para o comandante alcançar uma altitude segura (2.438 metros ou 8.000 pés) onde não é necessária a pressurização do avião e a respiração pode acontecer de forma natural.

Com o intuito de promover uma melhor compreensão desses conceitos no setor da aviação, a presente unidade abordará os sistemas pneumáticos, de ar condicionado e de pressurização, bem como seus componentes e funções.

No capítulo um, serão abordadas as principais fontes de suprimento pneumático do ar com compressão e sangria de ar dos motores. O estudo desses conceitos é fundamental para melhor entendimento do funcionamento dos motores convencionais e a reação. No capítulo dois, serão tratados os dois tipos de ar condicionado – máquina de ciclo de ar e ciclo a vapor – bem como seu funcionamento e componentes. Em complemento a esse conteúdo, o capítulo três trata dos processos, unidades e operação do sistema de pressurização da aeronave. Por último, o capítulo quatro abordará o sistema de oxigênio e seus componentes, além de precauções que devem ser tomadas durante seu manuseio.



# Capítulo 1

## Sistemas pneumáticos

O sistema pneumático é muito parecido com o sistema hidráulico, a diferença é que o sistema pneumático emprega ar em vez de líquido usado no sistema hidráulico para transmitir força.

O sistema pneumático, às vezes, é usado:

- para freios;
- em atuadores para abrir e fechar portas;
- para operação de dispositivos de emergência (freio e abaixamento de trem de pouso);
- para partida dos **motores a reação**;
- nos sistemas de proteção contra gelo;
- para acionamento de instrumentos do sistema de sucção.

Os sistemas pneumáticos e hidráulicos são similares e usam fluido em um sistema fechado. A palavra fluido, se refere a um líquido como água, óleo, ar. Ambos os líquidos e gases fluem, por isso são considerados fluidos. Porém, há uma grande diferença na característica dos dois fluidos. Os líquidos são incompressíveis, meio litro de água ocupará o mesmo espaço em condições normais de pressão ambiente ou quando estiver sobre alta pressão. Já os gases são altamente compressíveis, uma certa quantidade de ar pode ser comprimida em um pequeno espaço. Mas, deixando de lado essas diferenças, os gases e os líquidos podem ser confinados e usados para transmitir força.

O sistema pneumático pode ser dividido em três subsistemas: o de alta pressão, o de média pressão e o de baixa pressão. Cada um atua em um sistema pneumático com pressão operacional diferente entre si.

### 1.1 Sistema pneumático de alta pressão

O ar usualmente é estocado em garrafas de metal a pressões entre 1.000 a 3.000 psi, dependendo do sistema em particular. A garrafa de alta pressão possui duas válvulas. Uma é a válvula de abastecimento, que tem a função de permitir a recarga da pressão da garrafa instalada no avião por meio do acoplamento externo de um cilindro de nitrogênio de alta pressão, fornecido por companhias de gás em cilindros de 3.000 psi.

Neste processo de recarga, há a transferência do nitrogênio do cilindro externo para o enchimento da garrafa pneumática instalada no avião. Essa garrafa com alta pressão, instalada na aeronave, servirá principalmente para atuar o freio em emergência e para abaixar o trem de pouso da aeronave em caso de perda do sistema hidráulico. A outra válvula é uma de controle, que atua como uma válvula de liberação ou corte do ar armazenado na garrafa para atuação do



**Motores a reação:**  
motor movido a compressores, turbinas e câmara de combustão.

**PSI:** unidade de medida de pressão; *pounds square inch* ou libras por polegada quadrada.

sistema em particular. Nas Figuras 1.A, B e C, poderão ser visualizadas a válvula de alta pressão aberta e fechada e a garrafa de armazenamento.

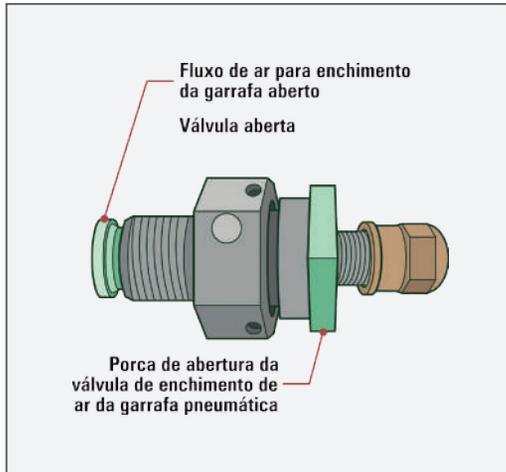


Figura 1.A - Válvula de abastecimento aberta

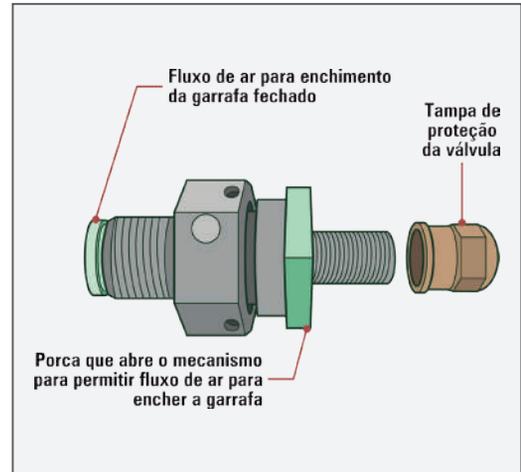


Figura 1.B - Válvula de abastecimento fechada

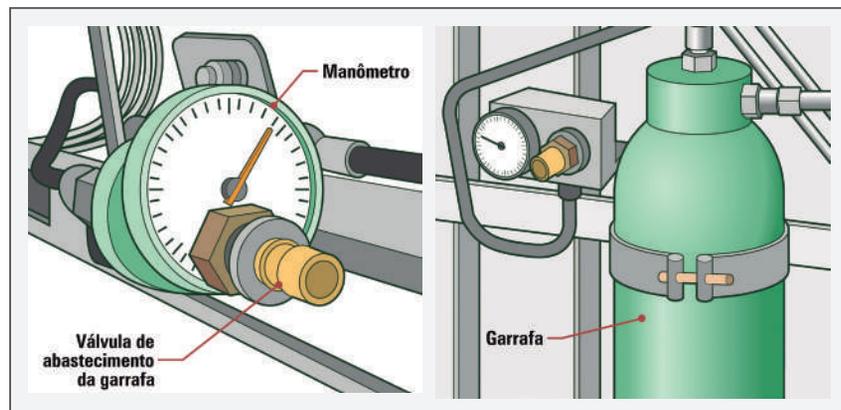


Figura 1.C - Válvula de abastecimento da garrafa

A válvula de abastecimento de alta pressão da garrafa pneumática possui uma porca que fica apertada atuando no êmbolo da válvula que é fechada na parte inferior. Isso garante que o ar de dentro da garrafa não vaze. Quando a porca de atuação é girada no sentido anti-horário, o técnico não sentirá muita resistência para afrouxá-la. Porém, continuando com o movimento de girar a porca, ela ficará mais pesada para afrouxar. Nesse instante, o pistão estará sendo deslocado de sua sede e permitirá o abastecimento ou esvaziamento da garrafa.

Esta válvula de alta pressão pneumática está presente nos amortecedores dos trens de pouso para abastecimento de nitrogênio e em vários outros sistemas de alta pressão pneumáticos.

Embora as garrafas de alta pressão sejam leves, elas têm a desvantagem de não permitir o seu reabastecimento durante o voo. A operação do sistema ao qual estão ligadas tem uma limitada atuação, pois a garrafa descarrega quando atuada, por isso o suprimento pneumático de alta pressão da garrafa é utilizado em sistemas de emergência, como freios e trem de pouso.

### 1.1.1 Sistema pneumático de alta pressão para freio de emergência

Este sistema consiste em uma garrafa que é abastecida com nitrogênio ficando sobre alta pressão, algo em torno de 3.000 psi. No caso de perda do sistema hidráulico normal, o freio pode ser acionado em caráter de emergência. A atuação de uma alavanca que fica na cabine de comando com a inscrição **FREIO DE EMERGÊNCIA** aciona um cabo de comando que abre uma válvula de controle. Essa válvula permite a passagem do nitrogênio que, junto com o óleo hidráulico residual da linha, move o freio.

Após o uso do freio de emergência, o sistema hidráulico deverá ser **sangrado** para remoção do ar que o contaminou. Além disso, a válvula de controle de atuação do sistema pneumático de alta pressão da garrafa deverá ser reativada manualmente. Essa reativação precisa ocorrer antes de um novo reabastecimento com nitrogênio, visando a deixar o sistema disponível para nova atuação, como demonstrado na Figura 1.C e na Figura 2.



**Sangrado no motor:** o ar é removido da seção de compressão do motor.

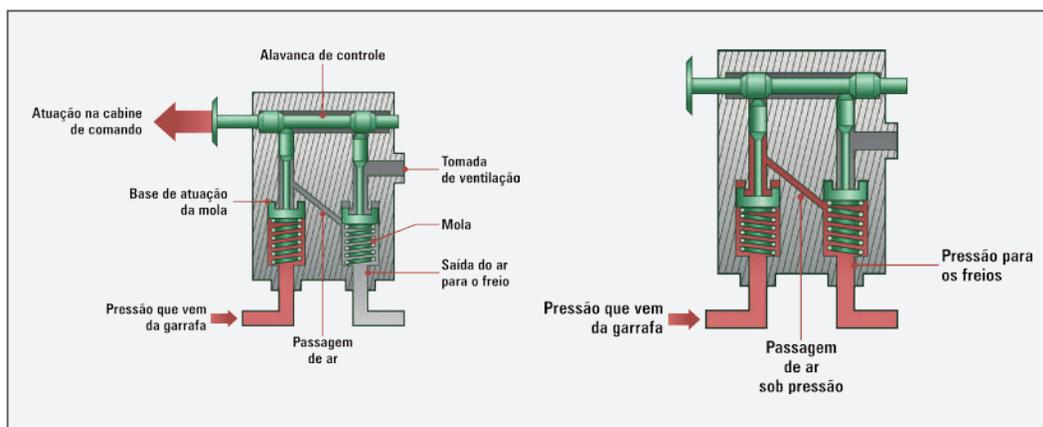


Figura 2 - Esquema da válvula para freio de emergência

A válvula de controle é comandada da cabine de comando e, em sua parte interna, há uma alavanca com dois ressaltos. O do lado esquerdo fica sem atuação sobre o mecanismo da válvula bloqueando a passagem do ar por meio de uma mola e mantendo a válvula fechada. Já o do lado direito age em cima da mola, mas isso não afeta o sistema porque o ressaltado da esquerda bloqueia o ar proveniente da garrafa.

Quando a alavanca da cabine de comando é atuada, os ressaltos passam a processar de modo diferente. O que está do lado esquerdo aciona em cima do mecanismo e se sobrepõe à força da mola, abrindo a passagem de ar entre os dois sistemas internos da válvula. Nesse instante, o ar passa do mecanismo esquerdo para o lado direito até chegar ao sistema onde opera o freio com a pressão da garrafa.

Depois do sistema do freio de emergência ter sido atuado, o sistema hidráulico ficará contaminado pelo nitrogênio. A manutenção deverá efetuar a sangria do freio, que significa a remoção do ar do sistema. Após a sangria do ar, a válvula de controle deverá ser reposicionada para a posição fechada antes do reabastecimento do sistema com nitrogênio.

Nas aeronaves de grande porte, o sistema de freio de emergência é acionado por um acumulador, que é um dispositivo abastecido com pressão de ar (nitrogênio) de geralmente 1.000 psi, chamada de pré-carga do sistema.

Quando o sistema hidráulico é ligado, o acumulador recebe o fluido hidráulico e o armazena com 3.000 psi. Na parte interna do acumulador, os dois fluidos – ar (nitrogênio) e óleo hidráulico – não se misturam. No caso de perda do sistema hidráulico, o freio pode ser acionado em emergência com a pressão do óleo hidráulico do acumulador. No entanto, a pressão armazenada no acumulador, como reserva de pressão do freio em emergência permitirá apenas algumas atuações e o acumulador será descarregado com 8 a 9 atuações do freio. Nesse tipo de sistema com acumulador, o sistema hidráulico não é contaminado pelo ar, pois, mesmo após a atuação do freio, o acumulador ainda continuará com a pré-carga de ar de 1.000 psi. Essa pré-carga de ar sempre deverá ser inspecionada pela manutenção e, caso necessário, o sistema deve ser abastecido novamente até atingir o valor de 1.000 psi.

### **1.1.2 Sistema pneumático de alta pressão para baixar o trem de pouso em emergência**

O travamento do trem de pouso das grandes aeronaves, quando em emergência, se dá por meio da força da gravidade. E ao ser destravado na parte superior, o arrasto do ar causado pelo movimento da aeronave associado ao peso do próprio trem de pouso, força naturalmente o travamento da sua parte inferior.

Nos jatos executivos, devido à pequena massa do trem de pouso, a ação da gravidade não é suficiente para travá-lo embaixo. Dessa forma, foi colocado um sistema de alta pressão pneumática, constituído de uma garrafa abastecida com nitrogênio. Ao acionar a alavanca do trem de pouso em emergência, localizada na cabine de comando, o nitrogênio armazenado com alta pressão é liberado e força o trem de pouso a travar embaixo. Após o processo ser realizado, o sistema hidráulico deverá ser sangrado para eliminar o ar.

O sistema pneumático tem muitas válvulas que são também utilizadas no hidráulico. No entanto, o pneumático não possui reservatórios, bombas manuais, acumuladores ou bomba acionada por motor elétrico.



**Compressor:** sua função é comprimir o ar. Ele pode ser do tipo centrífugo ou axial.

## **1.2 Sistema pneumático de média pressão**

O sistema opera com uma pressão entre 50 e 150 psi e usualmente não possui garrafas para armazenamento de ar. Geralmente, remove o ar da seção de compressores dos motores a reação. Neste caso, o ar é sangrado no motor e flui para o sistema com pressão e temperatura controladas.

As unidades que comprimem e fornecem o ar para o sistema pneumático de média pressão nos motores convencionais são chamadas de supercarregadores, de superalimentadores ou, ainda, de turbocarregadores. Nos motores a reação, o ar é sangrado de compressores centrífugos ou compressores axiais.



À medida que o avião ganha **altitude** e se afasta da superfície, a pressão do ar diminui e ele se torna mais rarefeito. Assim, as moléculas presentes no ar ficam mais espaçadas e isso tem um impacto no corpo humano e também nos motores dos aviões.

No corpo humano, a pressão de oxigênio nos pulmões no nível do mar é de 3 psi. Essa pressão é necessária para **saturar** o sangue e permitir o bom funcionamento do corpo e da mente. Quando o avião ganha altitude, a pressão do ar diminui e o pulmão recebe menos oxigênio. Assim, a 12.192 metros (40.000 pés) de altitude, a pressão do ar é de apenas 0,57 psi, impossibilitando a respiração. O mesmo ocorre com os motores das aeronaves. A falta de oxigênio impede seu funcionamento, pois sem ele não é possível queimar o combustível e impulsionar o avião através da massa de ar que é a atmosfera.

Como em grandes altitudes o ar fica menos denso e as moléculas estão mais espaçadas, é necessário forçar essas moléculas de ar a ficarem unidas. Para isso, há os compressores, responsáveis por agrupá-las. Assim, a pressão é restabelecida e o motor funciona normalmente. Ademais, uma parte desse ar é reservada para pressurizar a fuselagem do avião onde estão os passageiros.

**Altitude:** altura de um objeto em relação ao nível do mar.

**Saturar:** levar o sangue a conter a quantidade necessária ou possível de oxigênio.

**Teto operacional:** altitude máxima de alcance.

### 1.2.1 Tipos de compressores do motor convencional

As aeronaves com motores convencionais, ou seja, os movidos a pistão, podem ou não ter suas fuselagens pressurizadas. As que não necessitam realizar o processo atingem apenas um **teto operacional** de 2.438 metros (8.000 pés). Para que possam voar mais alto, as aeronaves deverão ter em seus motores fontes que possam captar e comprimir mais ar para o funcionamento do motor e para pressurizar o avião. As aeronaves com motores convencionais que têm as fuselagens pressurizadas por essas fontes atingem um teto operacional de até 7.620 metros (25.000 pés).

Há três fontes típicas para gerar o ar pneumático usado pelo sistema de ar condicionado e para pressurizar a fuselagem de um avião com motor convencional, a citar: supercarregador, turbocarregador e compressor acionado pelo motor por meio de correia. O supercarregador e o turbocarregador permitem melhor desempenho a grandes altitudes mediante o aumento da quantidade e da pressão de ar no sistema de admissão. Uma porção do ar produzido por eles é enviada para pressurizar a cabine.

#### a) Supercarregador

O supercarregador, mecanicamente acionado pelo motor, melhora seu desempenho devido ao aumento da pressão no sistema de admissão. No entanto, ele não tem muita eficiência se tiver de fornecer ar para o motor e para a pressurização da cabine ao mesmo tempo. Assim, o teto operacional diminui se ele não for pressurizado. Caso seja necessário utilizar o supercarregados para pressurizar a aeronave, ele deve ser instalado antes do sistema de combustível. A Figura 3 demonstra como funciona o supercarregador.

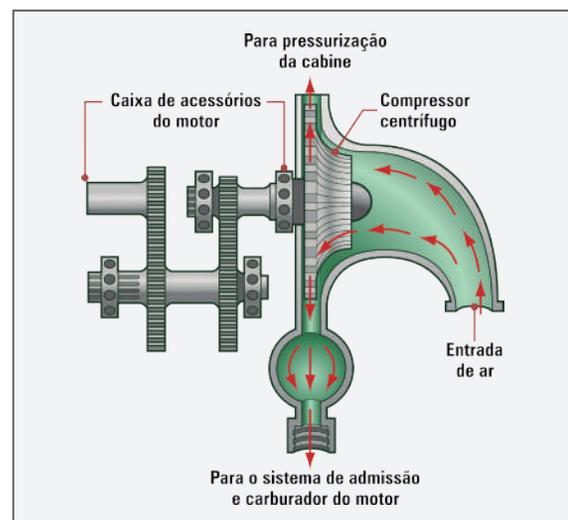


Figura 3 - Funcionamento do supercarregador

É importante não confundir compressor com super ou turbocarregadores. O compressor compõe as partes internas do super ou turbocarregador. Já os supercarregadores e os turbocarregadores são as unidades montadas, ou seja, o conjunto de todas as peças, incluindo os compressores. Existem dois tipos que são utilizados nos motores a reação: o de fluxo de ar centrífugo e o de fluxo de ar axial. A diferença entre eles está na maneira como a massa de ar é comprimida. O fluxo centrífugo (Figuras 4.A e B) recebe esta massa de ar de dentro para fora e descarrega no sentido radial, ou seja, no sentido do raio de uma esfera. Já o fluxo axial (Figura 5) comprime a massa de ar no sentido do eixo, paralelo ao eixo. Cada um tem vantagens e desvantagens no uso e o projeto do motor é o que define qual deles será utilizado.

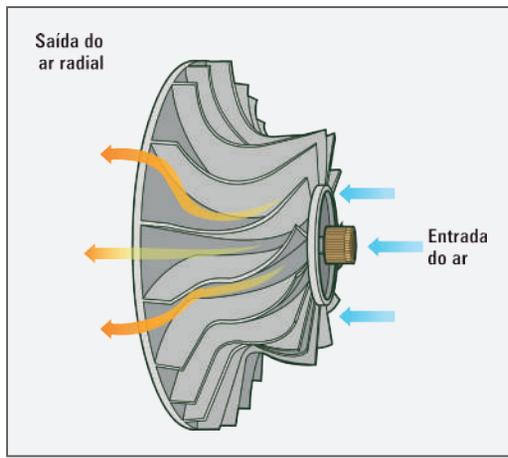


Figura 4.A - Compressor de fluxo de ar centrífugo (visão lateral)

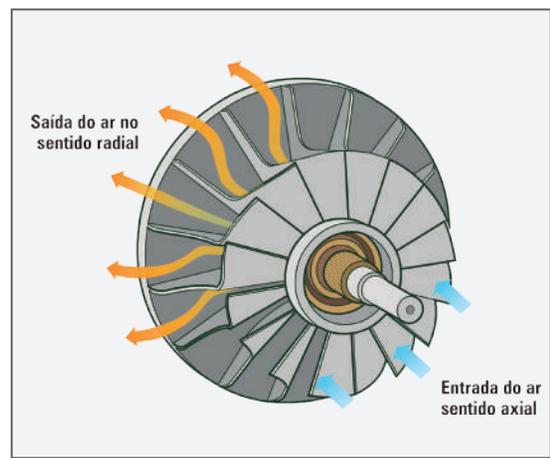


Figura 4.B - Compressor de fluxo de ar centrífugo (visão frontal)

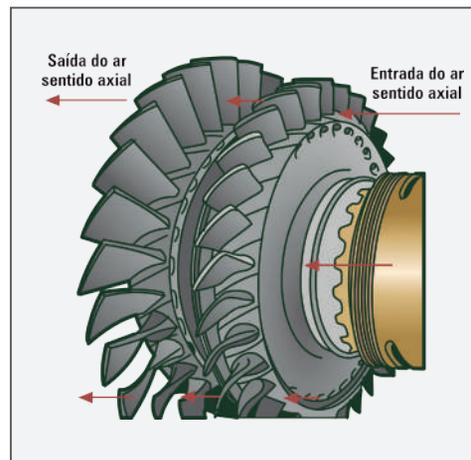


Figura 5 - Compressor de fluxo de ar axial

#### b) Turbocarregadores

Os turbocarregadores utilizam ar de escape do sistema de exaustão do motor para girar uma turbina que se encontra no mesmo eixo de um compressor. Assim, a rotação da turbina gira o compressor para admitir mais ar e o comprime para enviar ao sistema de pressurização da cabine. Os turbocarregadores são as fontes mais utilizadas nos aviões

com motores convencionais. A sangria de ar para o sistema de pressurização diminui o ar para o sistema de admissão do motor, reduzindo, assim, o teto operacional do avião. As Figuras 6.A e B apresentam a mesma visão detalhada do turbocarregador, porém em ângulos diferentes.

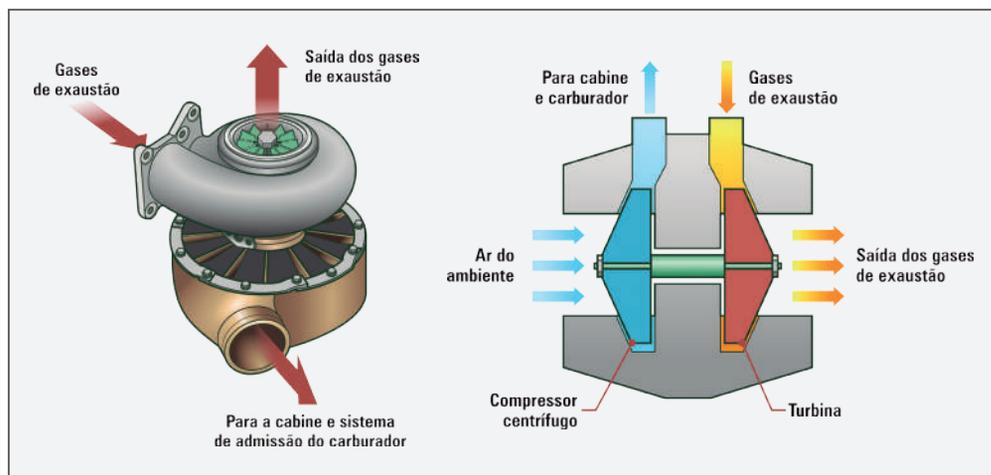


Figura 6.A - Turbocarregador utilizado como fonte de ar

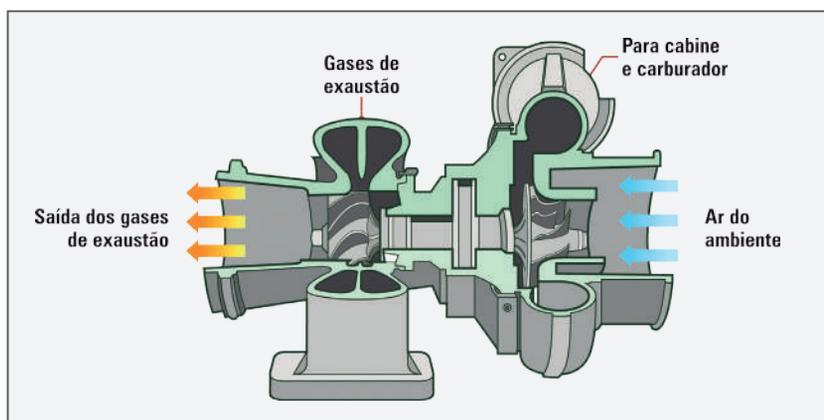


Figura 6.B - Visão em 3D de um turbocarregador

Já a Figura 6.C mostra um turbocarregador instalado no motor convencional.

Tanto os supercarregadores quanto os turbocarregadores são lubrificados por óleo. O supercarregador é parte do sistema de admissão e o turbocarregador é parte do sistema de exaustão. No caso de mau funcionamento dessas fontes de ar, há o risco do ar da cabine ser contaminado com óleo, combustível ou fumaça.

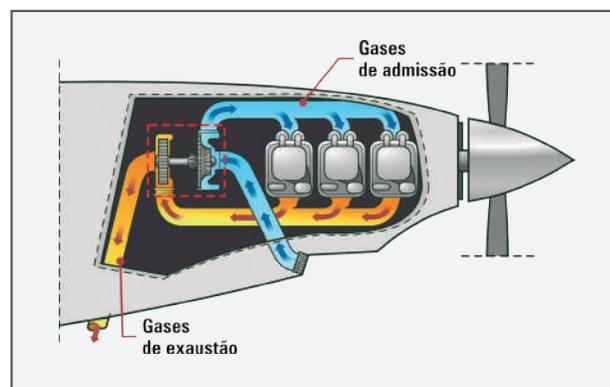


Figura 6.C - Turbocarregador instalado no motor convencional

c) Compressor acionado pelo motor por meio de correia

Este supercarregador é muito parecido com o que é acionado pela engrenagem no motor. A diferença está no fato de ser acionado por meio de correia. Esse acionamento dispensa a lubrificação, eliminando uma potencial fonte de contaminação do ar da cabine. Assim, não apresenta o problema ocasionado pelos supercarregadores e turbocarregadores, que são lubrificados. No entanto, o supercarregador acionado por correia adiciona peso ao motor e provoca perda de potência (Figura 7). Sua parte interna possui um compressor centrífugo.

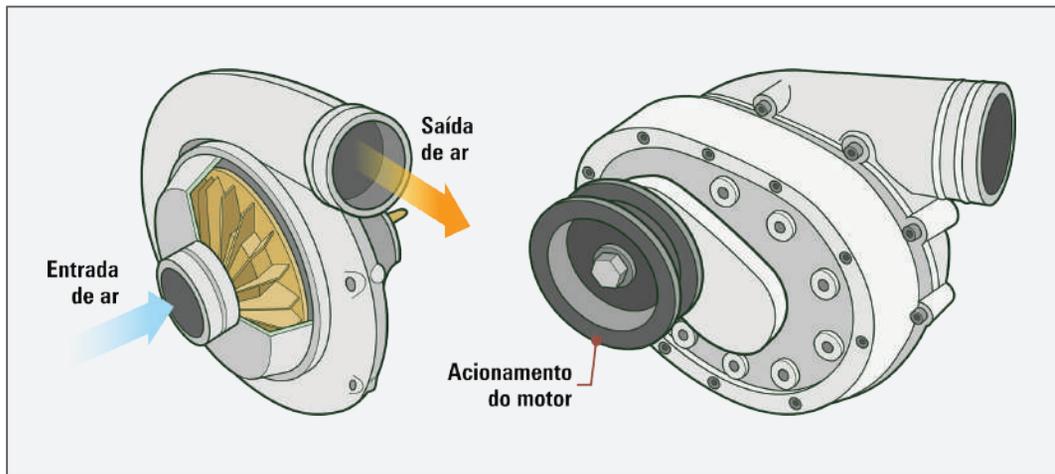


Figura 7 - Supercarregador acionado por correia

Existe um compressor chamado *roots*, usado em aeronaves antigas de motores convencionais para pressurizar sua fuselagem. Ele é formado por dois lóbulos que giram sem se tocar (Figura 8). Acionados pela engrenagem do motor, esses lóbulos pressurizam o ar por meio de rotação, com folga mínima entre eles e a carcaça.

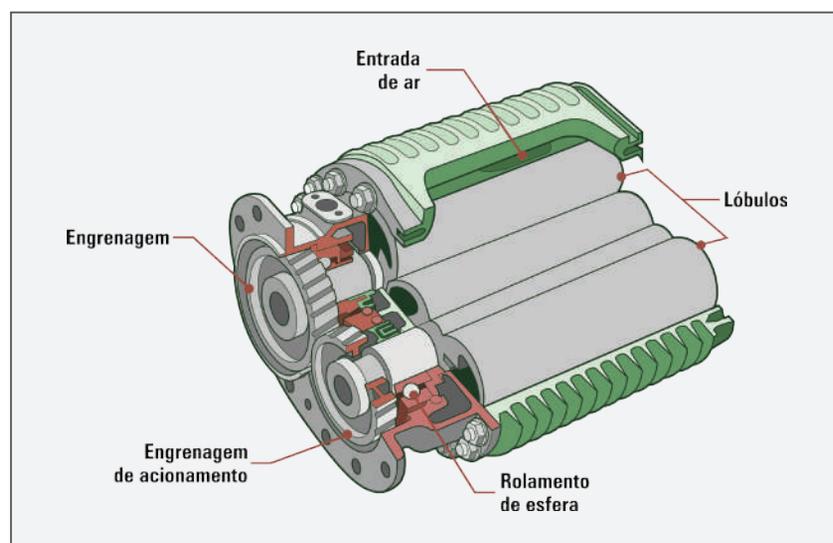


Figura 8 - Compressor roots

### 1.2.3 Tipos de compressores do motor a reação

A sangria de ar dos compressores do motor gera a fonte de ar para o sistema pneumático dos motores a reação. Essa fonte de ar se transforma no sistema de ar condicionado e é usada no sistema de pressurização do avião.

O princípio de operação do motor a turbina envolve a compressão de grande quantidade de ar que será misturado ao combustível e queimado. A compressão do ar é feita por vários compressores montados em um eixo em fila que, ao girarem, comprimem o ar que passa por eles em cada estágio do compressor. Isso significa que, se o motor tiver nove estágios de compressores, o ar será comprimido quando entrar no compressor de número um até atingir o compressor de número nove. Esses estágios de compressores podem ser formados com compressores de fluxo de ar axial (Figura 9) ou compressores de fluxo de ar centrífugo (Figura 10).

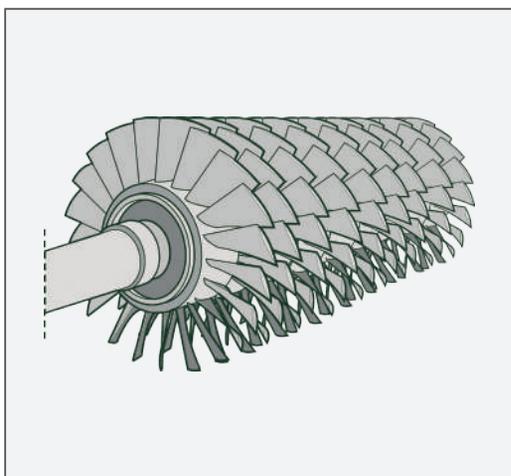


Figura 9 - Estágios de compressores axiais

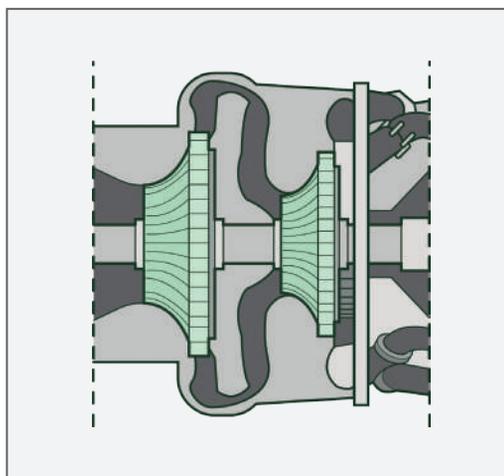


Figura 10 - Estágios de compressores centrífugos

O ar é sangrado ou removido do motor para o sistema pneumático do compressor no estágio intermediário e no estágio final. Assim, o ar fica com mais pressão.

Supondo-se que o ar seja sangrado do 5º e do 9º estágio de compressão, quando o motor estiver em marcha lenta (Figuras 11.A e B), o 9º estágio de sangria do ar estará com mais pressão do que no 5º estágio. Isso acontece porque o 9º estágio está localizado em um ponto onde existem nove compressores para efetuar a compressão do ar.

No entanto, caso o motor esteja acelerado, a quantidade de ar aumenta e a pressão no 5º estágio também aumenta, passando então a ser utilizado para fornecer ar para o sistema pneumático, com o motor em potência. A causa é que a pressão do 9º estágio fica extremamente alta para ser utilizada para sangria com potência.

Com o motor em potência, o ar não pode ser sangrado do 9º estágio, pois a pressão é muito alta e pode causar rompimento no duto pneumático. Assim, o 9º estágio será usado para sangria de ar pneumático com o motor em marcha lenta. Apesar de o motor estar com um regime de operação em marcha lenta, o 9º estágio de compressão do ar é elevado e a pressão é alta

mantendo, assim, os sistemas que dependem do pneumático operacional. Dessa forma, esse sistema independe do regime de aceleração do motor para funcionar com pressão dentro dos limites operacionais. Como o ar é sangrado antes de entrar no processo de combustão, ele é considerado uma fonte limpa.

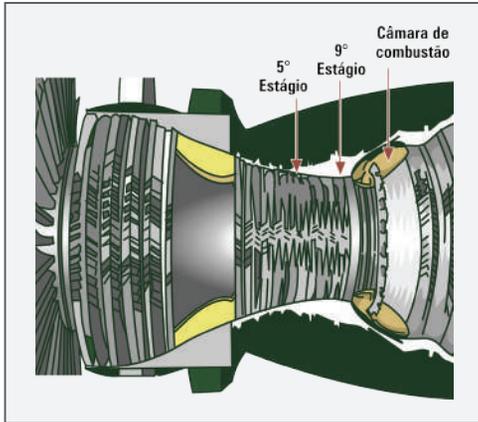


Figura 11.A - Visão em 3D dos estágios de compressores

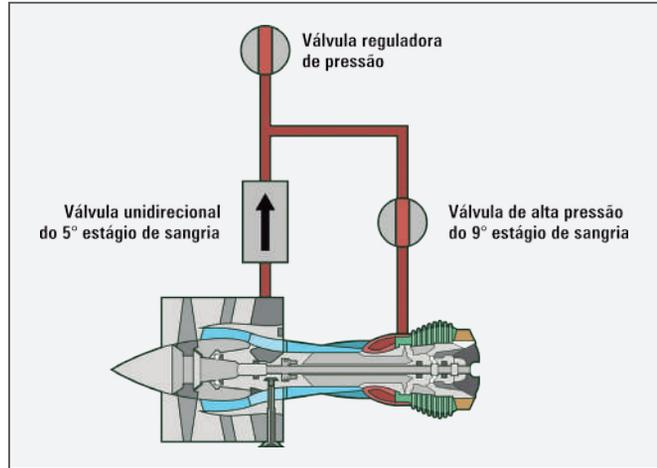


Figura 11.B - Visão esquemática dos estágios de compressores



**Aletas:** abas no caso de bomba de aletas, essas abas giram para proporcionar deslocamento de um fluido.

**Gearbox:** caixa de acessórios, um conjunto situado no motor que contém engrenagens de vários tamanhos, as quais são acionadas pelo eixo do motor quando em funcionamento. Na *gearbox*, estão instalados os acessórios como bomba de combustível, gerador, bomba de vácuo, etc.

### 1.3 Sistema pneumático de baixa pressão

Muitos aviões equipados com motores convencionais obtêm um suprimento de baixa pressão de ar de uma bomba com aletas. As bombas funcionam pelo acionamento de um motor elétrico ou pela operação do motor, pois neste caso estão instaladas na caixa de acessórios (*gearbox*) do motor. As Figuras 12.A e B mostram esquemas de uma bomba pneumática, formada por um alojamento com duas tomadas (portas) de ar, um eixo e duas aletas. Quando o eixo gira, as palhetas se movimentam e o ar é armazenado nas câmaras.

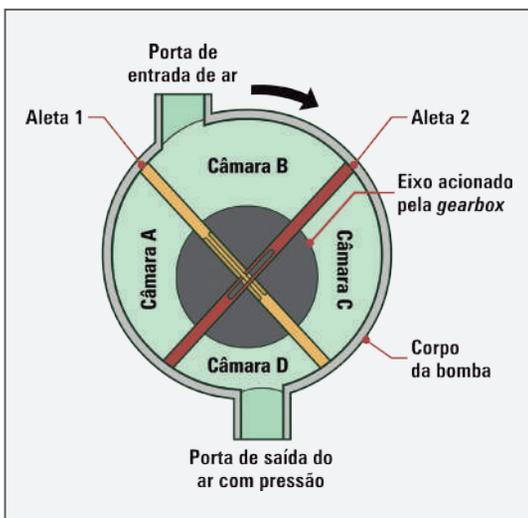


Figura 12.A - Bomba pneumática de baixa pressão visão interna

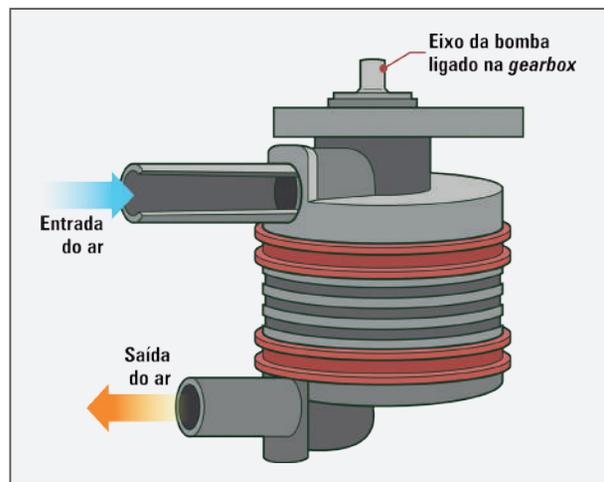


Figura 12.B - Bomba pneumática de baixa pressão visão externa



**Boots:** câmara de ar de borracha instaladas no bordo de ataque das asas e estabilizadores horizontais que inflam para quebrar o gelo formado.

O eixo é montado no alojamento, formando quatro câmaras de tamanhos diferentes (A, B, C, D). A câmara B é a maior e está ligada à porta de entrada de ar. Quando a bomba começa a operar, as posições das câmaras mudam. A aleta 1 move-se no sentido horário afastando a câmara B, provida de ar em seu interior, da porta de entrada. À medida que a câmara B se aproxima da saída de ar, ela tem seu tamanho reduzido e comprime o ar para a saída na porta de pressão. Ao se aproximar novamente da porta de entrada, a câmara aumenta seu tamanho para admissão de mais ar. As quatro câmaras de ar da bomba executam a mesma função da câmara B. Assim, a bomba fornece uma pressão contínua de ar comprimido entre 1 e 10 psi. O sistema de baixa pressão é usado para inflar os *boots* de degelo do avião.

### 1.3.1 Componentes do sistema pneumático

Para que se possa entender o sistema de sangria de ar do motor a reação, devem-se conhecer os componentes e suas funções dentro de um sistema pneumático.

#### a) Válvula unidirecional (*check valve*) do tipo *flap*

As válvulas utilizadas no sistema pneumático são similares às válvulas no sistema hidráulico. As válvulas unidirecionais permitem o fluxo do fluido no sistema apenas em uma direção, bloqueando ou restringindo o fluxo no sentido oposto. A válvula unidirecional pode ser um componente independente, instalado em algum lugar no sistema, ou pode ser parte integrante de um componente.

Uma típica válvula unidirecional consiste em uma mola que comprime uma esfera dentro de um alojamento contra sua sede. Quando o fluido vence a pressão da mola, a esfera sai de sua sede e permite o fluxo do fluido no sistema. Quando o fluxo cessa, a mola que estava comprimida retorna à sua posição normal e empurra novamente a esfera para sua sede, interrompendo o fluxo no sistema. A válvula unidirecional pode ser construída com mola e um *flap* (aba) ou esfera. A Figura 13 apresenta uma válvula unidirecional do tipo *flap*.

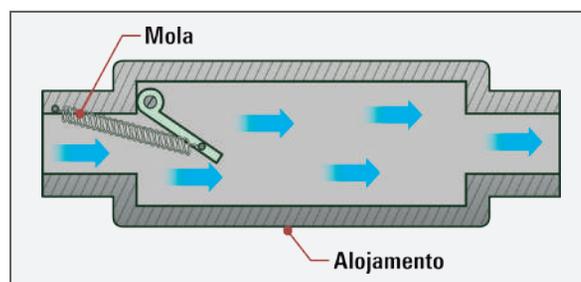


Figura 13 - Válvula pneumática unidirecional tipo *flap*

#### b) Válvula unidirecional do tipo esfera com orifício

Outro tipo de válvula unidirecional é a de esfera com orifício, também conhecida como válvula de amortecimento (Figuras 14.A e B). Ela possui, na área da sede da esfera, um orifício calibrado. O fluxo é permitido em um sentido quando a esfera está fora de sua sede e o componente que está sendo atuado pelo sistema pneumático opera. Em um dado momento, a atuação do componente está completa e há um retorno de ar no sen-

tido oposto, forçando a mola a recolocar a esfera na sua sede. Nesse instante, o ar que estava fluindo pelo orifício calibrado sem restrição se depara com um fluxo no sentido oposto, que amortece o fechamento da válvula unidirecional.

Toda válvula unidirecional tem o sentido do fluxo do fluido marcado em seu corpo com o intuito de evitar a instalação incorreta da válvula.

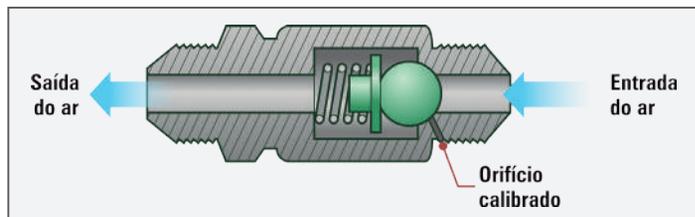


Figura 14.A - Válvula do tipo com orifício calibrado

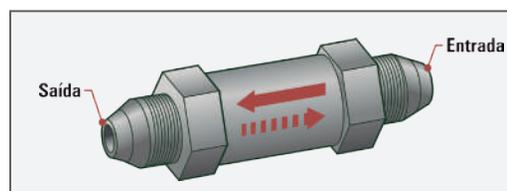


Figura 14.B - Direção do fluxo e indicação do orifício calibrado

c) Válvula unidirecional de esfera do tipo simples

Uma válvula unidirecional de esfera do tipo simples é mostrada nas Figuras 15.A e B. Essa válvula se assemelha ao tipo esfera com orifício, pois possui molas, esfera e sede. Sua diferença consiste na capacidade de bloquear totalmente o fluxo em um sentido.

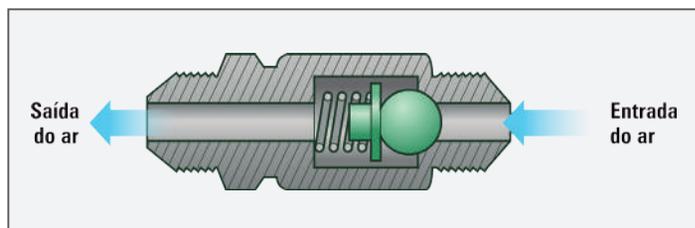


Figura 15.A - Válvula do tipo esfera simples

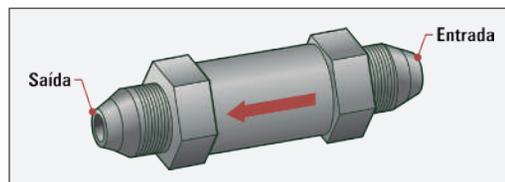


Figura 15.B - Direção do fluxo marcado no corpo da válvula

d) Válvulas de alívio

As válvulas de alívio são usadas no sistema pneumático para prevenir danos. Atuam como uma unidade reguladora de pressão para prevenir que o seu excesso danifique os componentes do sistema, liberando-o para a parte externa. Vide Figura 16 para utilização típica de uma válvula de alívio.

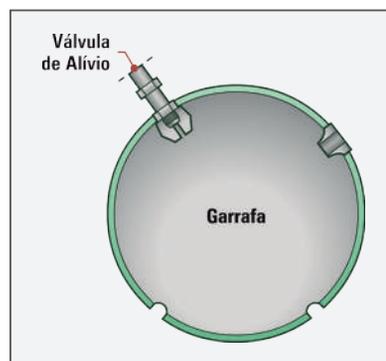


Figura 16 - Válvula de alívio

e) Restritores

Os restritores são um tipo de válvula de controle usado no sistema pneumático. A Figura 17 ilustra um restritor do tipo orifício, composto por uma grande porta de entrada e uma pequena porta de saída, que reduz a razão de fluxo de ar e a velocidade de operação de uma unidade que vai ser atuada (operada).

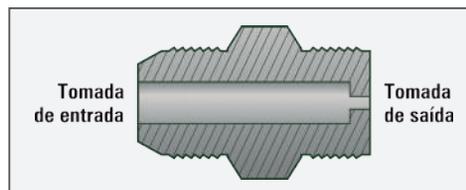


Figura 17 - Restritor

f) Restritor variável

Outro tipo de unidade que regula a velocidade é o restritor variável, conforme Figura 18. O restritor contém uma válvula do tipo agulha ajustável, a qual tem fios de roscas em toda sua extensão. Dependendo da direção do giro de ajuste, a válvula agulha se move para aumentar ou diminuir a passagem do fluido. Todo ar que entra no restritor é obrigado a passar pelo ajuste da válvula para alcançar a porta de saída. Este ajuste também determina a razão do fluxo de ar através do restritor.

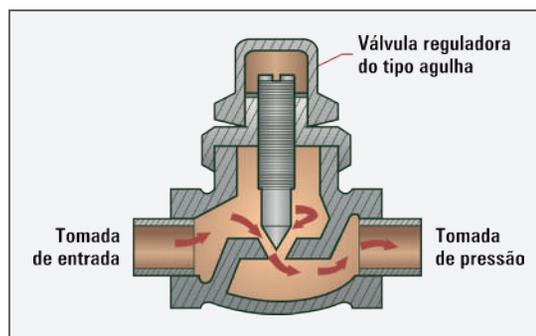


Figura 18 - Restritor pneumático variável

g) Filtros

O sistema pneumático é protegido contra sujeira por meio de vários tipos de filtros. O chamado filtro **micrônico** é composto por um alojamento com duas portas, um cartucho substituível e uma válvula de alívio.

Normalmente, o ar que entra no filtro circula ao redor do cartucho de celulose, flui para o centro do cartucho e, em seguida, se direciona para a porta de saída. Se o cartucho ficar entupido devido ao excesso de sujeira, a pressão força a abertura da válvula de alívio para permitir que o ar não filtrado flua para a porta de saída do sistema.

O filtro de tela de aço é similar ao filtro micrônico, mas não contém um cartucho descartável. Ele possui uma alavanca no topo do alojamento do filtro que serve para limpeza da tela, bastando apenas rodar a alavanca contra um raspador de metal. Nas Figuras 19.A e B, pode-se visualizar o filtro e a válvula de alívio.



**Micrônico:** utiliza um elemento feito de um papel especialmente tratado que é dobrado em rugas verticais.

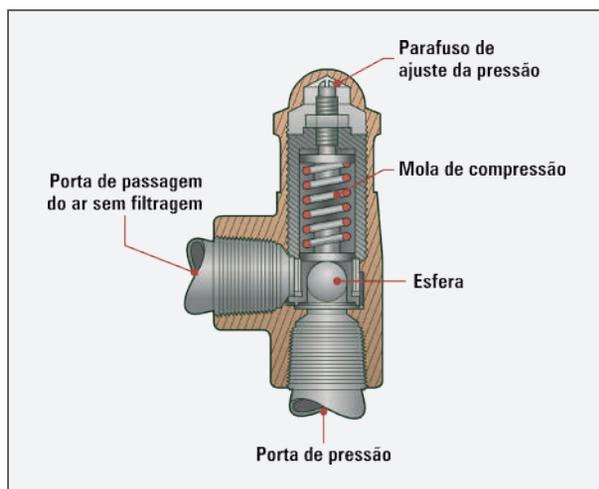


Figura 19.A - Filtro de válvula de alívio visão interna

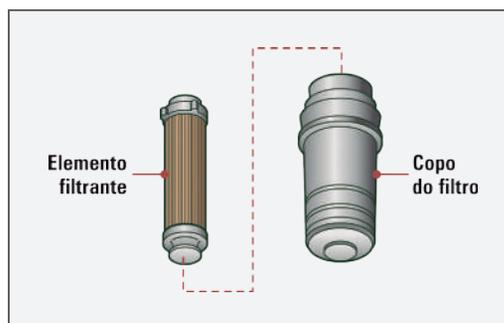


Figura 19.B - Filtro de válvula de alívio visão externa

h) Garrafas de ar

Em algumas aeronaves, os sistemas de atuação em emergência do freio e de abaixamento do trem de pouso são efetuados por um sistema de alta pressão que armazena nitrogênio em garrafas. Elas suportam pressão na faixa de 1.000 a 3.000 psi. No compartimento do nariz do avião se localiza uma garrafa para cada sistema de emergência.

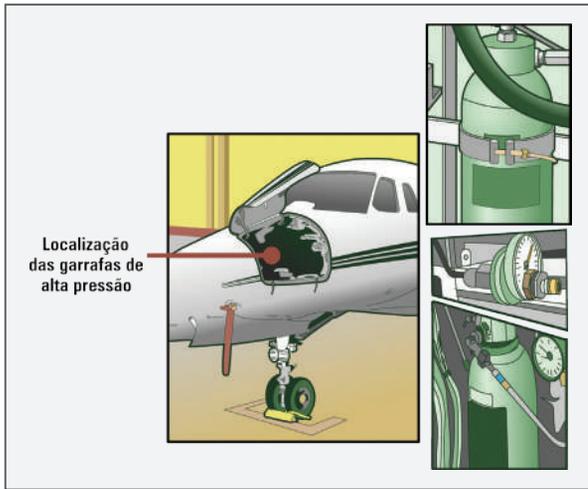


Figura 20 - Localização das garrafas de emergência

A liberação do nitrogênio da garrafa para o freio e para o abaixamento do trem de pouso é efetuada pelo controle de uma válvula atuada por cabo de comando, há uma válvula para cada sistema. Os sistemas de emergência são independentes. Após o descarregamento do nitrogênio, as garrafas são reabastecidas pela equipe de manutenção para uma pressão aproximada de 3.100 psi a 21 °C. Essa pressão é o bastante para uma atuação de extensão do trem de pouso, conforme o observado na Figura 20.

### 1.3.2 Sistema pneumático típico de média pressão do motor a reação e componentes

A sangria de ar do motor varia de acordo com o projeto de cada um e, por isso, é necessário consultar o manual de manutenção da aeronave. Esse sistema possui válvulas de sangria de ar e computadores de controle do sistema. Será utilizado um motor com sangria de ar do 5º e 9º estágios para facilitar a compreensão. É importante ressaltar que o fabricante é quem define os estágios de sangria para o sistema pneumático de média pressão, de acordo com o tamanho do motor e a quantidade de compressores.

Suponha-se que o motor possui nove estágios de compressores de fluxo axial e que seu fabricante utiliza a sangria de ar do 5º e 9º estágios no projeto. No 5º estágio, foi utilizada uma válvula unidirecional (Figura 21), que é uma válvula que permite o fluxo de ar em apenas um sentido. Essa válvula vai sangrar o ar com o motor em potência. Com o motor em marcha lenta, ela fechará a sangria de ar por diferença de pressão entre a entrada e a saída de ar passando pelo seu interior.

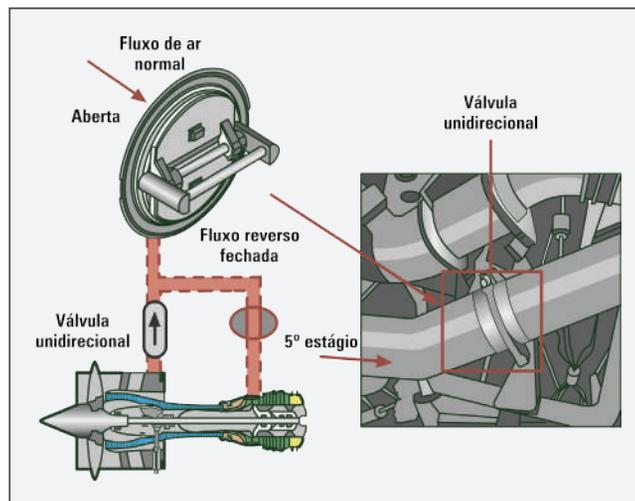


Figura 21 - Válvula unidirecional com zoom mostrando detalhes

Essa válvula unidirecional não possui controle elétrico, apenas bloqueia a passagem do ar quando o motor está em marcha lenta por diferença de pressão. Além disso, o comandante não tem controle na cabine de comando para abrir ou fechar a válvula. Ela só abre pela pressão de ar e fecha para evitar o fluxo de ar reverso que vem do 9º estágio, no qual a pressão é maior.

a) Válvula de sangria de alta pressão

A *high pressure valve*, também conhecida como válvula de sangria de alta pressão, está instalada no 9º estágio e, assim como a válvula unidirecional, não é possível controlá-la pela cabine de comando. A válvula é comandada eletricamente por um controlador que lê o sistema digital para efetuar sua abertura e fechamento. A válvula abre quando o motor está em marcha lenta, pois nesse estágio há uma elevada pressão de ar. A válvula somente é fechada pelo comando do controlador com o motor em potência, caso contrário o excesso de pressão rompe o duto pneumático. Essa válvula possui um mecanismo para travamento manual que permite à equipe de manutenção de aeronaves liberar o avião em caso de falhas quando ela estiver na posição fechada (Figura 22).

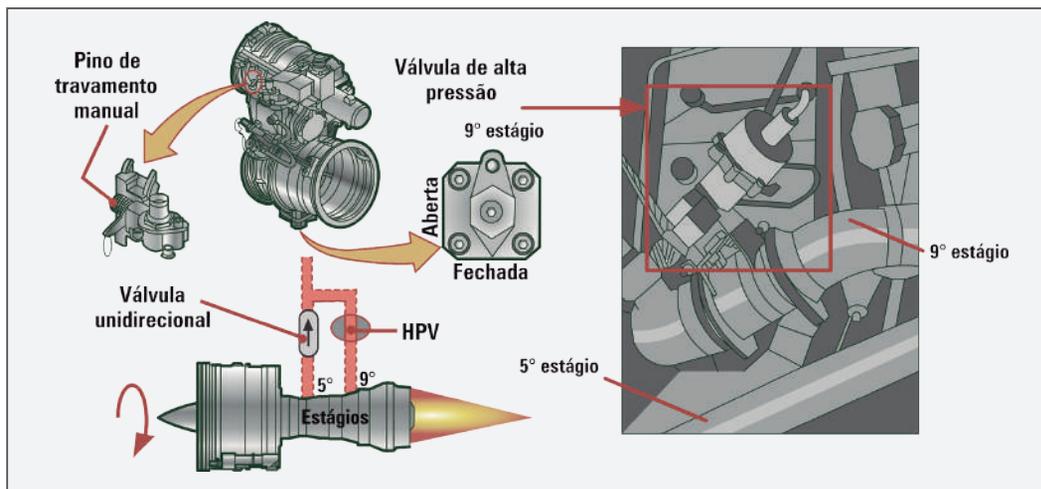


Figura 22 - Válvula de sangria de alta pressão com zoom que mostra os detalhes

b) Válvula de sangria de ar

Após a sangria de ar dos estágios de compressão, a temperatura e a pressão precisam ser controladas para atender aos sistemas que vão utilizar o ar do sistema pneumático, tais como:

- a) o sistema de proteção contra gelo (*anti-ice*);
- b) pressurização dos sistemas de água potável;
- c) pressurização do reservatório do sistema hidráulico;
- d) fornecimento de ar para o sistema de ar condicionado e pressurização da fuselagem do avião.

A válvula de sangria (*bleed valve*) é comandada para abrir ou fechar por meio de uma chave na cabine de comando. O ar que passou através da válvula unidirecional (*check valve*) ou da válvula de sangria de alta pressão (*high pressure valve*) chega à válvula de sangria,



**Punho de fogo:** mecanismo que aciona as garrafas de extinção contra fogo.

onde a pressão do ar é regulada para 44 psi e a temperatura do ar dentro do duto de sangria é controlada para 257 °C. Destaca-se que esses valores são apenas uma referência para o estudo, sendo necessário consultar o manual de manutenção da aeronave.

No caso de falhas em manter a pressão e a temperatura no limite operacional de 44 psi e 257 °C, a válvula fechará automaticamente até que seja corrigido o problema. A válvula de sangria também fechará no caso de fogo no motor quando o **punho de fogo** for acionado, além de poder ser travada manualmente no caso de falhas. Na Figura 23, observa-se a localização da válvula de sangria.

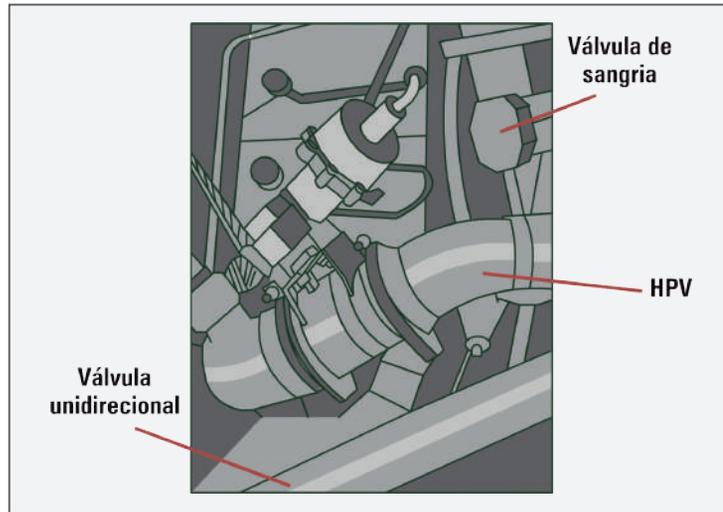


Figura 23 - Localização da válvula de sangria

c) Válvula de sobrepressão ou *overpressure valve* (OPV)

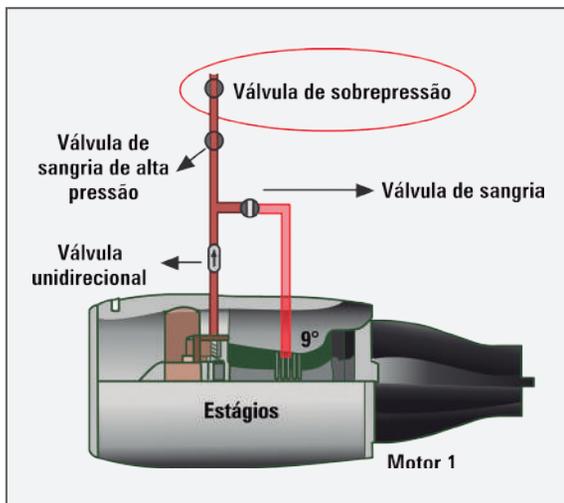


Figura 24 - Válvula de sobrepressão

Antes de abordar a válvula de sobrepressão, enfatiza-se que os valores demonstrados neste tópico são apenas para estudo, sendo necessário consultar o manual de manutenção da aeronave. A válvula de sobrepressão (OPV) está normalmente aberta e é fechada pneumaticamente. Seu fechamento é iniciado se a válvula de sangria falhar em regular a pressão do sistema pneumático em 44 psi, deixando-a atingir o valor de 75 psi. A válvula de sobrepressão se fechará completamente quando a pressão atingir 85 psi. Caso a pressão seja normalizada e atinja 35 psi, essa válvula abre novamente.

Na Figura 24, observa-se que, ao fechar o sistema pneumático para o motor, essa válvula ficará inoperante. Ademais, a OPV não tem comando no painel de controle da cabine.

d) Válvula de ar do *fan* ou *fan air valve* (FAV)

A *fan air valve* é uma válvula que permite que uma parte do ar frio do *fan* seja desviada para um trocador de calor onde passa o ar do duto de sangria das válvulas do motor. No trocador de calor ar/ar, não há mistura de ar. O ar do duto de sangria das válvulas do motor vai para o sistema pneumático. Enquanto isso, o ar sangrado do *fan*, após a troca de calor com o ar que passa pelo interior do duto, é descarregado no exterior do motor. Esse processo permite o controle de temperatura do sistema pneumático.

A válvula de ar do *fan* (FAV) é controlada pneumáticamente por um *termostato* que, de acordo com a temperatura no interior do duto pneumático, modula para abrir ou fechar a quantidade de ar no trocador de calor ar/ar, evitando, assim, a variação da temperatura do ar sangrado do motor (Figura 25).

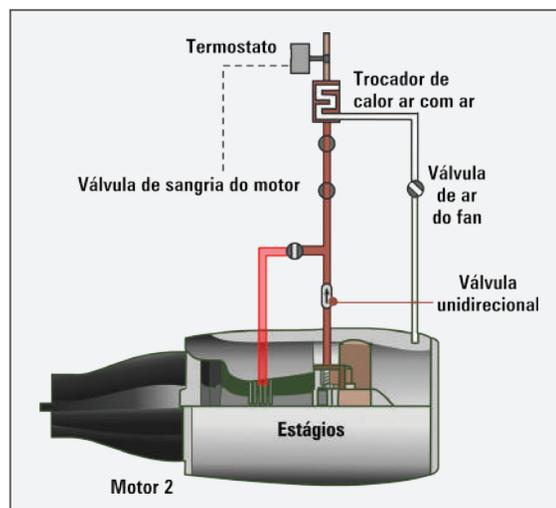


Figura 25 - Válvula de ar do *fan* e termostato de controle

### 1.3.3 Controlador do sistema pneumático

Com todas essas válvulas sendo abertas e fechadas constantemente para manter a pressão e a temperatura durante a operação do sistema pneumático, há um computador que recebe informações de sensores de temperatura e pressão para efetuar o controle das válvulas. Esse computador atua nos *solenoides* e monitora e controla o sistema pneumático, de acordo com as informações recebidas (Figura 25).

a) Válvula de alimentação cruzada ou *cross bleed valve*

A *cross bleed valve*, representada na Figura 26, tem a função de interligar o sistema pneumático do motor esquerdo com o sistema pneumático do motor direito. Sem essa válvula, no caso de falha da válvula de sangria de um motor, a aeronave voaria apenas com um sistema de ar condicionado. No entanto, com a presença da válvula de alimentação cruzada, caso ocorra falha de um lado do sistema de sangria, essa válvula será aberta automaticamente pelo controlador ou manualmente pelo comandante. Isso faz com que o sistema pneumático de um lado forneça ar para o ar condicionado do outro lado cujo sistema falhou.

A abertura manual da válvula se dá por meio de uma chave no painel de controle do sistema pneumático.

Além disso, a *cross bleed valve* permite que um motor em funcionamento forneça ar do sistema pneumático para a partida de outro motor, pois nas aeronaves de grande porte esse procedimento de partida ocorre por intermédio do sistema pneumático.



**Fan:** maior peça do motor a reação, chamado de *turbo fan*, considerado um compressor.

**Termostato:** dispositivo que controla a temperatura de um sistema, mantendo-a constante.

**Solenóide:** dispositivo que recebe sinal elétrico de um sistema e atua internamente um contato para fechar ou abrir o circuito elétrico.

O motor de partida, nesse caso, possui uma ventoinha que girará com a pressão do ar passando por ela. Isso faz girar o eixo do motor de partida que está ligado à caixa de acessórios do motor.

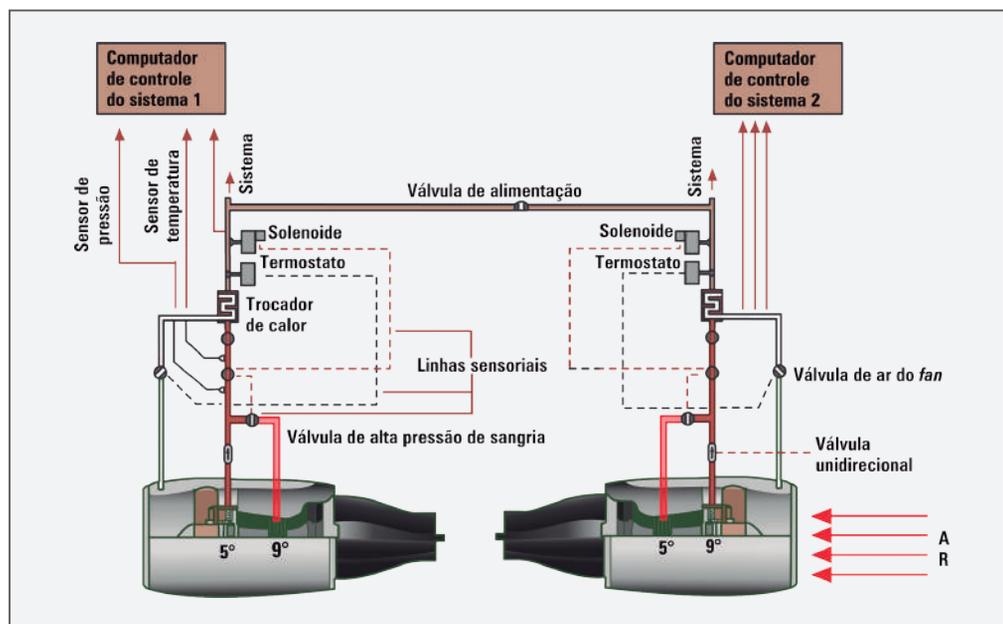


Figura 26 - Localização da válvula de alimentação cruzada

## 1.4 Fontes auxiliares do sistema pneumático

Para garantir o funcionamento do sistema pneumático, sobretudo quando a aeronave está em solo, ele utiliza fontes auxiliares que fornecem alimentação pneumática à aeronave, tais como unidade auxiliar de força (APU) e unidade de baixa pressão (LPU). A APU é uma fonte interna do próprio avião que fornece força elétrica e pneumática, enquanto a LPU é uma fonte externa acoplada à aeronave quando esta se encontra em solo.

### a) Unidade auxiliar de força (APU)

As aeronaves têm um sistema auxiliar chamado de unidade auxiliar de força (APU). Esse sistema fornece alimentação elétrica e ar para o sistema pneumático. Quando a aeronave está em solo e desliga os motores, a sangria de ar deles é interrompida. Nesse caso, para evitar que os sistemas dependentes do ar do sistema pneumático fiquem inoperantes, a APU é ligada. Dentre esses sistemas, cita-se: ar condicionado, partida dos motores, pressurização do reservatório do sistema hidráulico, pressurização do reservatório do sistema de água potável e sistema antigelo.

A APU funciona tanto no solo quanto em voo. Com os motores ligados, no entanto, não há a necessidade de seu funcionamento em voo (Figura 27). A liberação do ar pneumático da APU para o avião se dá por meio de uma chave no painel de controle da cabine, que abre a válvula de sangria da APU que fornece ar do sistema pneumático para a aeronave.

b) Unidade de baixa pressão (LPU)

A unidade de baixa pressão (LPU) é uma fonte externa ao circuito pneumático do avião por ser um motor a diesel que, ligado a um compressor, fornecerá ar para o sistema de partida dos motores a reação. O LPU é ligado a um acoplamento (Figura 28) na aeronave pelo técnico de manutenção e, após a partida do motor, é desacoplado do avião.

Essa fonte externa somente será usada se o sistema pneumático da APU estiver inoperante para efetuar a partida dos motores. Na Figura 27, é possível observar o sistema pneumático completo, bem como suas válvulas e os demais sistemas dependentes dele.

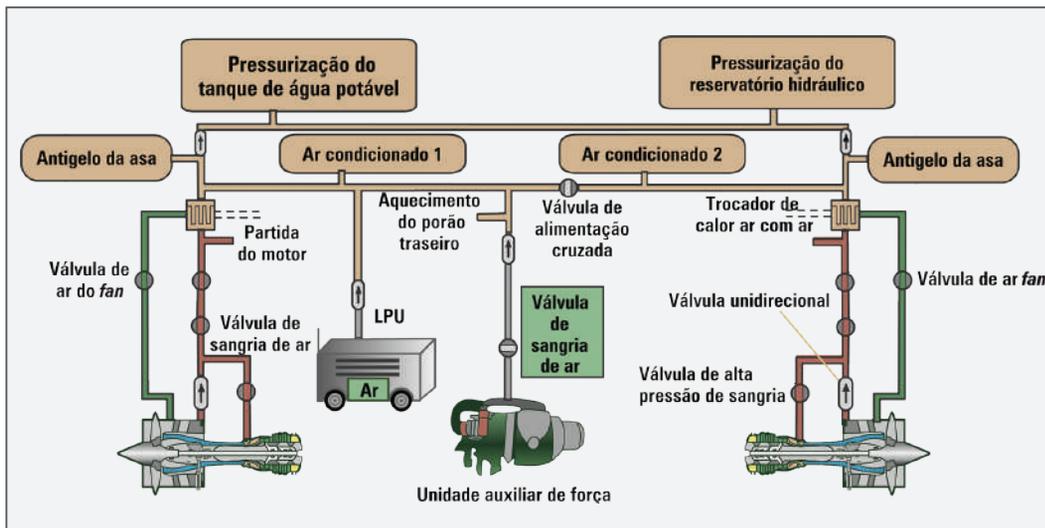


Figura 27 - Sistema pneumático completo

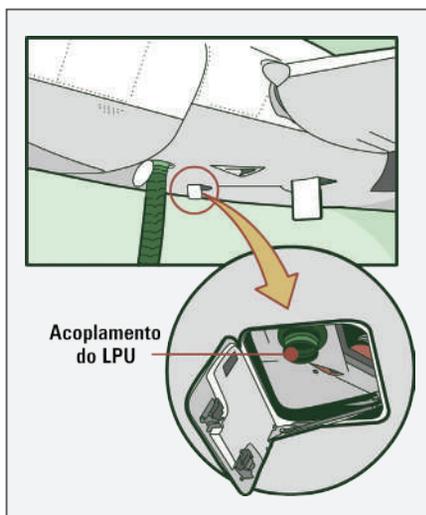


Figura 28 - Zoom mostrando acoplamento do LPU

O uso do sistema pneumático penaliza o motor, pois é necessária maior injeção de combustível para compensar o ar que é tirado de seus compressores. Esse fato é comprovado pelo uso do sistema de antigelo, que faz com que o motor acrescente automaticamente um pouco de aceleração para compensar o ar usado por esse sistema.

As válvulas utilizadas no sistema pneumático – válvula unidirecional, válvula reguladora de pressão e outras – possuem modo de operação idêntico às válvulas utilizadas no sistema hidráulico. A única diferença reside no fato de que, no sistema pneumático, o fluido de trabalho é o ar, e no sistema hidráulico, é o líquido. A distinção entre esses dois fluidos é que o ar pode ser comprimido e o líquido não.

## 1.5 Sistemas que dependem do sistema pneumático

De acordo com o demonstrado na Figura 29, o sistema pneumático é gerado pelo motor, pela APU ou pelo LPU. Os sistemas de ar condicionado, proteção contra gelo, partida dos motores, pressurização do reservatório hidráulico e pressurização da água potável compõem o conjunto de sistemas dependentes do sistema pneumático. Neste tópico, será estudado como o sistema pneumático fornece ar para funcionamento dos sistemas que dependem da fonte de ar fornecida por ele.

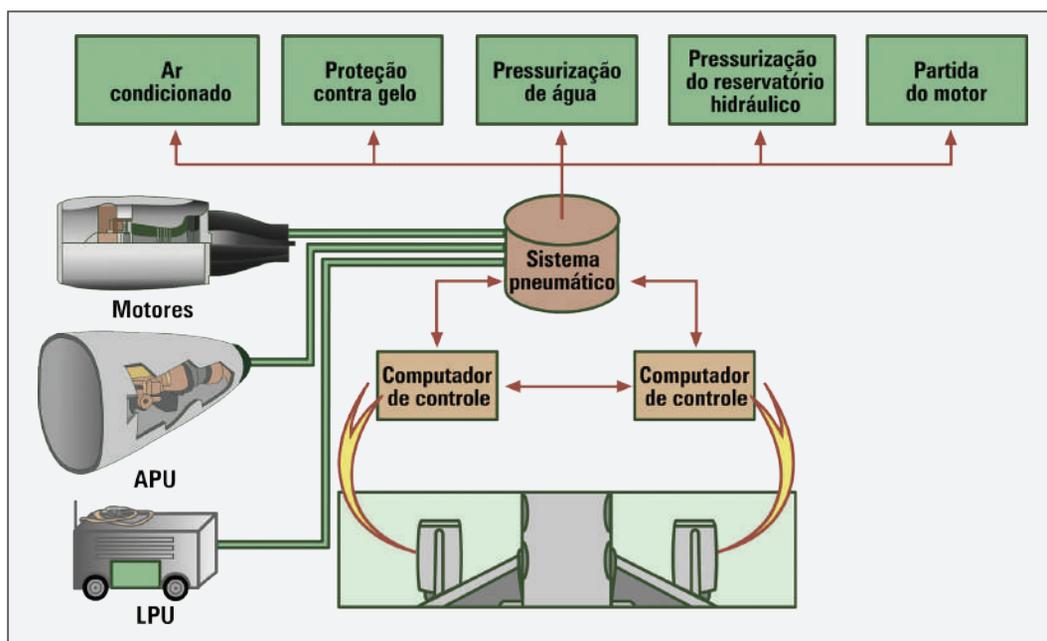


Figura 29 - Sistemas que dependem do sistema pneumático

### 1.5.1 Sistema de proteção contra gelo

O sistema pneumático é utilizado pelo sistema de proteção contra gelo em duas circunstâncias:

- para quebrar o gelo;
- para aquecer a superfície do bordo de ataque da asa ou a entrada de ar do motor para evitar a formação de gelo.

Sendo assim, se o gelo foi formado e depois precisou ser removido, tem-se o sistema de degelo (*de-ice*). Todavia, se o sistema não deixou o gelo se formar, então é um sistema de antigelo (*anti-ice*).

Quando se tem o sistema pneumático agindo como degelo (*de-ice*), o gelo se formará nos bordos de ataque das superfícies de voo, tais como: asa, estabilizador horizontal e entrada de ar do motor. Nesse caso, o gelo será removido pelo enchimento de câmaras de ar denominadas *boots*. Quando essas câmaras inflam, o gelo formado se quebra.

O sistema é composto por câmaras de borracha, válvulas de distribuição de ar e temporizador para controlar o tempo de inflação e deflação das câmaras de borracha. Nas Figuras 30.A, B e C, há mais detalhes acerca do funcionamento e da localização dos *boots* na aeronave.

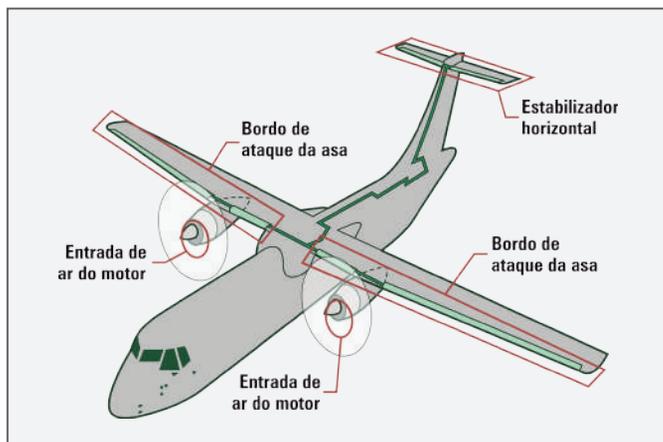
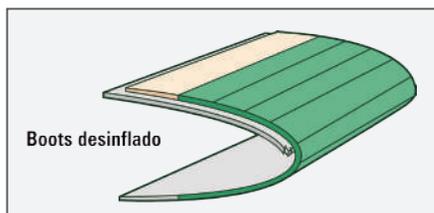
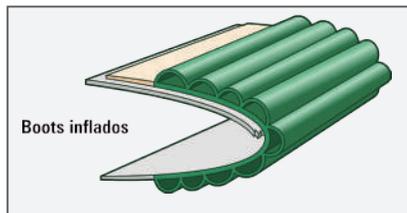


Figura 30.A - Localização dos *boots* na aeronave



Boots desinflado



Boots inflados

Figura 30.B - *Boots* desinflados

Figura 30.C - *Boots* inflados

Já o sistema de proteção de antigelo (*anti-ice*) aquece o bordo de ataque da asa e a entrada de ar do motor com o ar quente do sistema pneumático, evitando, assim, a formação de gelo. No interior do bordo de ataque da asa, é instalado um tubo com furos, denominado *piccolo*, por onde o ar do sistema pneumático será direcionado (Figura 31). O sistema consiste em uma válvula de controle para passagem do ar e sensores para controle da temperatura do sistema. Esse sistema só é ativado com o ar sangrado do motor, ou seja, sua operação depende do funcionamento dos motores. No teste de manutenção, o tempo durante o qual o sistema fica operante é limitado para não danificar o bordo de ataque da asa e a entrada de ar do motor por superaquecimento.

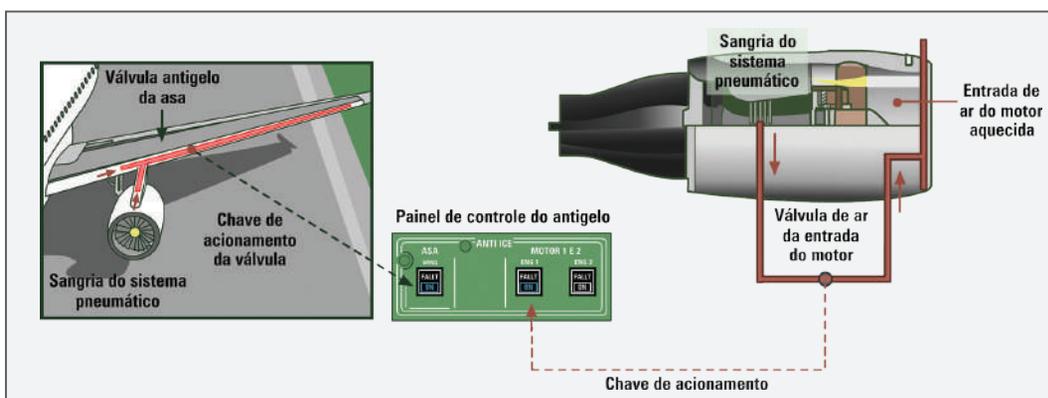


Figura 31 - Sistemas de proteção de antigelo e localização na aeronave



**Piccolo:** tubo cheio de furos por onde o ar quente vaza para aquecer o bordo de ataque da asa, evitando a formação de gelo.

## 1.5.2 Pressurização do sistema de água potável

O sistema pneumático também pressuriza o reservatório de água potável para que a água saia do tanque com pressão positiva. Essa água abastece as pias dos *toilets*, a descarga do vaso sanitário e as *galleys*. Sem o sistema pneumático para pressurizar o reservatório, há grande dificuldade de a água chegar aos compartimentos da aeronave que requerem o seu uso. Esse empecilho é em decorrência da própria localização do reservatório, que fica abaixo dos compartimentos que a água deve alcançar. Assim, não seria possível utilizar a força da gravidade como ocorre nos domicílios, onde a caixa d'água fica em cima da casa.

No avião ainda tem o problema da baixa pressão atmosférica em grandes altitudes, o que dificulta a saída da água do reservatório. Dessa forma, o ar do sistema pneumático entra no tanque de água e exerce uma pressão para a sua saída do reservatório. Na Figura 32, há um esquema para melhor visualização desse processo.

Destaca-se que em todo sistema que é pressurizado, ou seja, aquele em que há uma pressão de ar exercendo uma força sobre outro fluido, deve-se antes de abastecê-lo despressurizar/remover o ar que mantém o sistema sobre pressão positiva. Dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço e, nesse caso, haverá água e ar dentro do reservatório. O ar estará sobre pressão e essa pressão é exercida sobre a água.

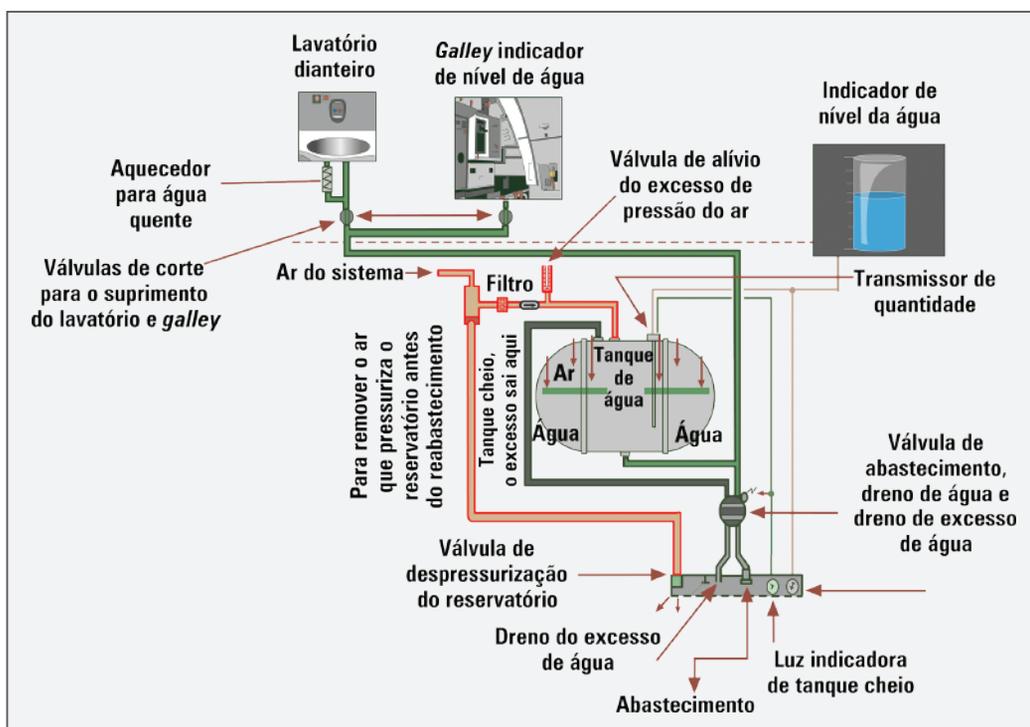


Figura 32 - Esquema da pressurização do sistema de água potável

## 1.5.3 Pressurização do reservatório hidráulico

Todas as superfícies primárias de controle de voo, freios e outros sistemas são atuados hidráulicamente. A bomba hidráulica não pode funcionar sem o óleo hidráulico, pois o óleo



**Galleys:** um tipo de cozinha do avião.

**Superfícies primárias de controle:** *aileron*, leme de direção e profundor, responsáveis pelo movimento em cima dos três eixos da aeronave, a citar: rolagem, guinada e arfagem.

também serve para lubrificá-la. Se o óleo para a bomba hidráulica não estiver com a quantidade adequada, ela poderá ser danificada. Para evitar esse problema, o reservatório hidráulico também é pressurizado, garantindo, assim, seu funcionamento adequado em grandes altitudes onde a pressão do ar é menor. A pressão do ar sobre o fluido no reservatório hidráulico mantém um fluxo de pressão positiva do reservatório até a bomba hidráulica (Figura 33). Ressalta-se novamente a necessidade de despressurizar/remover o ar antes de abastecê-lo.

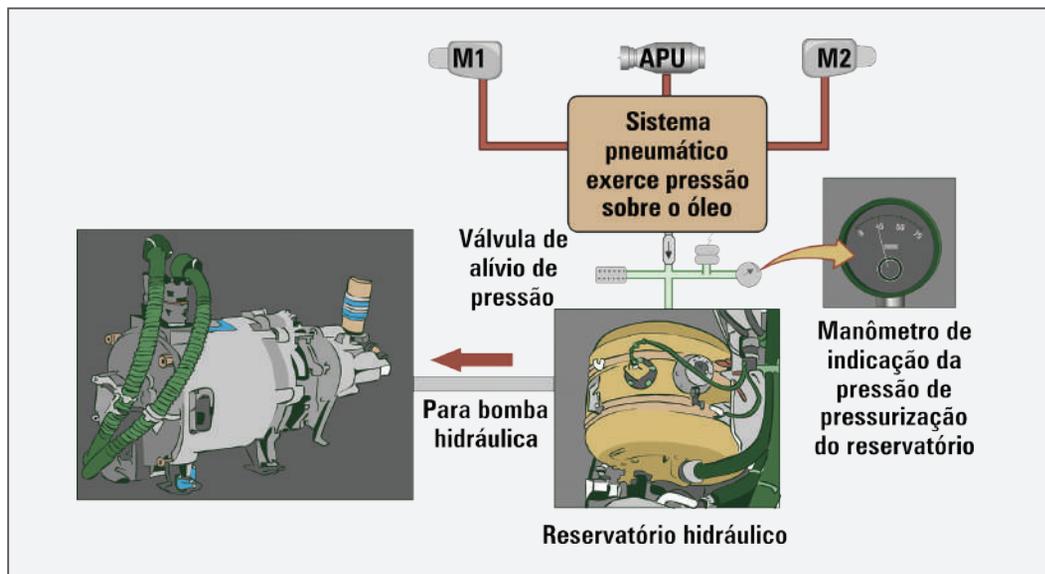


Figura 33 - Esquemático da pressurização do reservatório hidráulico

### 1.5.4 Partida do motor

Nos motores a reação, a partida do motor é pneumática. O ar vem sobre pressão do sistema pneumático e passa por uma válvula chamada válvula de partida, em inglês, *start valve*. Esse ar gira uma ventoinha atrás do motor de partida que, conseqüentemente, faz girar o motor a reação, conforme demonstrado na Figura 34.

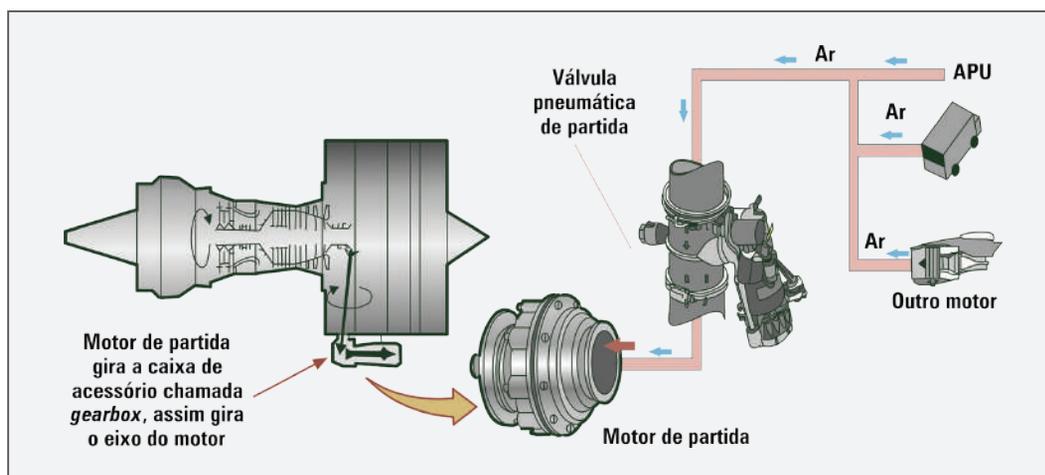


Figura 34 - Partida pneumática do motor a reação

## 1.6 Manutenção do sistema pneumático

A manutenção do sistema pneumático consiste em serviços de pesquisa de pane, remoção e instalação de componentes e teste operacional.



**Bujão:** tipo de tampa colocado no sistema para evitar vazamento.

O sistema deverá ser purgado (limpo) periodicamente para remover a contaminação, umidade ou óleo dos componentes e linhas. O purgamento (espécie de lavagem do sistema) é executado pela pressurização do sistema e, depois, são abertos vários **bujões**, dos componentes e linhas do sistema. A remoção das linhas de pressão causam uma alta razão de fluxo de ar no sistema, fazendo com que todo material estranho seja expelido para fora. Se uma quantidade excessiva de material estranho, particularmente óleo, é expelida do sistema pneumático, as linhas e componentes deverão ser limpas ou substituídas.

Após completado o purgamento do sistema e feita a reconexão de todos os componentes, as garrafas do sistema de alta pressão de ar devem ser drenadas para remoção de alguma umidade ou impurezas que podem estar acumuladas no sistema. Então as garrafas de ar devem ser reabastecidas com nitrogênio ou ar seco limpo. O sistema deverá passar por um teste operacional para verificação de vazamento e integridade das conexões.

Nos sistemas de baixa pressão, deve ser verificada a operacionalidade do sistema de inflação dos *boots*. Para isso, é instalada uma garrafa de nitrogênio no sistema para inflá-los, evitando, assim, acidentes ocasionados pelo funcionamento do motor enquanto a equipe de manutenção trabalha na aeronave. O sistema deve ser pressurizado, com a pressão recomendada no manual do avião, para seu funcionamento e para a verificação de vazamentos ou furos nas câmaras de ar do sistema de degelo (*boots*). Caso algum *boot* esteja danificado, pode ser efetuado um rápido reparo com um remendo frio.

### Resumindo

Neste capítulo, viu-se que o ar se torna mais rarefeito à medida que a aeronave eleva sua altitude. A falta de oxigênio pode comprometer o funcionamento do motor. Para evitar isso, têm-se os compressores. Uma parte do ar comprimido por eles é usada para pressurizar a fuselagem do avião. Nas aeronaves com motor convencional, o ar é pressurizado por dispositivos chamados de supercarregador ou turbocarregador. Já nos aviões com motor a reação, há os compressores de fluxo de ar axial e centrífugo.

Nesse tipo de motor, a sangria de ar se transforma no sistema pneumático que suprirá vários outros sistemas, tais como: ar condicionado, proteção contra gelo, partida dos motores, pressurização do reservatório hidráulico e do de água potável. Os sistemas pneumáticos usados nas aeronaves podem ser de três tipos: de alta, média ou baixa pressão.

O sistema de alta pressão opera com uma pressão entre 1.000 e 3.000 psi e utiliza garrafas que suportam a alta pressão do ar armazenado. O sistema de média pressão opera com uma pressão entre 50 e 150 psi e utiliza o ar sangrado do motor. O sistema de baixa pressão opera com uma pressão entre 1 e 10 psi e emprega uma bomba de ar do tipo palheta com eixo excêntrico para inflar os *boots* de degelo do sistema a fim de quebrar o gelo formado nas asas.

# Capítulo 2

## Sistema de ar condicionado

O sistema de ar condicionado recebe o ar do sistema pneumático com pressão e temperatura controladas, possibilitando, assim, o conforto dos passageiros. Posteriormente, o sistema de ar condicionado será usado como fonte de pressão para o sistema de pressurização da fuselagem da aeronave.

A principal função do sistema de ar condicionado é manter o ar pressurizado no interior da fuselagem, com pressão e temperatura controladas, tanto na cabine de passageiros quanto no *cockpit*. Além disso, esse sistema deve possuir controle de temperatura do ar ventilado no interior da aeronave. O sistema de ar condicionado é responsável pela ventilação e aquecimento do porão de carga, bem como pela ventilação dos equipamentos de aviônicos.



**Cockpit:** cabine de comando, na qual o piloto e o copiloto operam a aeronave.

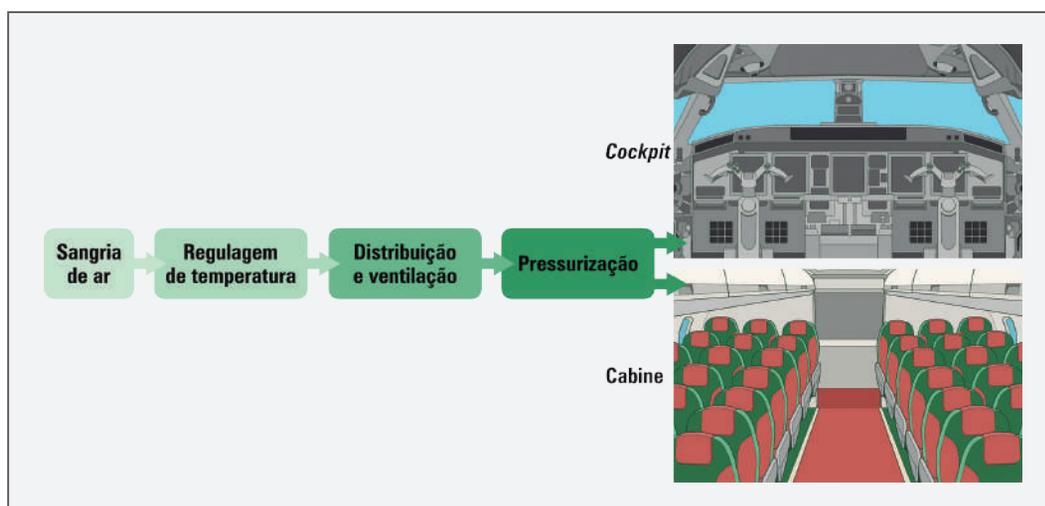


Figura 35 - Etapas do tratamento do ar no *cockpit* e na cabine de passageiros

### 2.1 Sistema de ar de ventilação

Nas aeronaves que não são pressurizadas, a temperatura externa em altas altitudes pode ser inferior a 0 °C. Combinado com a sensação térmica, o aquecimento da cabine torna-se extremamente importante para possibilitar conforto aos passageiros.

Ventilação do ar é o nome dado ao sistema que controla a temperatura do ar que entra na cabine de comando (*cockpit*) e na de passageiros, e que será ventilado para o interior do avião.

Tipicamente, o ar para a cabine dos aviões não pressurizados entra por uma porta chamada *ram air* e, após ser aquecido, é levado para a cabine de comando e a de passageiros. Quando

a aeronave se encontra no solo, o sistema faz uso de um ventilador para puxar o ar externo e forçá-lo a entrar no aquecedor. Quando está voando, o ar de impacto em cima da porta de entrada *ram air* é o suficiente para forçar o ar a passar através do aquecedor.

Nas aeronaves pressurizadas, que usam sistema de ar condicionado do tipo de ciclo de ar, o sistema de ventilação mistura o ar quente sangrado do motor com o ar frio do ar condicionado a fim de obter o ar aquecido para a cabine do avião.

As aeronaves que não são equipadas com ar condicionado de ciclo de ar podem ter sua cabine aquecida por outros métodos. As aeronaves com motor a turbina podem fazer uso do ar sangrado do compressor do motor para aquecer a cabine. O ar sangrado é misturado com o ar ambiente e distribuído por meio de vários dutos da cabine do avião. O controle do sistema está instalado na cabine de comando, onde as válvulas de mistura de ar, válvulas de controle de fluxo e outras válvulas de controle são manuseadas mediante o controle na cabine de pilotagem.

## 2.2 Sistema de aquecimento

O sistema tem a função primordial de manter a cabine na temperatura correta dentro da aeronave. Ele pode ser composto por três tipos de aquecedores: elétrico, a gás de exaustão ou a combustão. Os detalhes do funcionamento de cada sistema serão mostrados a seguir.

### 2.2.1 Sistema de aquecimento elétrico

Ocasionalmente, um dispositivo elétrico de aquecimento é usado para aquecer o ar que vai para a cabine do avião. Um ventilador (*fan*) sopra o ar sobre um aquecedor elétrico que troca calor com o ar que vai para cabine de comando.

#### Painéis radiantes

Os painéis radiantes, cuja função central é irradiar calor para aquecer a cabine, são um tipo de aquecimento elétrico instalado no assoalho e na parede lateral da fuselagem da aeronave. O aquecedor elétrico, nesse caso, requer uma significativa força de alimentação de energia elétrica do gerador, que seria melhor utilizada para operar outros dispositivos elétricos. Por essa razão, esse sistema de aquecimento não é muito comum. No entanto, ele é usado quando a aeronave está no solo com a **fonte externa** provendo energia elétrica. O aquecedor pode ser preaquecido antes do embarque de passageiros, evitando, assim, sobrecarregar o gerador do motor.

### 2.2.2 Aquecedor a gás de exaustão

Muitas aeronaves monomotor de pequeno porte usam sistema de aquecedor a gás de exaustão para aquecer a cabine. O ar ambiente é direcionado para uma câmara onde se localizam dois dutos: um leva o ar para a cabine enquanto o outro é o de exaustão do motor. O ar ambiente que



**Fonte externa ou ground power and unit (GPU):** gerador elétrico que fornece 28 v ou 115 v para o sistema elétrico do avião, quando os motores estão parados.

vai para a cabine e os gases de exaustão do motor não se misturam, apenas trocam calor dentro dessa câmara, chamada de *shroud*, que envolve ambos os dutos. O controle do ar aquecido para a cabine de comando é efetuado por uma válvula de corte acionada mecanicamente por um cabo, utilizando uma alavanca de controle na cabine.

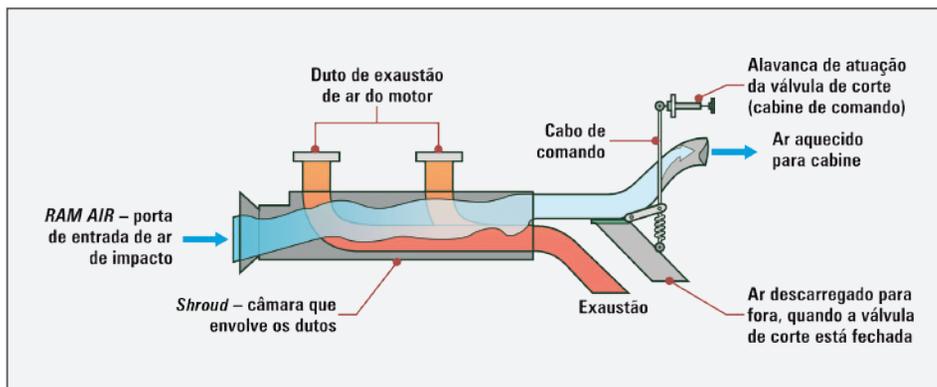


Figura 36 - Arranjo básico de um aquecedor a gás de exaustão

Embora eficiente, este sistema apresenta o risco de contaminação do ar da cabine pelos gases de exaustão. Uma trinca no duto de exaustão é o suficiente para enviar bastante monóxido de carbono para dentro da cabine, o que é fatal. Rigorosos procedimentos de inspeção são solicitados para minimizar este perigo.

### Manutenção do sistema do aquecedor a gás de exaustão

A manutenção envolve a pressurização do sistema de exaustão com ar para verificar possíveis vazamentos. A detecção é feita por meio do uso de solução de sabão. Algumas vezes é requerida a remoção do duto de exaustão e sua pressurização, ao mesmo tempo em que ele é submergido na água para localizar algum vazamento. A frequência da inspeção do sistema de exaustão para detectar vazamento pode ser feita a cada 100 horas.

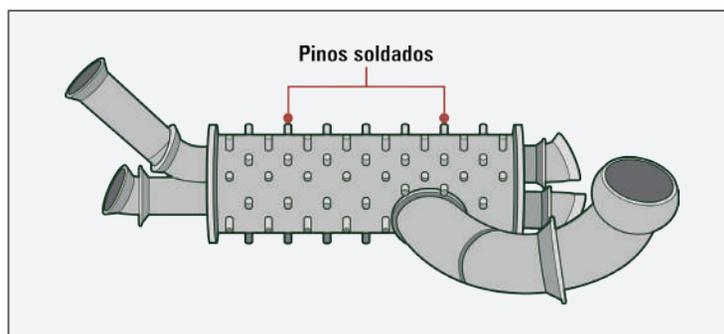
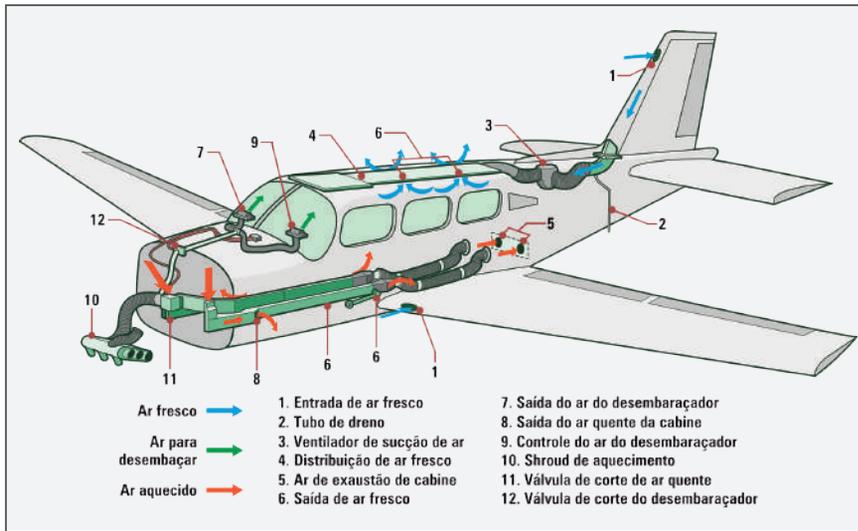


Figura 37 - Pinos soldados no sistema de aquecedor

Ocasionalmente, o sistema de exaustão é modificado na configuração da câmara que envolve os dutos de exaustão e duto de ar da cabine. Por exemplo, na parte externa do *shroud* são soldados

vários pinos metálicos a fim de aumentar a transferência de calor para o ar da cabine. Cada ponto de solda é um local em potencial para apresentar vazamentos.



A Figura 38 ilustra um sistema típico de aquecimento a gás de exaustão de um avião com motor convencional.

Figura 38 - Sistema típico de aquecimento a gás da exaustão

### 2.2.3 Aquecedor a combustão

Um aquecedor a combustão, usado em pequenas e médias aeronaves, é uma fonte de aquecimento independente do motor do avião. No entanto, o aquecedor usa o combustível do tanque da aeronave. O aquecedor mais atual usa uma unidade eletrônica de ignição e controle de temperatura.

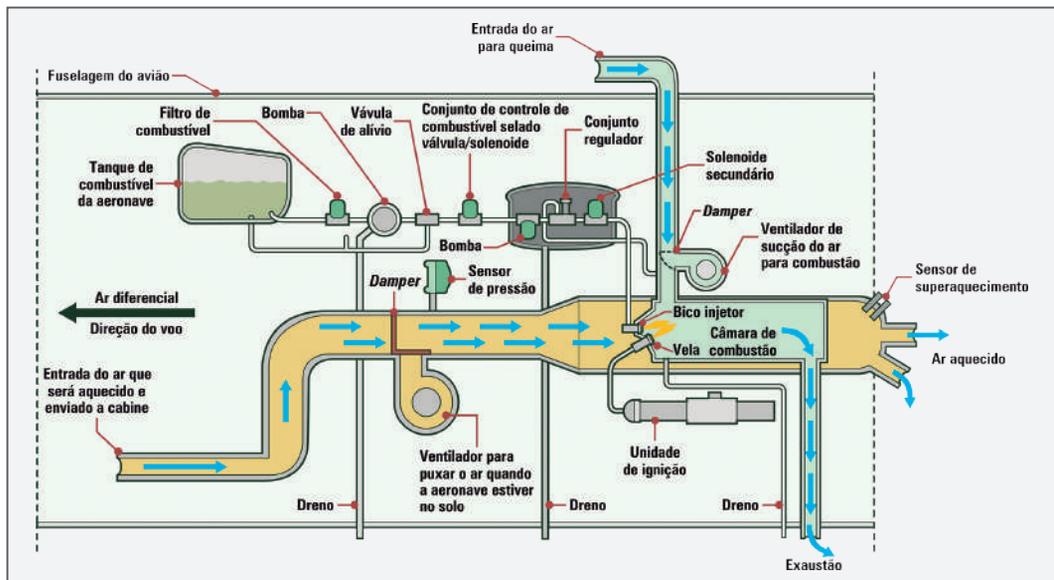


Figura 39 - Sistema de aquecedor a combustão

O aquecedor a combustão utiliza um sistema similar ao *shroud*, usado no aquecedor com gás de exaustão. A fonte de calor, nesse caso, é uma câmara de combustão independente, localizada no



**Convecção:** transferência de calor por meio de um fluido que ocorre devido ao movimento do próprio fluido.

**Switch:** chave sensora que fecha ou abre eletricamente um componente para controlar, através de parâmetros, como pressão e temperatura, o sistema.

interior de um cilindro envolvido por uma câmara (*shroud*) que compõe a unidade aquecedora. A correta mistura de ar/combustível é queimada em uma câmara interna. Os gases dessa queima são lançados para fora do avião. O ar ambiente que necessita ser aquecido é direcionado para passar entre a parede da câmara de combustão e a câmara externa (*shroud*). Então esse mesmo ar troca calor com o que foi queimado na parte interna da câmara por **convecção** e, em seguida, é direcionado para dentro da cabine da aeronave. Veja-se a Figura 39 para ilustração do sistema de aquecedor a combustão.

a) Ar para a combustão do sistema

O ar usado no processo de combustão é o ar ambiente admitido na parte externa da fuselagem do avião. Um ventilador garante que o ar na quantidade e pressão corretas seja enviado para a câmara. Algumas unidades tem um regulador ou válvula de alívio para garantir esses parâmetros. O ar da combustão é completamente separado do ar que é aquecido e enviado para a cabine.

b) Sistema de combustível

O combustível para o aquecedor a combustão é fornecido pelo tanque de combustível da aeronave. Uma bomba de pressão constante com válvula de alívio puxa o combustível que passa por intermédio de um filtro. Uma válvula atuada por um solenoide principal entrega o combustível para a unidade. O solenoide é controlado por uma chave do sistema de aquecimento localizada na cabine de comando (*cockpit*) e por três sensores (*switches*) de segurança, localizados na unidade de combustão.

O sistema possui uma chave sensora de limite do duto (*duct limit switch*) e é constituído por três proteções. A primeira comanda a válvula de controle de combustível, atuada pelo solenoide, para fechamento caso não se tenha ventilação suficiente para manter a correta faixa operacional de temperatura. A segunda é uma chave sensora de pressão (*pressure switch*) que sente a pressão do ar puxado pelo ventilador para permitir a abertura da válvula de combustível atuada pelo solenoide. O combustível somente é liberado para a câmara de combustão se houver ar para completar a mistura. Já a terceira é uma chave sensora de superaquecimento que também controla o solenoide da válvula de controle. Quando ocorre uma condição de superaquecimento, ele comanda o fechamento da válvula de controle de combustível, interrompendo o fluxo.

Um solenoide secundário, parte da unidade de controle do combustível, controla uma válvula dentro do sistema do conjunto regulador que é aberta e fechada pelo comando de um termostato. Durante operação normal, o ciclo de aquecimento do ar abre e fecha esse solenoide secundário, permitindo ou não que o combustível entre na câmara de combustão.

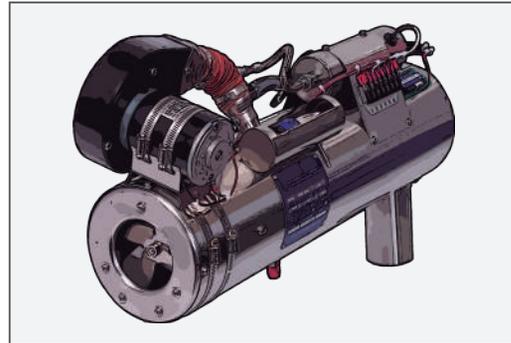


Figura 40 - Conjunto montado do aquecedor a combustão

c) Sistema de ignição

É a unidade que recebe voltagem do sistema do avião e a eleva para enviar à vela de ignição que, por meio de uma centelha, queimará a mistura ar/combustível.

A ignição é contínua quando ligada pela chave localizada na cabine de comando. O ventilador do ar para queimar mantém uma suficiente pressão de ar na câmara de combustão. O uso de uma vela de ignição para o aquecedor a combustão é essencial.

d) Controle

O controle do aquecedor a combustão consiste em uma chave de acionamento localizada na cabine de comando e de um termostato que monitora a temperatura do ar dentro do sistema, com a finalidade de ligar ou desligar o fluxo de combustível e, conseqüentemente, o aquecedor a combustão. A chave de controle de aquecimento da cabine liga a bomba de combustível, abre a válvula por meio do solenoide principal e liga o ventilador do ar para combustão. Se a aeronave estiver no solo, a chave também liga o ventilador de suprimento de ar da cabine.

Quando o ventilador do ar para combustão fornece ar sobre pressão para a câmara de combustão, a unidade de ignição envia alta voltagem para centelhar a sua vela. O termostato monitora a temperatura do sistema e energiza o solenoide de controle de combustível. Isso permite a abertura da válvula de corte, quando o ar necessitar de mais aquecimento, ou o desligamento do sistema, fechando-se o controle de combustível ao se alcançar a temperatura pré-selecionada. Quando o solenoide corta o fluxo de combustível, o ventilador continua operando para circular e transportar o calor para fora da câmara. A queda da temperatura para um valor abaixo do nível selecionado faz o termostato ligar o sistema de combustível e, assim, o aquecedor a combustão volta a operar.

## 2.2.4 Fatores de segurança do sistema do aquecedor a combustível

O funcionamento de aquecedores a combustão automáticos é interrompido em situações de perigo, evitando, assim, um acidente. Como exemplo, uma chave sensora de limite de temperatura do duto corta/fecha o combustível quando não há fluxo suficiente de ar para manter o aquecimento do duto abaixo de uma temperatura limite. Isso é usualmente causado por uma falta de ventilação do fluxo de ar.

A chave sensora de superaquecimento (*overheat*) é calibrada para atuar no caso da temperatura no sistema do aquecedor a combustível alcançar valores acima do limite operacional.

A função da chave sensora é proteger o sistema em motivo de falha na chave sensora de limite de temperatura do sistema operando na faixa normal, ou seja, se a ferramenta não cortar o fluxo de combustível e a temperatura continuar a subir no aquecedor antes de ocorrer o fogo, a chave atua no solenoide da válvula do sistema de combustível para fechá-la. O ativamento do sensor de *overheat* acende uma luz na cabine de comando e o aquecedor não pode ser ligado novamente até que a manutenção encontre a causa da alta temperatura.

Alguns aquecedores contêm um circuito que previne que o combustível seja injetado na câmara se o sistema de ignição estiver inoperante.

## Manutenção e inspeção do sistema do aquecedor a combustão

A manutenção consiste na verificação de itens de rotina, tais como limpeza dos filtros, verificação do desgaste da vela de ignição e verificação das entradas de ar quanto ao bloqueio. Toda a manutenção e inspeção do aquecedor a combustão deverá ser executada de acordo com o manual de manutenção da aeronave ou quando apresentar algum defeito.

Especial atenção deve ser dada para algum sinal de vazamento de combustível ou trincas na câmara de combustão. Todos os componentes deverão estar fixados e um teste operacional deve ser efetuado. Ao final, é essencial que todos os controles estejam livres para que sejam movimentados e operados.

## 2.3 Sistemas de refrigeração

O sistema de refrigeração do avião pode ser de dois tipos: o sistema de ar condicionado do tipo ciclo de ar e o do tipo a gás *freon*.

O tipo ciclo de ar possui um componente principal que é a máquina de ciclo de ar, em inglês, *air cycle machine* (ACM). Internamente, ela contém um compressor e uma turbina, responsável por refrigerar o ar por meio de expansão térmica. Além disso, possui trocadores de calor ar com ar, que troca calor entre o ar do sistema pneumático que foi sangrado do motor e o ar de impacto do ambiente devido ao movimento do avião.

O sistema de refrigeração do tipo a gás *freon* possui componentes que transformam o gás para o estado líquido e vice-versa, além de um compressor para movimentar o gás no sistema. Ele opera em um sistema fechado, no qual o gás circula constantemente.

### 2.3.1 Sistema de refrigeração do tipo ciclo de ar

Esse tipo de sistema possui componentes que efetuam a refrigeração do ar entregue pelo sistema pneumático. Na maioria das aeronaves de grande porte, o sistema de refrigeração se localiza na parte central da fuselagem, embora possa também estar localizado no nariz do avião. O sistema de refrigeração de uma aeronave se subdivide em dois sistemas internos:

- sistema de refrigeração, onde o ar será resfriado na máquina de ciclo de ar ou *air cycle machine* (ACM);
- sistema de distribuição, onde o ar é repartido para as áreas da cabine de passageiros e do *cockpit*, após sua refrigeração.

Nesse sistema de ar condicionado denominado ACM, o ar externo troca calor com o ar que circula internamente nos dutos do ar condicionado. O sistema de ciclo de ar possui os seguintes componentes:

- a) válvula de controle de fluxo (*pack FCV*);
- b) tomada para entrada e saída de ar de impacto externo (*ram air*);
- c) trocadores de calor primário e secundário;

- d) máquina de ciclo de ar (ACM);
- e) válvula antigelo do sistema (*anti-ice*);
- f) válvula de contorno (*bypass valve*);
- g) reaquecedor (*reheater*);
- h) condensador;
- i) separador de água (extrator de água);
- j) válvula de regulação de temperatura (*trim air valve*);
- k) computador de controle do sistema.

Esses componentes estão demonstrados na Figura 41 a seguir.

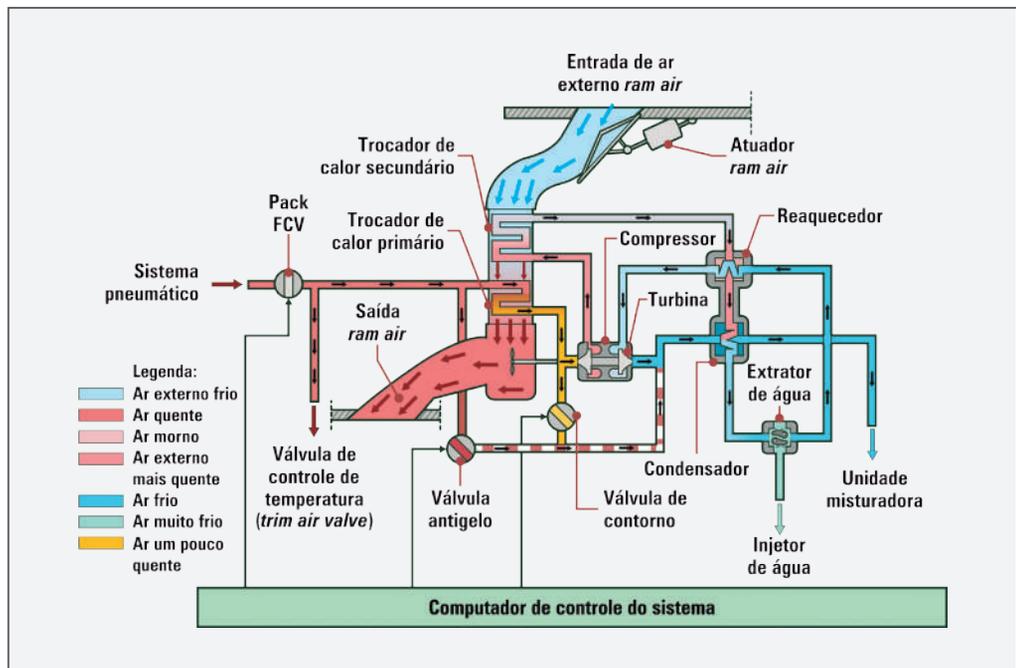


Figura 41 - Esquema dos componentes do sistema de ar

### 2.3.2 Operação dos componentes do sistema

Cada componente do sistema de ciclo de ar opera de forma única no exercício de suas atividades. Sendo assim, ressalta-se a importância de se conhecer a operação e a função de cada um deles na aeronave.

- a) Válvula de corte e controle de fluxo

A válvula de controle de fluxo, chamada em inglês de *pack flow control valve* (FCV), é pneumaticamente operada e eletricamente controlada. Isso significa que um comando elétrico alimenta um motor de torque na válvula, que destrava um solenoide. A válvula, no entanto, só abre com a passagem do ar sobre pressão em seu mecanismo de abertura. A válvula controla a passagem do ar vindo do sistema pneumático com relação à pressão e à temperatura. A FCV também fecha automaticamente se o sistema detectar um su-

peraquecimento. Na Figura 42, é possível observar a válvula de controle de fluxo, bem como a sua localização no sistema de ar condicionado da aeronave.

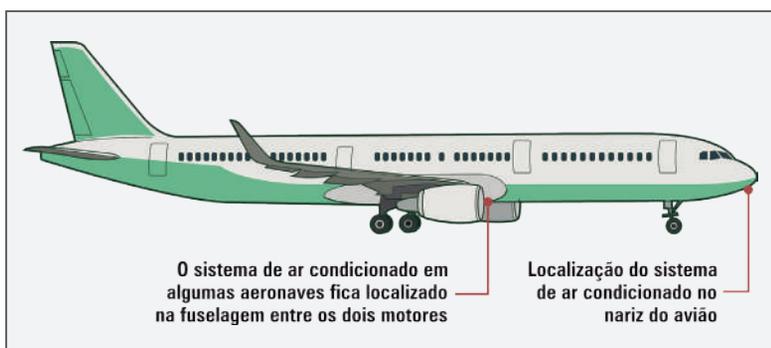


Figura 42 - Sistema de ar condicionado e localização do pack FCV

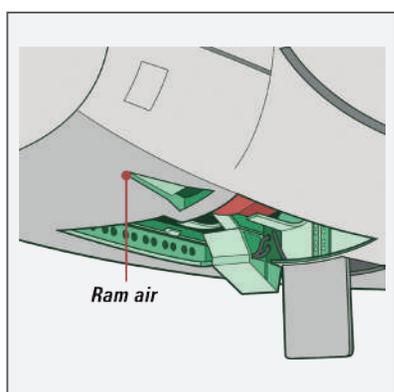


Figura 43.A - Localização do sistema de ar condicionado

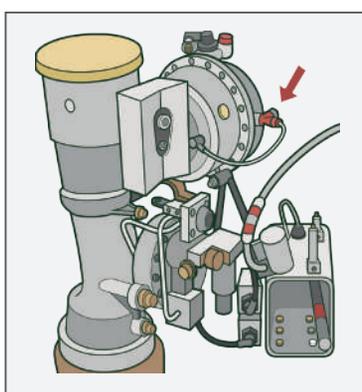


Figura 43.B - Localização do pack FCV

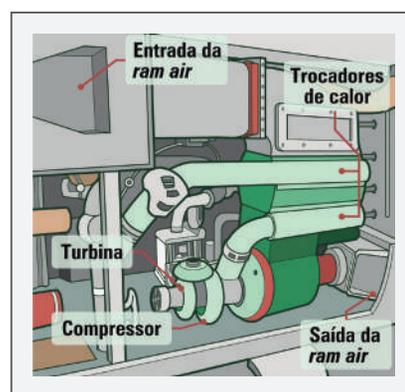


Figura 43.C - Vista do sistema instalado no avião

b) Tomada de entrada e saída do ar de impacto externo (*ram air*).

A entrada de ar de impacto, chamada de *ram air*, permite a admissão do ar externo para que ele possa incidir sobre os trocadores de calor, resfriando, assim, o ar que passa pelo duto. Em solo, como não há ar de impacto, a tomada de entrada e saída fica totalmente aberta. Já em voo, ela varia sua abertura para controlar o fluxo de ar em cima dos trocadores de calor (Figura 44).

c) Trocadores de calor primário e secundário

Existem dois trocadores de calor. Um é o trocador de calor primário, que recebe primeiramente o ar vindo do *ram air*, e o outro é o trocador de calor secundário.

Os trocadores de calor efetuam a remoção do calor do ar que veio do sistema pneumático, diminuindo parcialmente sua temperatura. É um tipo de trocador ar com ar. O ar externo, que está frio, entra na *ram air* e é direcionado para colidir

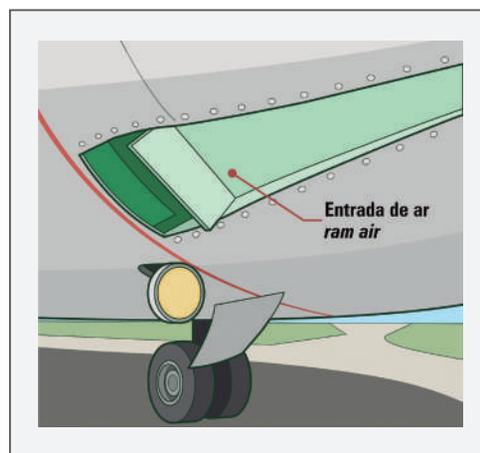


Figura 44 - Localização da tomada de entrada e saída do ar de impacto externo

com os trocadores de calor cujo interior possui ar quente. Neste instante, ocorre uma troca de calor parcial sem que os dois sistemas de ar se misturem (Figuras 45.A e B).

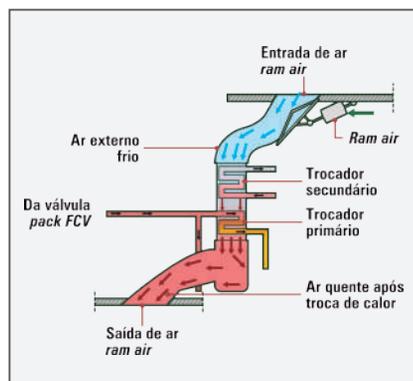


Figura 45.A - Trocadores de calor primário

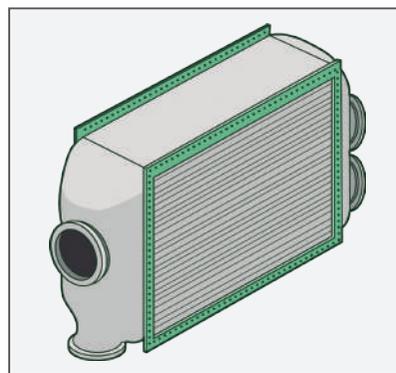


Figura 45.B - Trocadores de calor secundário

d) Máquina de ciclo de ar

A máquina consiste em um compressor, uma turbina e um ventilador ligados no mesmo eixo. O compressor comprime o ar vindo do trocador primário para aumentar a sua demanda ao sistema. Esse processo eleva a temperatura do ar. Após passar pelo compressor, ele é direcionado para o trocador de calor secundário e, depois de passar por alguns componentes, o ar chega à turbina. A turbina extrai a energia desse ar fazendo seu eixo girar e, conseqüentemente, o compressor. Após esse procedimento, o ar sai da turbina, resultando, assim, em sua expansão.

A combinação da perda de energia do ar para girar a turbina e a sua expansão ao sair dela provocam uma queda brusca de temperatura do ar, chegando perto do congelamento.

A máquina de ciclo de ar também tem um ventilador ligado ao mesmo eixo do compressor e da turbina. Assim, a turbina gira o compressor e o ventilador força o ar externo (ar ambiente) a passar pelos trocadores de calor quando a aeronave está parada em solo, pois não existe o ar de impacto para a troca de calor com o sistema (Figuras 46.A, B e C).



**Turbina:** sua função principal é girar o compressor.

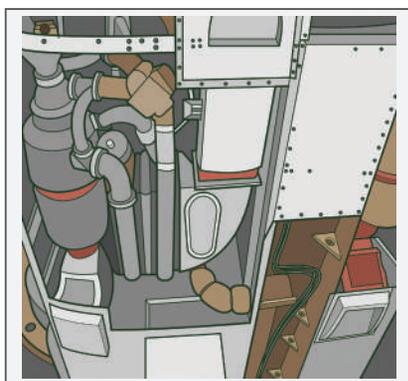


Figura 46.A - Detalhe da ACM e esquema resumido do sistema de compressão e expansão do ar

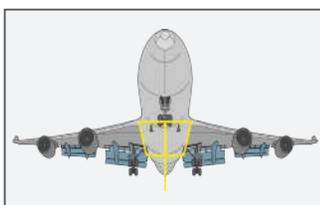


Figura 46.B - Localização do sistema na aeronave

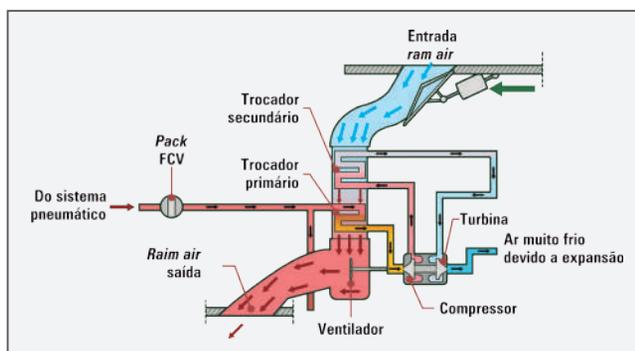


Figura 46.C - Esquema resumido do sistema de compressão e expansão do ar

- e) Válvula de antigelo (*anti-ice*) e válvula de contorno (*bypass valve*).

A válvula antigelo (*anti-ice*) tem como função principal evitar a formação de gelo no condensador ou na saída da turbina. Ela remove o ar quente antes de o ar entrar no trocador de calor primário, conforme demonstrado na Figura 47. Já a válvula de contorno (*bypass valve*) é responsável por regular a temperatura de saída do sistema.

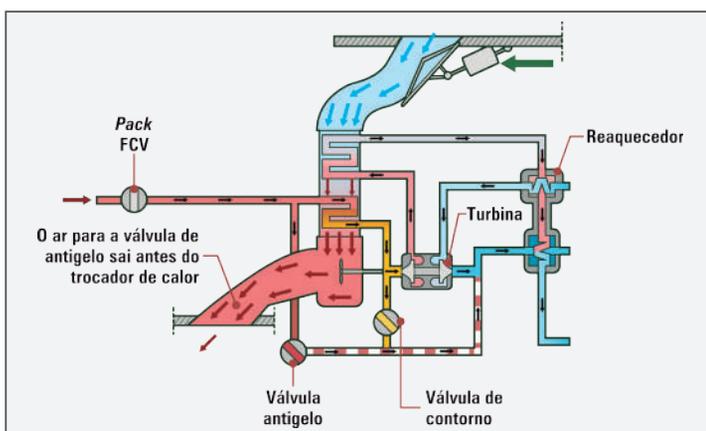


Figura 47 - Válvula antigelo e válvula de contorno

- f) Reaquecedor e condensador

O reaquecedor, em inglês chamado de *reheater*, é um tipo de trocador de calor que aquece o ar para girar a turbina e resfria o que vem do trocador de calor secundário. O *reheater* é usado para aumentar a temperatura do ar antes dele alcançar a entrada da turbina. O objetivo é vaporizar qualquer gota de água remanescente que pode danificar a turbina. Veja-se a Figura 47.

- g) Condensador

O ar passa através de dois trocadores de calor e um *reheater* antes de entrar no condensador, que causa uma queda da temperatura do ar para condensar a água presente no estado de vapor no ar. Isso faz a água se transformar em gotículas (umidade) dentro do sistema.

- h) Separadores de água ou extrator de água

A umidade criada pela passagem do ar através do condensador é removida pelo componente denominado extrator de água. A umidade é separada, pois a água é mais pesada que o ar. Assim, um sistema interno no separador acelera o ar fazendo com que a água seja direcionada para a parede do componente, onde ela é coletada e injetada em forma de *spray* na entrada da *ram air* para melhorar a eficiência dos trocadores de calor. Observe-se a Figura 48.

O separador de água, ou extrator de água, remove a água do ar saturado antes de ele ser enviado para o interior da aeronave. O separador de água não possui partes móveis.



**Condensar:** mudança da água do estado de vapor para o estado líquido.

## 2.4 Operação de um sistema típico do tipo ciclo de ar

A operação da máquina de ciclo de ar se inicia com a abertura da válvula reguladora de fluxo (*pack valve*) no painel de controle do ar condicionado, localizado na cabine de comando. Com a abertura dessa válvula, o *fan* de ventilação que está ligado à turbina e ao compressor começa a sugar o ar exterior através da porta *ram air*, sobretudo para trocar calor com o ar do sistema que passa por dentro do duto.

O ar externo encontra primeiramente o trocador de calor primário e, em seguida, passa pelo trocador de calor secundário, sendo finalmente descarregado para o exterior pela porta *ram air* de saída. O ar que passa por dentro do duto tem sua temperatura reduzida após a troca de calor com o ar de sucção externo que entra pela *ram air*. Após esse processo, o ar é direcionado para o compressor da máquina de ciclo de ar, onde é comprimido para aumentar a demanda de ar no sistema de ar condicionado.

Essa compressão aumenta um pouco a temperatura do ar e, por isso, ele é direcionado para o trocador de calor secundário. Após sua saída, o ar perde um pouco de sua temperatura, embora ainda esteja quente ao encontrar o *reheater*. Esse componente tem a função de reaquecer a temperatura do ar que entra na turbina para uma temperatura controlada, evitando, assim, o congelamento na saída da turbina após o ar sofrer a expansão.

O reaquecedor é composto por duas tomadas de ar que se cruzam em seu interior. Apesar disso, não há mistura de ar. Uma das tomadas reaquece a temperatura do ar que vai sofrer expansão na turbina, enquanto a outra tomada entra no condensador. A unidade denominada condensador também possui duas tomadas de ar que se cruzam, mas não se misturam. Uma das tomadas de ar vem do *reheater*, que libera o ar com certo grau de temperatura. A outra tomada vem da saída da turbina que, devido à expansão do ar, causa uma queda brusca em sua temperatura, chegando próximo ao ponto de congelamento.

Esse encontro da tomada de ar frio com a tomada de ar quente provoca a condensação do ar e cria umidade. Essa umidade é removida pelo extrator de água, que libera esse líquido por meio de um injetor em forma de *spray* na entrada da *ram air*, melhorando a eficiência dos trocadores de calor. Todo esse processo é gerenciado pelo computador de controle, que age nas válvulas antigelo e de contorno com o intuito de controlar a temperatura do ar do sistema.

Esse controle é executado por meio de sensores de temperatura instalados ao longo do sistema. Dessa forma, caso ocorra uma falha de superaquecimento do ar, o computador fecha a válvula de fluxo, interrompendo, assim, o processo de resfriamento do ar. Na Figura 48, é possível visualizar o sistema completo da máquina de ciclo de ar.

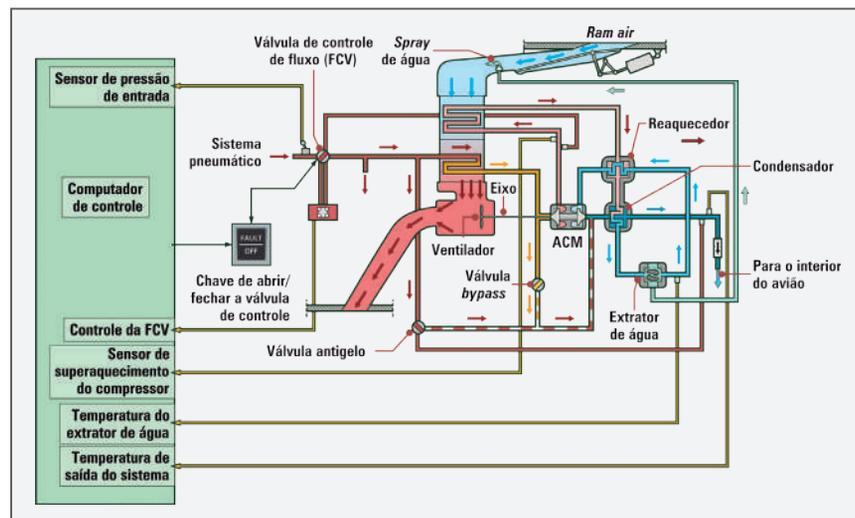


Figura 48 - Esquema da operação da máquina de ciclo de ar e seus componentes

É válido destacar que o ventilador, responsável pela sucção do ar externo para levar aos trocadores de calor quando a aeronave está no solo, às vezes não está ligado no mesmo eixo do compressor e da turbina da ACM. Nesse caso, será necessário adicionar uma válvula chamada *turbo fan*. Essa válvula tem como função sangrar ar do sistema antes que ele possa entrar no trocador primário e descarregá-lo em cima do ventilador, forçando, desse modo, seu funcionamento. Dessa forma,

o ventilador depende da abertura automática dessa válvula. Caso contrário, em solo não haverá ar externo de sucção para os trocadores de calor e o sistema indicará falha de superaquecimento.

## 2.5 Distribuição do ar e controle de temperatura do ar condicionado

Após o ar sair da turbina da ACM, onde ocorreu efetivamente seu resfriamento por causa de sua expansão, ele passa por uma unidade chamada de distribuidor da mistura (*mix manifold*). Essa unidade funciona como um reservatório de distribuição em que o ar fica armazenado para ser distribuído às zonas internas da cabine de passageiros e do *cockpit*.

O nome dessa unidade deriva da utilização do ar que é recirculado após o uso. O ar frio é injetado na cabine de passageiros por cima dos compartimentos internos da fuselagem. Como o ar frio é mais pesado que o ar quente, o ar frio troca calor com os passageiros e o ambiente. Em seguida, ele desce para o porão dianteiro por telas instaladas perto da parede da fuselagem. Nesse porão, há dois *fans* chamados de recirculador (*recirculations fans*), os quais têm a função de recircular o ar que chega ao porão dianteiro. O ar é sugado pelo *fan* que tem um filtro em sua entrada para purificá-lo antes de abastecer o distribuidor da mistura (reservatório).

Esse processo renova o ar e aumenta a demanda do sistema de ar condicionado para pressurizar a fuselagem da aeronave. A quantidade de ar misturado da cabine (recirculado) com o ar condicionado varia de 37% a 51%. Esse sistema é comandado pelo computador de controle. Nas Figuras 49 e 50, observa-se o esquema do sistema, bem como a localização do distribuidor da mistura (*mix manifold*).

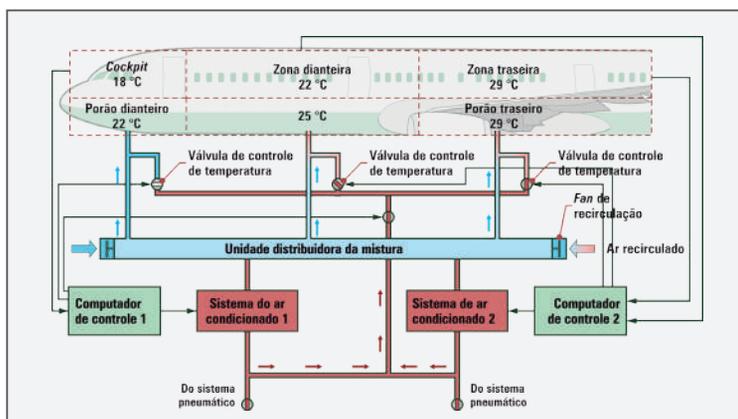


Figura 49 - Esquema com distribuidor da mistura

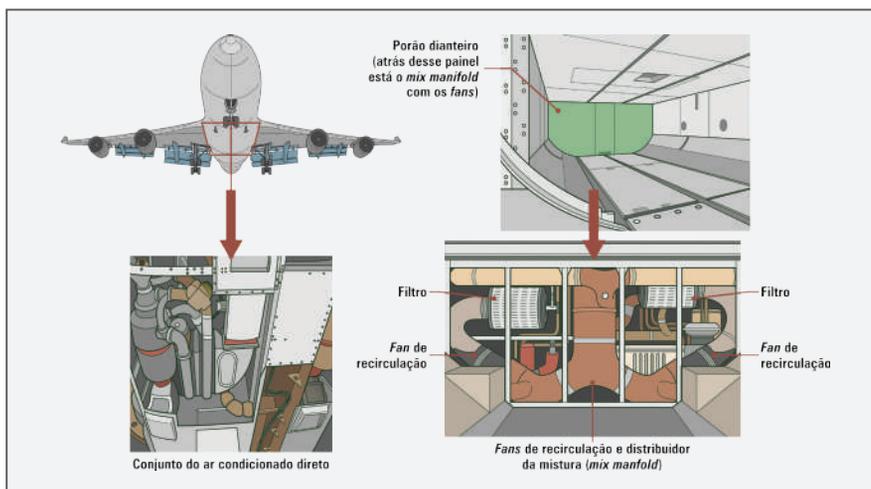


Figura 50 - Localização dos componentes no avião

## 2.6 Regulador de temperatura do ar da cabine e controle do sistema

Quando o ar sai da unidade de refrigeração, ele entra na aeronave com a temperatura baixa, então é necessário um sistema de controle para possibilitar o ajuste de temperatura desse ar que será ventilado no ambiente. Essa é a função da válvula de regulação da temperatura (*trim air valve*).

A válvula é controlada da cabine de comando e tem como função fornecer o ar quente que será misturado com o ar frio, que passou pelo processo de resfriamento na máquina de ciclo de ar. Assim, a *trim air valve*, em português, válvula de ajuste de temperatura do ar, realiza o controle da temperatura do ar que vai para a cabine de passageiros e para a *cockpit*.

O sistema de refrigeração do tipo ciclo de ar também possui um computador de controle. Esse computador tem como função gerenciar o sistema por meio de envio de sinais elétricos para controlar abertura, fechamento e modulação de todas as válvulas do sistema.

Todo sistema de ar condicionado tem de ser capaz de controlar a temperatura do ar que entra no ambiente a ser climatizado. Para que o ar condicionado não se torne incômodo aos passageiros e tripulantes do avião. O sistema é equipado com um controlador de temperatura que monitora a temperatura do ar que entra nas zonas da fuselagem e *cockpit*. O controlador de temperatura atua em cima de válvulas que permitem a passagem do ar quente do sistema pneumático antes de passar pelo trocador de calor primário. Essa mistura de ar quente com ar frio regula a temperatura dos compartimentos internos da aeronave. No *cockpit* existe um painel de controle das válvulas de regulação de temperatura conhecidas como *trim air valves*. Para visualização do painel de controle e esquema do sistema das válvulas de controle de ar quente no sistema, veja-se a Figura 51.

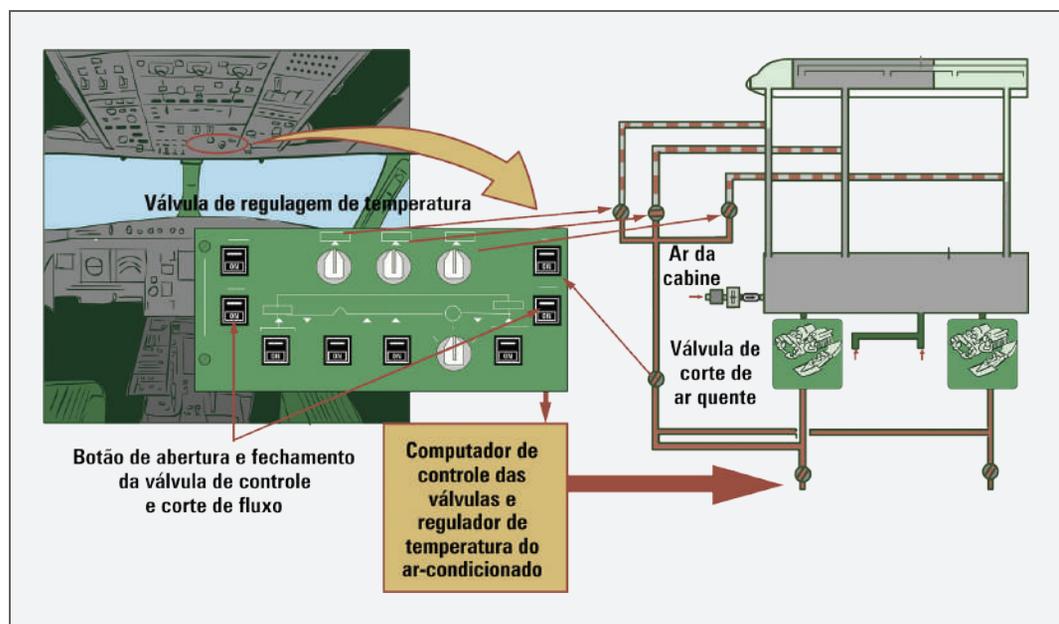


Figura 51 - Painel de controle e esquema do sistema das válvulas

## 2.7 Teoria da refrigeração

A energia pode ser criada, mas não destruída. Ela também pode ser transformada e movida. Esse processo ocorre durante o ciclo de vapor no sistema de ar condicionado do tipo *freon*. A energia em forma de calor é transferida do ar do interior do avião (fuselagem) para o líquido refrigerante. O calor é uma expressão de energia tipicamente medida pela temperatura. Quanto mais alta a temperatura de uma substância, mais energia ela contém. O calor sempre flui da substância mais quente para outra mais fria. Essa comparação de quente e frio expressa a relativa soma de energia presente em duas substâncias. Assim, sem a diferença de temperatura não há transferência de calor, pois as duas substâncias estariam em equilíbrio térmico.

Quando a substância muda seu estado, tal como um líquido que se transforma em vapor, a energia do aquecimento é absorvida. Esse fenômeno é chamado de calor latente. Quando um vapor sofre condensação, ou seja, altera seu estado físico para líquido, a energia de aquecimento é perdida. A temperatura de uma substância permanece constante durante sua mudança de estado e toda a energia absorvida ou perdida (calor latente) é usada nesse processo.

A temperatura na qual uma substância muda do estado líquido para o estado gasoso quando aquecida é denominada ponto de ebulição. A temperatura do ponto de ebulição é a mesma que voltará o vapor para o estado líquido caso o calor seja removido. O ponto de ebulição de algumas substâncias varia diretamente com a pressão. Quando a pressão em cima do líquido aumenta, seu ponto de ebulição também aumenta. Da mesma forma, quando a pressão sobre o líquido diminui, seu ponto de ebulição também diminui.

A título de exemplificação, tem-se a água. Essa substância evapora a 100 °C em uma pressão atmosférica normal de 14,7 psi ao nível do mar. Ao aumentar a pressão em cima da água para 20 psi, ela não mais evapora a 100 °C, pois mais energia é requerida para vencer o aumento de pressão. A água, nesse caso, evapora a aproximadamente 108 °C. O inverso também é verdadeiro, ou seja, ao reduzir a pressão sofrida por um líquido, seu ponto de ebulição também será diminuído. A água pode evaporar a uma temperatura muito baixa simplesmente pela redução da pressão sobre ela. Com somente 10 psi de pressão, seu ponto de ebulição é de 90 °C (Figura 52). Observa-se que uma forma de reduzir a pressão é diminuir a temperatura: quanto mais frio, menor será a pressão sobre uma substância.

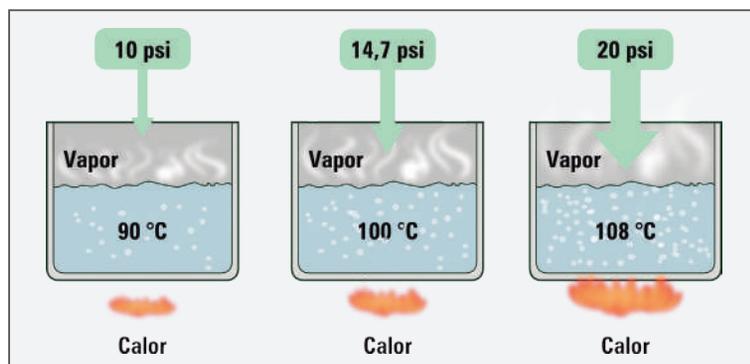


Figura 52 - Água fervendo com mudança de pressão



**Volátil:** capacidade de um líquido de se transformar em vapor.

A pressão de vapor é a exercida por um vapor sobre uma substância que está em um recipiente lacrado a uma dada temperatura. A pressão que o vapor desenvolve é única e varia para cada substância. A substância que é considerada volátil desenvolve uma alta pressão de vapor a uma temperatura padrão de 15 °C ao nível do mar, já que seu ponto de ebulição é muito baixo.

O tetrafluoroetano (**R-134a**) é o gás refrigerante mais comumente usado nas aeronaves com sistema de ar condicionado do ciclo a vapor. Seu ponto de ebulição é de aproximadamente -15 °C a uma pressão de 71 psi. Isso significa que o gás ferverá, absorvendo calor do meio ambiente, se entrar em contato com qualquer substância com temperatura superior a -15 °C.

A pressão do vapor de algumas substâncias varia diretamente com a temperatura. Caso se diminua a temperatura de um recipiente com gás, haverá uma diminuição da pressão interna dele sobre o recipiente. Isso possibilita a ebulição do gás a uma temperatura menor. Ao se balançar um recipiente com gás sobre pressão, nota-se um líquido balançando em seu interior. Esse líquido é o gás que está liquefeito devido à pressão.

## 2.8 Características do sistema de ciclo de vapor a freon

Por muitos anos, o refrigerante denominado diclorofluorometano (**R12**) foi o padrão usado no sistema de ar condicionado no sistema de ciclo a vapor. Alguns desses sistemas permanecem em uso até hoje. O R12 tem um impacto ambiental negativo, sobretudo por degradar a camada de ozônio da Terra. Em muitos casos, ele foi substituído pelo tetrafluoroetano (**R-134a**), que é menos nocivo ao meio ambiente. O R12 e o R-134a nunca devem ser misturados devido ao risco de danificar as mangueiras e os selos, resultando, dessa forma, em vazamentos e mau funcionamento do sistema. É importante usar somente o refrigerante especificado pelo manual de manutenção da aeronave.

Os gases R12 e R-134a se comportam de forma similar. Essa similaridade é evidenciada na descrição do R-134a usado no sistema de ar condicionado de ciclo a vapor e seus componentes, que também se aplica ao sistema e componentes do R12.

Em decorrência do seu baixo ponto de temperatura de ebulição, é necessário ter cuidado ao manusear algum gás refrigerante. O líquido refrigerante evapora violentamente em contato com a temperatura e pressão ambientes. Ele rapidamente absorve o calor e, em contato com a pele, pode congelá-la, ocasionando queimaduras. Assim, o uso de luvas e óculos de proteção, bem como de outros acessórios, é requerido quando se trabalha com gás refrigerante.

Neste tópico, utilizar-se-á como exemplo o gás R12, também encontrado em refrigeradores. Na primeira situação apresentada no esquema da Figura 45, observa-se o gás R12 no estado liquefeito dentro de um evaporador em temperatura ambiente de 25 °C com pressão de 79 psi. Sob essas condições, com o registro fechado nada acontece. Ao abri-lo um pouco para deixar vazar o gás, suponha-se que a pressão caiu de 79 psi para 38 psi. A redução da pressão acarreta a diminuição do ponto de ebulição desse gás para 5 °C. Como consequência, ele ferverá absorvendo qualquer calor superior a esses 5 °C, conforme demonstrado na segunda situação da Figura 45.

Ao abrir todo o registro até a pressão atingir 3 psi, o gás R12 ferverá à temperatura de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , absorvendo qualquer calor maior que esse valor. Esse fenômeno está demonstrado na terceira situação das Figuras 53.A, B e C. Como o registro se encontra completamente aberto, o gás evapora para o ambiente. Caso se deseje que o evaporador permaneça frio, deve-se colocar mais gás em seu interior.

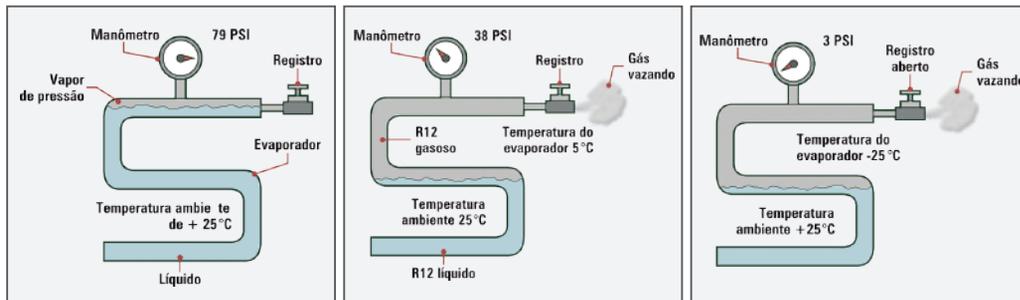


Figura 53.A - Gás R12 sobre pressão de 79 psi

Figura 53.B - Gás R12 sobre pressão de 38 psi

Figura 53.C - Gás R12 sobre pressão de 3 psi

Para manter o gás circulando, deve-se pegar o gás evaporado e aumentar sua pressão. Esse processo condensará o gás, fazendo-o voltar novamente ao estado líquido, podendo, assim, ser reintroduzido no evaporador. Isso será feito com a introdução de um compressor no sistema, ligado na saída do evaporador no lugar do registro manual. Esse compressor servirá para comprimir e sugar o gás do interior do evaporador, aumentando sua pressão. Além disso, ele fornecerá gás com alta pressão a uma unidade chamada de condensador. Essa unidade receberá esse gás do compressor e absorverá seu calor, ficando aquecida. Ressalta-se que o calor do aquecimento do condensador é dissipado para o meio ambiente.

Suponha-se que um compressor tenha aumentado a pressão do R12 para 142 psi. Nessa pressão o gás ferverá a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se a temperatura ambiente for inferior a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o gás retornará ao estado líquido, condensando na terceira ou quarta volta do condensador. Dessa forma, ele estará pronto para ser reintroduzido no evaporador com o intuito de recomeçar o processo de refrigeração. O sistema de ciclo a vapor manterá a pressão de circulação devido ao fato da pressão do condensador ser maior que a pressão presente do lado do evaporador.

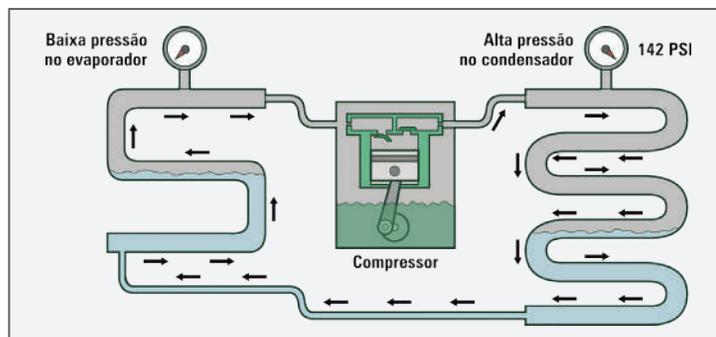


Figura 54 - Esquema básico do sistema de ar condicionado de ciclo a vapor

## 2.8.1 Componentes de um sistema a *freon*

O sistema ciclo de vapor a *freon* é responsável por refrigerar o ar da aeronave e seu sistema é semelhante, a princípio, ao empregado em refrigeradores e ares-condicionados caseiros. Ele é

composto de reservatórios receptor e secador, válvula de expansão, evaporador, compressor e condensador. Cada componente exerce uma função específica e, portanto, é importante conhecê-los com o intuito de compreender o funcionamento completo do sistema.

a) *Receiver dryer* (reservatório receptor e secador)

O *receiver dryer* atua como um reservatório do sistema de ciclo a vapor. Ele está localizado depois do condensador e antes da válvula de expansão (Figura 55). A temperatura muito alta requer mais substância refrigerante do que a temperatura moderada. Assim, um refrigerante extra no estado líquido é estocado no *receiver dryer* para este propósito. Esse refrigerante líquido vem do condensador e flui para dentro do *receiver dryer*. Uma vez nele, a substância refrigerante passa por meio de um filtro e de um material dessecante. O filtro remove as partículas estranhas que eventualmente possam estar no sistema. Já o material dessecante é responsável por capturar algum resquício de água no líquido refrigerante. A presença dessa água pode causar dois problemas. Primeiramente, o refrigerante combina com a água para formar ácido. Se esse ácido entrar em contato internamente com os componentes e tubos, ele os deteriorará. O segundo problema com a água é que ela pode formar gelo e bloquear o fluxo de refrigerante no sistema, deixando-o inoperante. O gelo representa um problema maior se for criado no orifício da válvula de expansão, onde está muito frio devido ao ciclo do sistema.

Ocasionalmente, um vapor pode ser encontrado dentro do *receiver dryer*, pois o refrigerante no estado gasoso pode não ter mudado completamente para líquido no condensador. Dessa forma, um tubo instalado dentro do *receiver dryer* puxa o líquido do fundo do reservatório, garantindo, desse modo, que somente o líquido será entregue à válvula de expansão.

Um visor de vidro na parte superior do *receiver dryer* permite ao técnico em manutenção verificar a quantidade de refrigerante líquido que há no sistema. Quando a quantidade é alta, o líquido flui no visor e, caso se tenha uma quantidade baixa, o tubo de sucção sugará vapor junto com o líquido do fundo do *receiver dryer* e bolhas serão vistas no visor de vidro. Portanto, bolhas no visor indicam que o sistema necessita da adição de mais refrigerante.

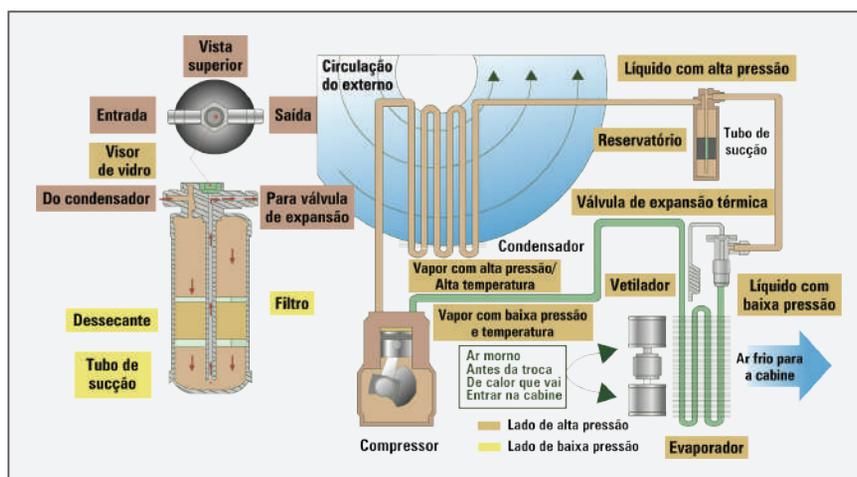


Figura 55 - Esquema do reservatório *receiver dryer*

b) *Expansion valve* (válvula de expansão)

O líquido refrigerante sai do *receiver dryer* e flui para a válvula de expansão, que possui um termostato. Ele tem um orifício por meio do qual passa certa quantidade de refrigerante para obter máximo resfriamento. Esse processo é executado pelo monitoramento da temperatura dos gases refrigerantes na saída do evaporador, que é o próximo componente. O ideal é que a válvula de expansão deixe no evaporador somente a quantidade de refrigerante necessária para ser transformada em vapor.

A temperatura do ar da cabine, que precisa de refrigeração, é que determina a quantidade de refrigerante que a válvula de expansão deverá entregar em forma de *spray* para o evaporador. Assim, o evaporador transforma o líquido refrigerante em vapor. No entanto, se a quantidade de líquido em forma de *spray* entregue ao evaporador for insuficiente, o refrigerante ficará superaquecido quando transformado em vapor durante sua passagem pelo evaporador. Isso provocará a ineficiência do sistema, pois o ar da cabine do avião que passa por esse componente trocará calor com o vapor. Se esse vapor estiver superaquecido, o resfriamento do ar da cabine não será suficiente.

Por outro lado, se a válvula de expansão liberar muito líquido em forma de *spray* para o evaporador, esse excesso não será transformado em vapor durante sua passagem por esse componente, permanecendo assim no estado líquido. Isso poderá ocasionar danos ao componente seguinte, o compressor, já que sua função principal é comprimir somente vapor. O líquido não permite compressão, conforme comprovado na mecânica dos fluidos. Um fluido incompressível é qualquer líquido cuja densidade sempre permanece constante com o tempo e tem a capacidade de opor-se à compressão sob qualquer condição. Se o líquido for admitido pelo compressor, ele poderá ser danificado, pois é incompressível.

A válvula de expansão é regulada automaticamente por um termostato, que sente a temperatura do vapor na saída do evaporador e regula a quantidade de líquido em forma de *spray* que essa válvula liberará. Isso varia de acordo com o aumento da temperatura do vapor (pouco vapor no evaporador) ou sua redução, lembrando que muito vapor no evaporador pode resultar em danos no compressor. Nas Figuras 56.A e B, é possível observar o esquema da válvula de expansão bem como seu funcionamento.

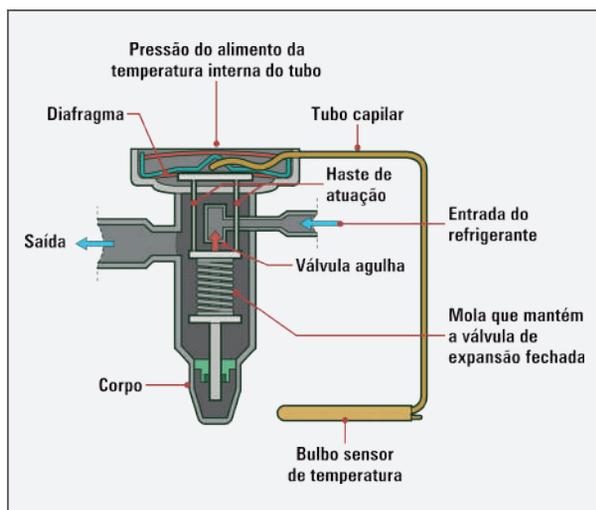


Figura 56.A - Esquema da válvula de expansão visão interna

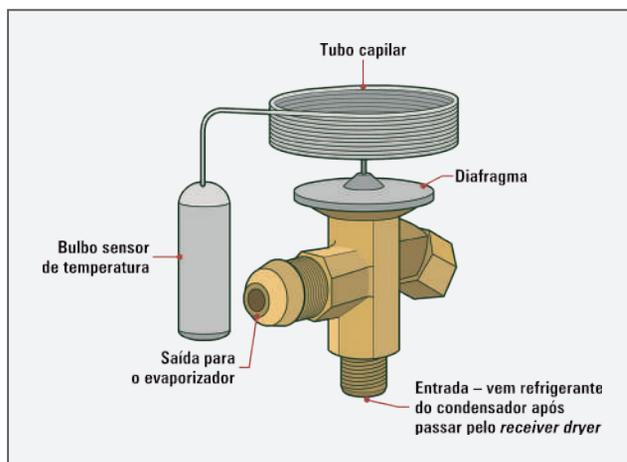


Figura 56.B - Válvula de expansão visão externa

Para regular a válvula de expansão, o termostato funciona da seguinte maneira: um tubo capilar é enrolado em forma de bobina com uma substância volátil no seu interior e, em seguida, ele é colocado na saída do evaporador para sentir o aumento ou diminuição da pressão com a mudança de temperatura. Uma perna da bobina do tubo capilar é fixada na saída do evaporador e a outra perna é fixada a um diafragma de pressão na parte interna da válvula de expansão. Quando o refrigerante superaquece, o vapor alcança a perna do tubo capilar na saída do evaporador. Isso resulta na elevação da temperatura e na transformação em vapor da substância volátil no interior do tubo capilar. Além disso, há um aumento na pressão interna do tubo.

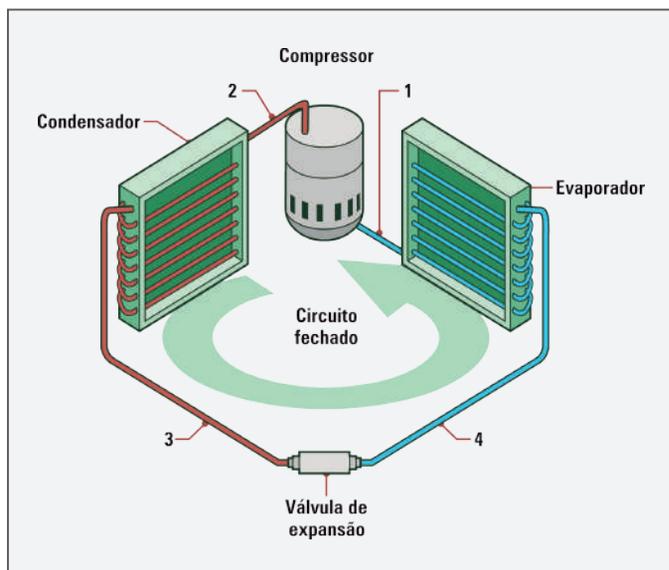


Figura 57 - Esquema completo do sistema de ciclo a vapor

Este aumento de pressão causa um aumento de força em cima do diafragma que se encontra no interior da válvula de expansão, vencendo assim a tensão da mola que mantém a **válvula agulha** fechada. O aumento de pressão força a abertura da válvula agulha, liberando mais *spray* refrigerante para o evaporador e evitando o superaquecimento do vapor. Quando muito líquido refrigerante é liberado pela válvula de expansão, sua baixa temperatura é sentida na saída do evaporador. Isso resulta em uma baixa pressão no interior do tubo capilar e, conseqüentemente, sobre o diafragma da válvula de expansão. Assim, a válvula agulha é fechada pela ação da mola, reduzindo o fluxo de refrigerante dentro do evaporador. Na Figura 57, é possível observar o esquema completo do sistema de ciclo a vapor.

### c) Evaporador

A maioria dos evaporadores é feita de alumínio ou cobre. Aletas são fixadas para aumentar a área e facilitar uma rápida troca de calor entre o ar que vai entrar na cabine do avião e o refrigerante passando pela parte interna do evaporador. A válvula de expansão localizada na entrada desse componente libera o refrigerante à alta pressão e temperatura para o evaporador. Como o refrigerante absorve o calor do ar que vai entrar na cabine de passageiros, ele diminui sua pressão na mudança para vapor. Esse vapor sai do evaporador e é direcionado para o compressor.

A temperatura e a pressão sentidas na saída do evaporador é quem regula a válvula de expansão. O evaporador é instalado de forma a permitir que o ar da cabine do avião seja puxado por um ventilador que força a passagem desse ar por meio do evaporador. Em seguida, há a liberação do ar frio para a cabine da aeronave. Essa saída do ar pode ser direta, quando o evaporador é localizado na parede da cabine. No entanto, se ele estiver instalado remotamente, serão necessários dutos para realizar a ligação entre a cabine e esse componente.

O ar frio, às vezes, pode ser introduzido em um sistema de distribuição que o permite sair diretamente sobre os ocupantes do avião por meio de saídas de ar individuais.



**Válvula agulha:** tipo de válvula de regulação de passagem de fluido de alta precisão.

Nesta configuração, o sistema do ar condicionado de ciclo a vapor pode ser instalado na dianteira ou na traseira da cabine, assim como também é instalado um painel com os comandos de ligar e desligar o ventilador para controle do comandante.

Na configuração apresentada na Figura 58, há um sistema de ar condicionado de um pequeno jato que possui dois evaporadores no ciclo a vapor com saídas de ar integradas no sistema de distribuição, além de um painel de controle instalado no *cockpit* que liga e desliga os ventiladores do sistema.

Quando o ar da cabine é resfriado devido a sua passagem pelo evaporador, esse componente não pode reter a água que está no ar em forma de vapor. Como resultado, a água condensa na saída dele e necessita ser coletada e drenada para a parte externa da aeronave. Em aviões pressurizados, o evaporador pode conter uma válvula nas linhas de dreno de água que abre periodicamente para descarregá-la, mantendo a pressurização da aeronave. As aletas para troca de calor do evaporador não podem apresentar danos, pois isso inibiria o fluxo de ar. A contínua circulação de ar quente que vai para a cabine pelas aletas do evaporador mantém a água condensada, ou seja, no estado líquido, evitando assim a formação de gelo. A presença de gelo no evaporador reduz a eficiência dos trocadores de calor para o refrigerante.

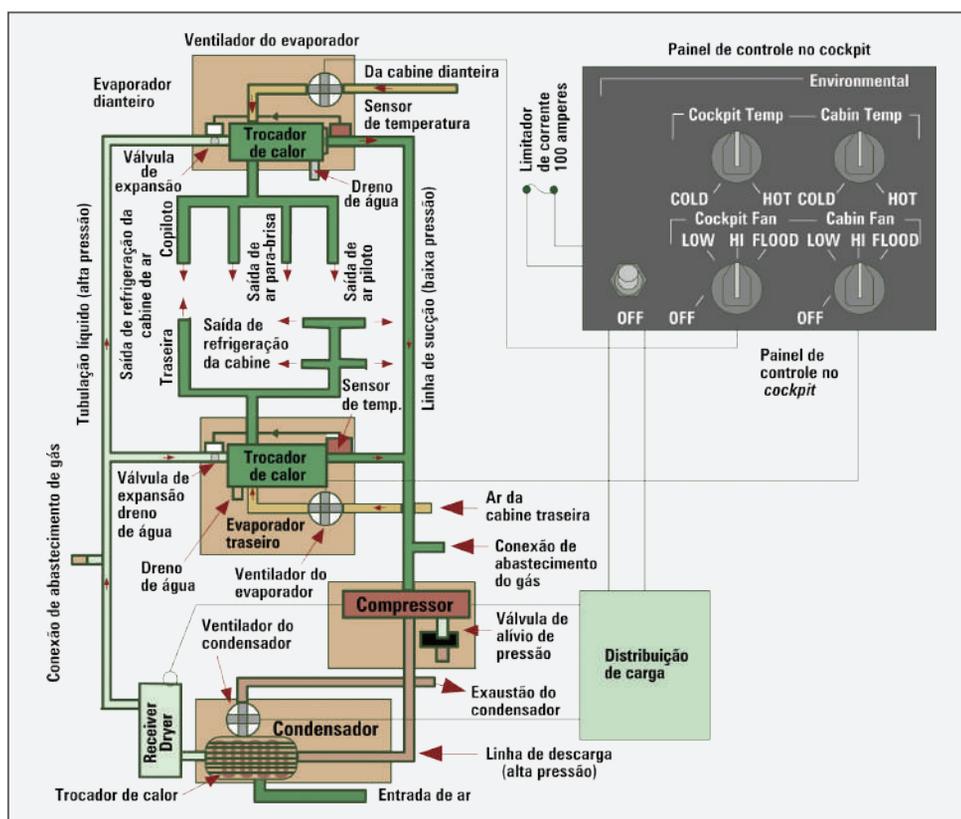


Figura 58 - Esquema completo do sistema de ar condicionado de ciclo a vapor

Quando se está dentro de um carro com os vidros fechados e começa a chover, observa-se que as janelas começam a embaçar. Isso ocorre por causa do ar quente no interior do veículo que deixa as moléculas de água no estado gasoso. Quando o vapor quente dentro do carro encontra a superfície fria da parte externa dos vidros, o vapor de água do

interior do carro condensa, ou seja, se transforma em gotículas de água que embaçam a janela. Esse processo também é observado ao se tomar um banho quente, em que os espelhos e vidros do banheiro também embaçam.

Esse mesmo fenômeno ocorre no evaporador. Quando o ar quente do exterior circula por ele, onde contém refrigerante que ferve a baixíssimas temperaturas, esse refrigerante se transforma em vapor e troca calor com o ar externo. Nessa troca de calor, o vapor de água externo condensa e volta a ser líquido na saída do componente. Com o intuito de evitar a formação de gelo, ela é removida e drenada para a parte externa do sistema.

## 2.8.2 Compressor

O compressor é o coração do sistema de ar condicionado do tipo ciclo a vapor. Ele faz circular o refrigerante pelo sistema. O compressor recebe o refrigerante do evaporador na forma de vapor com baixa pressão e temperatura e o comprime. Conforme a pressão aumenta, sua temperatura também se eleva. A temperatura de ebulição do refrigerante fica acima da temperatura externa. O refrigerante então flui do compressor para o condensador, onde ele troca calor com o ar externo e se condensa.

O compressor é a divisão entre os pontos de alta e baixa pressão do sistema de ar condicionado do tipo ciclo a vapor. Frequentemente, o sistema tem conexões para acoplamento externo de unidade para efetuar reabastecimento ou demais serviços no sistema. Estas conexões permitem o reabastecimento de refrigerante se a pressão do lado de alta ou baixa pressão do sistema estiver fora do padrão especificado no manual de manutenção. Os compressores são acionados pelo motor ou por motores elétricos. Ocasionalmente, utiliza-se um compressor operado hidraulicamente.

### a) Compressor acionado pelo motor por meio de correia

Um típico compressor acionado pelo motor de uma aeronave é similar ao que é encontrado em um automóvel. Ele se localiza no compartimento do motor e é acionado por correia pela árvore de manivela do motor convencional. Uma embreagem eletromagnética acopla o compressor ao sistema quando o ar condicionado é ligado, fazendo-o funcionar. Quando o refrigerante é suficiente, o compressor é desligado pelo desacoplamento da embreagem. Neste caso, a correia gira o eixo do compressor, no entanto o compressor em si não gira, pois a embreagem está desacoplada (Figura 59.A).

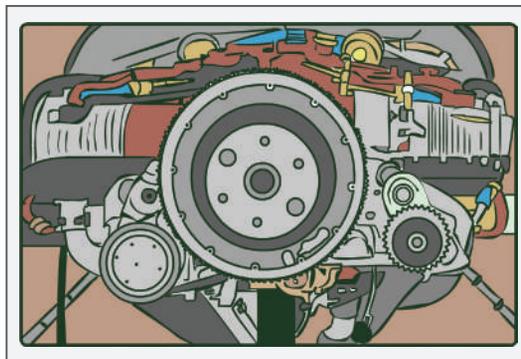


Figura 59.A - Compressor acionado pelo motor por meio de correia

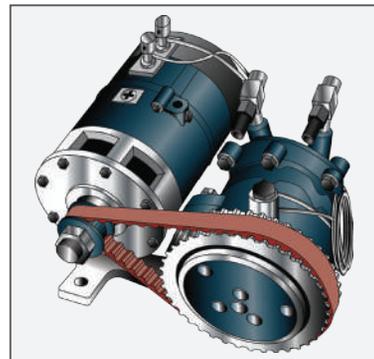


Figura 59.B - Compressor acionado por intermédio de motor elétrico

b) Compressor acionado por um motor elétrico

O compressor também pode ser acionado por um motor elétrico, que permite a instalação do compressor em qualquer parte da aeronave. O motor elétrico é acionado da cabine de comando por uma chave e, automaticamente, ele aciona o compressor (Figura 59.B).

c) Compressor acionado hidraulicamente

Esse tipo de compressor também pode estar localizado em qualquer lugar na aeronave e ele é acionado por linhas do sistema hidráulico. Uma chave ativa um solenoide que permite que o fluido hidráulico acione o compressor ou o contorne (*by pass*), quando não é necessário seu acionamento. Isso permite o controle da operação do compressor acionado hidraulicamente.

Os compressores, independentemente do tipo de acionamento, usam internamente uma bomba tipo pistão para comprimir o vapor (Figuras 60.A, B e C). Por isso, é necessário prover o compressor de lubrificação, então o óleo é abastecido no compressor junto com o refrigerante e circula com ele pelo sistema. A árvore de manivelas que aciona o pistão necessita de lubrificação. Assim, o nível de óleo lubrificante deve ser verificado e ajustado pelo técnico em manutenção de aeronaves de acordo com as instruções do manual de manutenção.

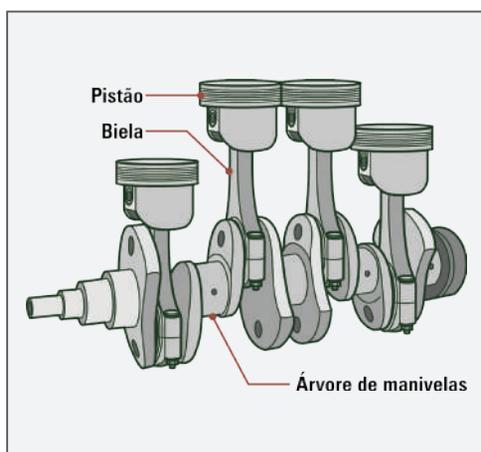


Figura 60.A - Visão real de partes de um compressor

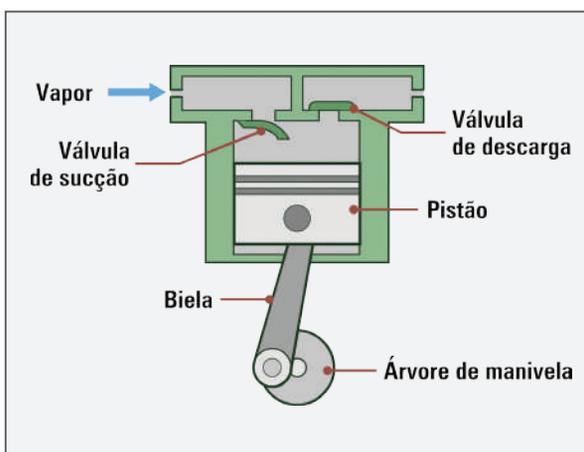


Figura 60.B - Partes internas de um compressor

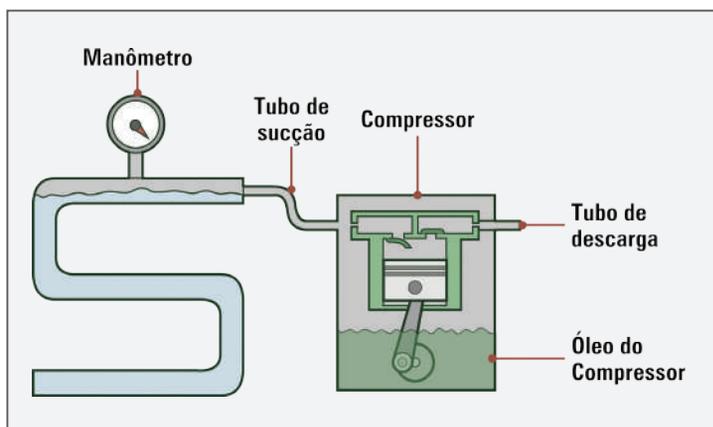


Figura 60.C - Esquema das partes de um compressor

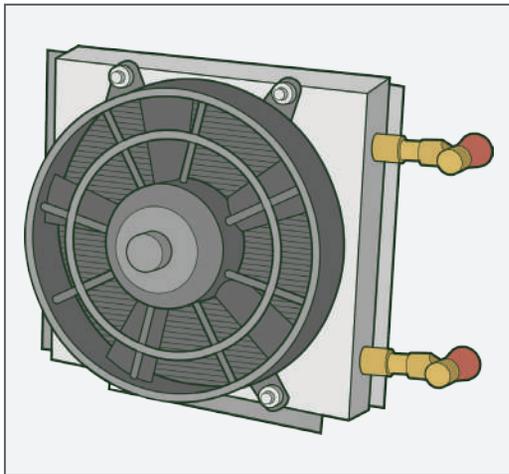


Figura 61.A - Representação do condensador com ventilador acoplado

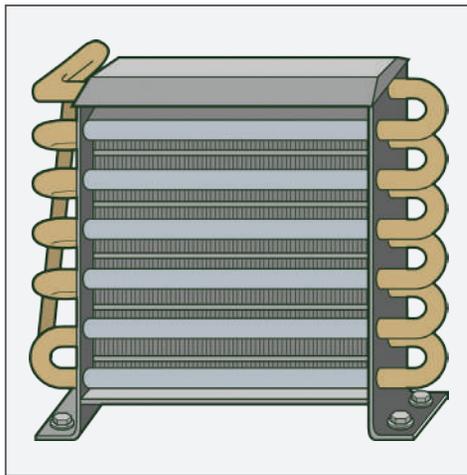


Figura 61.B - Representação do condensador

### 2.8.3 Condensador

O condensador é o componente final do sistema de ciclo a vapor. Ele é uma espécie de radiador e se posiciona no sistema de forma que o ar externo flua sobre ele. O condensador absorve o calor do refrigerante, que está com alta temperatura e pressão após passar pelo compressor. Um ventilador é usualmente incluído para forçar a passagem do ar através do condensador, durante a operação da aeronave em solo. O ar externo absorve calor do refrigerante que está fluindo pelo condensador. A perda de calor provoca a mudança do estado físico do refrigerante, fazendo-o se transformar em líquido novamente. O refrigerante com alta pressão deixa o condensador e flui para o *receiver dryer*.

Nas Figuras 61.A e B, há a representação do condensador em si e do condensador com um ventilador acoplado.

## 2.9 Inspeção do sistema de ciclo a vapor

A manutenção do sistema de ciclo a vapor requer a verificação de diversos componentes. A seguir será demonstrado cada um.

### a) Tensão da correia de ligação do compressor

Com o tempo, a correia perde a tensão e isso influencia no desempenho do sistema de ar condicionado, pois o funcionamento do compressor é por meio da correia. Existem duas maneiras para inspecionar a correta tensão da correia de acionamento do compressor.

Uma forma é verificar se a tensão pode ser inspecionada pelo uso de uma balança de mola calibrada com gancho que deverá ser colocado em um ponto mediano da correia entre o compressor e a polia de acionamento. Após a instalação do gancho da balança no local indicado, ele deverá ser puxado perpendicularmente para baixo para verificação da leitura de sua deflexão na escala da balança. Se a tensão não estiver correta, deve-se fazer o ajuste da tensão da correia, consultando o manual de manutenção.

A outra maneira é por meio da utilização de um tensiômetro, que deverá ser instalado em um lado mediano da correia e puxado perpendicularmente para baixo. A partir disso, o técnico deve efetuar a leitura da tensão aplicada na correia, que para os dois métodos deverá ser de 0,12 polegadas de deflexão da correia quando a força perpendicular de 3,6 a 4,4 libras for aplicada. Consultar o manual de manutenção para o correto valor da leitura a ser obtido.

b) Quantidade de fluido refrigerante no sistema

A quantidade de fluido refrigerante deverá ser inspecionada em intervalos de tempo estipulado pelo fabricante. Precauções de segurança deverão ser observadas quando for necessário o manuseio ou abastecimento do fluido refrigerante.

A normal pressão atmosférica e temperatura do líquido refrigerante expandirá e absorverá calor. Como resultado, o refrigerante congelará se mantiver contato com alguma matéria. O técnico de manutenção deverá usar roupas de proteção, óculos, luvas para proteger pele e olhos.

Extrema atenção deverá ser dispensada na limpeza para evitar contaminação do sistema quando ocorrer a recarga de gás ou a substituição de algum componente. Todas as mangueiras que forem desconectadas no sistema deverão ser tampadas com bujões para evitar a entrada de sujeira e umidade.

c) Abastecimento de óleo de lubrificação do compressor.

Se um novo compressor estiver sendo instalado, os passos descritos devem ser seguidos:

- executar o dreno do óleo do compressor novo, que é abastecido com aproximadamente seis onças de fluido de preservação, para evitar danos a sua parte interna quando estão estocados;
- abastecer o compressor com o óleo especificado no manual de manutenção da aeronave;
- não deixar a lata de óleo especificado pelo fabricante aberta. Pois, o óleo absorve umidade;
- não operar o sistema sem óleo de lubrificação no compressor.

## 2.10 Reabastecimento

Todo ar condicionado do tipo ciclo a vapor é um sistema fechado. Portanto, o acesso é requerido para se efetuar a manutenção. O serviço é executado por meio do uso de duas válvulas de serviço, sendo uma delas localizada no lado de alta pressão do sistema e a outra no lado de baixa pressão. Um tipo comum de válvula usado no ciclo a vapor que opera com o refrigerante R12 é a *Schrader valve*, que se assimila à válvula utilizada para inflar pneus (Figuras 62.A e B).

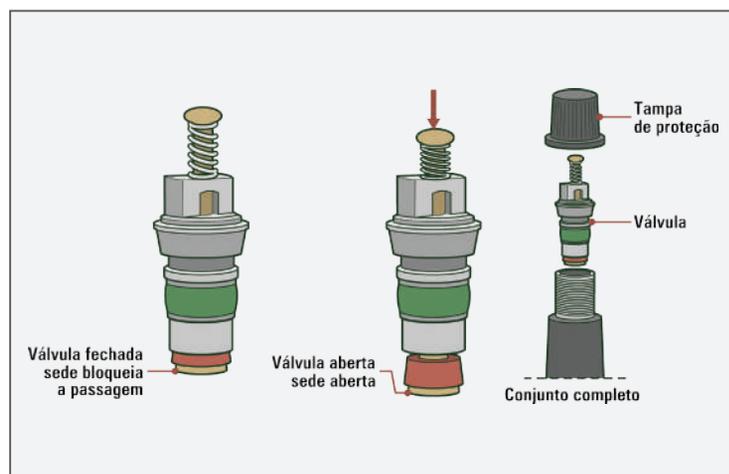


Figura 62.A - Visão externa da válvula Schrader para refrigerante R12

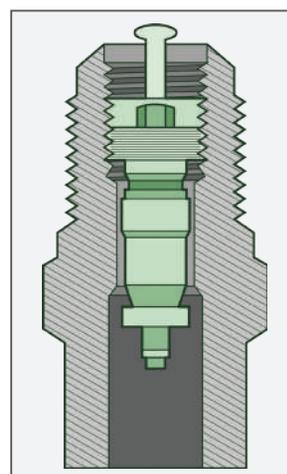


Figura 62.B - Visão interna da válvula Schrader para refrigerante R12

Essa válvula fecha ou abre a passagem do ar pelo movimento de sua haste. Um pino na mangueira que será acoplada à válvula para abastecimento do sistema é responsável por sua abertura, removendo a válvula de sua base. Quando não está em uso, ela é protegida por uma tampa aparafusada em sua rosca. O sistema que usa o refrigerante R134a utiliza válvulas de serviço similares a *schrader valve*. No entanto, para a segurança do sistema, os fios de rosca das válvulas para o R12 e R134a são de tamanhos diferentes para evitar a mistura dos refrigerantes. A fixação das válvulas do refrigerante R134a é do tipo de desconexão rápida (*quick-disconnect valve*).

Outro tipo de válvula é a chamada válvula de isolamento do compressor, que é usada em algumas aeronaves e serve para dois propósitos. O primeiro permite o abastecimento do sistema com refrigerante. O segundo isola o compressor para verificação do nível de óleo e seu reabastecimento sem abrir o sistema, evitando assim a perda da carga de refrigerante.

A válvula de isolamento do compressor tem três posições:

- quando completamente aberta, permite o fluxo de refrigerante no sistema a vapor;
- quando completamente fechada, isola o compressor do resto do sistema, permitindo seu abastecimento com óleo ou remoção desse óleo para troca sem perda de refrigerante;
- quando na posição intermediária, permite o acesso ao sistema para manutenção. O sistema pode ser operado com a válvula nesta posição, mas deverá ser retornada à posição normal posteriormente (Figuras 63.A, B e C).

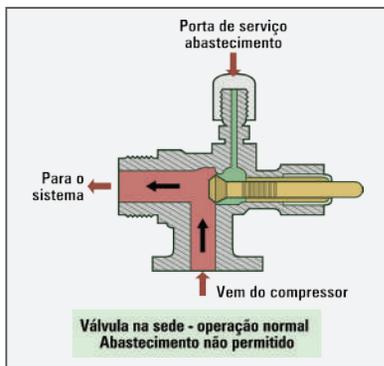


Figura 63.A - Válvula de isolamento do compressor na posição normal

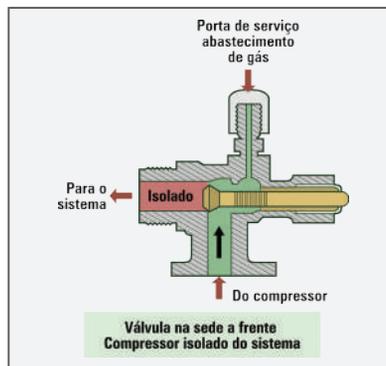


Figura 63.B - Válvula de isolamento do compressor isolada do sistema

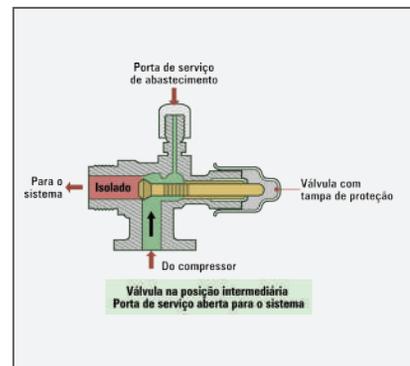


Figura 63.C - Válvula de isolamento do compressor aberta para o sistema

## 2.11 Conjunto de distribuição

Um equipamento especial é utilizado para efetuar o abastecimento do sistema com refrigerante. O conjunto do equipamento de distribuição para abastecimento do refrigerante inclui três mangueiras, duas válvulas seladas e dois manômetros.

As válvulas são posicionadas para isolar ou conectar a mangueira central com o lado do sistema. As mangueiras são conectadas às válvulas de abastecimento no sistema de ciclo a vapor. A ligação da mangueira central do equipamento de distribuição é conectada ao recipiente que

contém o gás refrigerante ou a uma bomba de vácuo, dependendo do serviço que será executado. Todo o serviço de reabastecimento do refrigerante é realizado pela operação manual das válvulas do equipamento (Figura 64). Destaca-se que a pressão atmosférica ao nível do mar é de 29,92 polegadas de mercúrio. Isso significa que a atmosfera exerce essa pressão sobre os corpos.

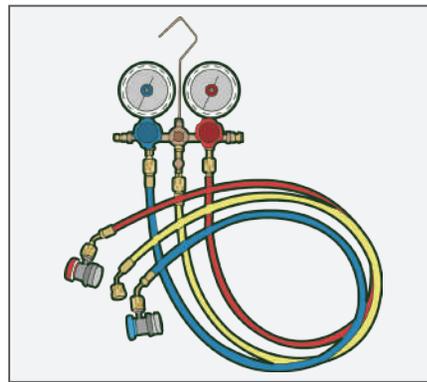


Figura 64 - Equipamento básico de distribuição para serviço no ar condicionado de ciclo a vapor

## 2.12 Operação dos manômetros do equipamento de distribuição

Os manômetros do equipamento ou, em inglês, *manifold set*, são usados nas leituras dos lados de baixa e alta pressão do sistema. O manômetro para leitura do lado de baixa pressão indica a pressão acima ou abaixo da pressão atmosférica. O manômetro do lado de baixa é graduado em polegadas de mercúrio de zero a 30 pol/Hg. Essa escala é para indicar vácuo, sendo a marcação de 29,92 polegadas igual a um vácuo absoluto (pressão de zero absoluto). Acima da pressão da atmosfera, o manômetro é graduado para leitura em psi (libras por polegadas quadrada). Sua escala de leitura vai de zero a 60 psi, embora tenha alguns manômetros com escala de leitura até 150 psi.

O manômetro de leitura para o lado de alta pressão tem uma escala de zero a 500 psi e ele não indica vácuo, ou seja, pressão abaixo da pressão da atmosfera (Figuras 65.A e B).



**Pressão de zero absoluto:**  
a altura que o mercúrio subiu em um tubo com a pressão da massa de ar sobre o nível do mar é de 29.92 polegadas. Foi o físico italiano Evangelista Torricelli que determinou a pressão atmosférica ao nível do mar.

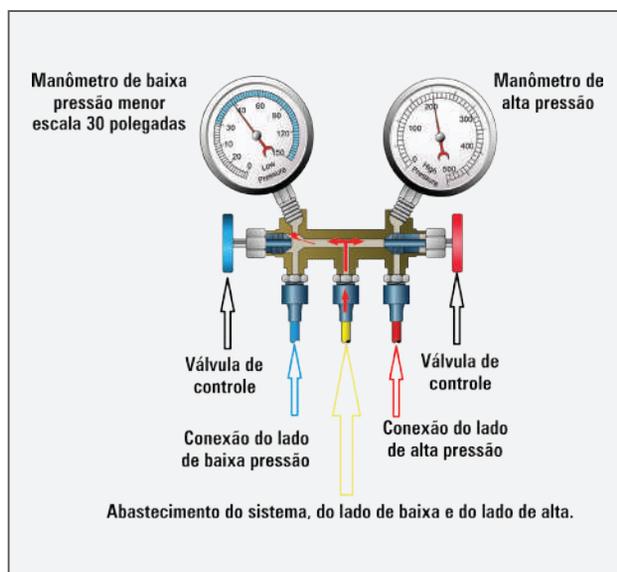


Figura 65.A - Equipamento especial utilizado para abastecimento do gás refrigerante e suas partes

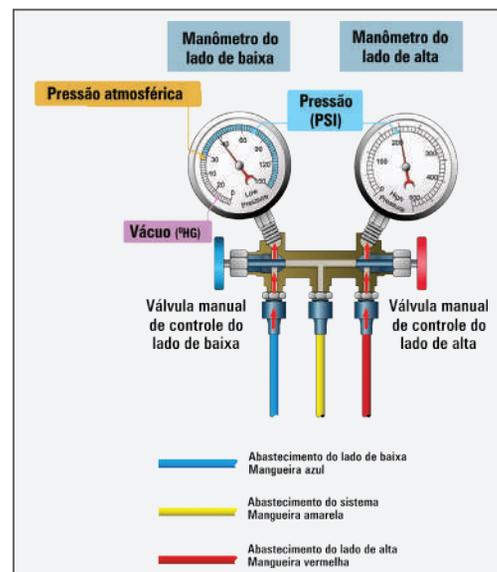


Figura 65.B - Equipamento especial utilizado para abastecimento do gás refrigerante

Os manômetros de baixa e alta pressão são conectados diretamente no acoplamento de seus respectivos lados no sistema. O acoplamento da mangueira central pode ser isolado de um lado ou de outro dos manômetros por intermédio das válvulas manuais. O recipiente contendo gás com alta pressão, similar a um botijão, é ligado à mangueira central. As válvulas manuais no equipamento de distribuição são manipuladas para permitir o fluxo dentro do lado de baixa ou alta pressão do sistema.

Quando essas válvulas são giradas completamente no sentido horário, o acoplamento da mangueira central é isolado. Se a válvula de baixa pressão é aberta, ou seja, girada no sentido anti-horário, o acoplamento da mangueira central é aberto para o manômetro de baixa pressão. O mesmo procedimento é adotado para acoplar a mangueira central ao lado de alta pressão: basta abrir a válvula manual do lado de alta pressão no sentido anti-horário, conforme demonstrado acima nas Figuras 66.A e 66.B.

A mangueira do equipamento para abastecimento do lado de alta pressão é vermelha, enquanto a mangueira para abastecimento do lado de baixa pressão é usualmente azul. A mangueira fixada no centro do equipamento serve para ser ligada a uma bomba de vácuo para remoção ou abastecimento do refrigerante. Quando o equipamento não estiver em uso, as entradas das mangueiras devem ser tampadas para prevenir que a umidade contamine as válvulas.

## 2.13 Esvaziamento do sistema

As bombas de vácuo são usadas juntamente com o equipamento de distribuição (*manifold set*). Elas são conectadas no sistema de ciclo a vapor para que a pressão do sistema possa ser reduzida para um valor próximo ao vácuo total.

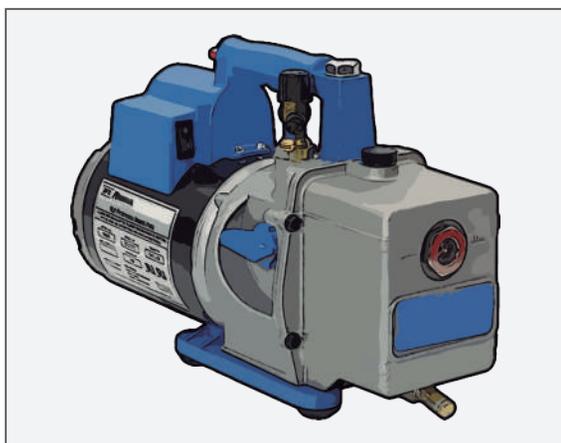


Figura 66 - Bomba de vácuo

O motivo para se realizar esse procedimento deve-se à necessidade de remoção de água do sistema. Conforme já abordado anteriormente, a água pode congelar, causando assim o mau funcionamento dos componentes. Além disso, ela também pode reagir com o refrigerante e criar um composto corrosivo.

Quando o sistema tem seu refrigerante esvaziado e atinge a pressão ambiente, a bomba de vácuo é ligada e, gradualmente, reduz a pressão desse sistema. Esse processo também reduz o ponto de ebulição da água. A água, fervida ou vaporizada, baixa pressão e é puxada para fora do sistema pela bomba de vácuo, deixando-o livre de umidade para ser novamente recarregado com refrigerante (Figura 66).

### **2.13.1 Detecção de vazamento no sistema de ar condicionado do tipo ciclo a vapor**

Quando o sistema de ar condicionado do tipo ciclo a vapor opera normalmente, nenhum refrigerante escapa ou vaza. Um sistema que requer adição de refrigerante deverá ser inspecionado quanto à existência de vazamento.

Um detector de vazamento eletrônico é um dispositivo confiável para encontrar vazamentos. Ele pode ser manuseado com segurança perto do componente e da conexão da mangueira onde há suspeita de vazamento. Esse aparelho emite um alarme sonoro e visual caso vaze o refrigerante. Um detector específico deverá ser escolhido para cada tipo de refrigerante.

Outro método de detecção de vazamento é o uso de uma solução de sabão aplicada às conexões e inspecionada para formação de bolhas, que indica vazamento. Um tipo especial de detector de vazamento é injetado no sistema de ciclo a vapor e pode ser visto quando sai no local do vazamento. Muitos desses detectores são feitos para serem visíveis com luzes ultravioletas. Ocasionalmente, um vazamento pode ser detectado por uma inspeção visual. O óleo de lubrificação do sistema do compressor, por exemplo, pode ser forçado para fora por causa do vazamento em uma mangueira, deixando-o visível.

Mangueiras velhas podem ressecar e deixar vazar uma quantidade significativa de refrigerante, então devem ser trocadas. Devido ao seu comprimento e área da seção transversal (diâmetro), a detecção de seu vazamento se torna muito difícil por qualquer método no caso de estarem danificadas.

### **2.13.2 Manutenção e abastecimento do sistema**

O sistema de ar condicionado de ciclo a vapor pode funcionar por várias horas sem precisar de manutenção. Inspeção visual periódica, testes e verificação do nível de refrigerante e de óleo podem ser requeridos em algum momento. É importante seguir as instruções do fabricante da aeronave que constam no manual de manutenção para intervalos e critérios de inspeções. A manutenção do sistema, às vezes, necessita da abertura de linhas de conexões, ou seja, é preciso abrir o sistema porque ele é fechado.

### **2.13.3 Inspeção visual**

Todos os componentes do sistema devem ser inspecionados para garantir seu funcionamento dentro dos limites operacionais do manual de manutenção. Assim, é importante estar atento para algum dano, desalinhamento ou sinal visual de vazamento. Dessa forma, o presente tópico abordará algumas tarefas que o manual de manutenção solicita inspeção.

As aletas para troca de calor do evaporador e condensador devem ser inspecionadas para garantir que estão limpas, desobstruídas e que não amassadas por impactos. Prevenção contra sujeira e obstrução do fluxo de ar através das aletas de refrigeração melhora a eficiência da troca de calor do evaporador e condensador. Ocasionalmente, essas unidades podem ser lavadas.

Outra unidade que deve ser inspecionada é o sensor termostático da válvula de expansão. Ela tem que estar bem fixa na saída do evaporador. O evaporador não pode ter gelo na saída, pois isso evita uma eficiente troca de calor entre o refrigerante e o ar externo que será refrigerado e entregue ao interior da cabine da aeronave.

O ventilador também deverá ser inspecionado para garantir que está girando livremente. Ele deverá funcionar quando a chave de controle na cabine é ligada, assim como deverá mudar de velocidade quando o seletor for girado para mais ou menos refrigeração.

Além disso, alinhamento e correta fixação do compressor são críticos e deverão ser inspecionados. A correia de acionamento do compressor precisa estar com a tensão correta. No manual de manutenção da aeronave, há o procedimento correto para verificação da tensão da correia e seu ajuste. O nível de óleo do compressor deve estar normal. Geralmente,  $\frac{1}{4}$  de onça de óleo é adicionado para cada libra de refrigerante acrescentado ao sistema. Ao se substituir um componente, uma quantidade adicional de óleo deve ser acrescida, pois há perda de óleo na remoção da unidade substituída. Destaca-se, ainda, a importância de se utilizar o óleo recomendado pelo manual de manutenção da aeronave.



**Onça:** unidade de medida de peso.

#### 2.13.4 Teste de vazamento

O vazamento no ar condicionado de ciclo a vapor deve ser descoberto e eliminado. O sinal mais visível para se detectar um possível vazamento é o nível baixo do refrigerante. A presença de bolhas no visor de vidro do *receiver dryer*, quando o sistema está operando, indica a falta de refrigerante. Destaca-se que o sistema de ciclo a vapor normalmente perde uma pequena quantidade de refrigerante a cada ano. Sendo assim, nenhuma ação corretiva é necessária se essa quantidade estiver dentro dos limites especificados pelo manual de manutenção da aeronave.

O vazamento completo de refrigerante não permite a formação de bolhas no visor de vidro do *receiver dryer*. No entanto, a falta de refrigeração do sistema indica que o refrigerante vazou completamente. Para localizar o vazamento, o sistema deve ser parcialmente abastecido com refrigerante para que se empregue o método de detecção. Colocar 50 psi de refrigerante nos lados de alta e baixa pressão do sistema é suficiente para checar um vazamento. A introdução do refrigerante no lado de alta pressão e a ocorrência de leitura de pressão no manômetro no lado de baixa pressão indicam que o orifício da válvula de expansão do tipo agulha não está obstruído.

Quando todo o refrigerante for perdido devido a vazamentos, o sistema inteiro deverá ser checado. Cada conexão e suporte deverão ser inspecionados visualmente e com o detector de vazamento. Quando o ar condicionado do tipo ciclo a vapor perde toda a carga de seu refrigerante, água e ar podem entrar no sistema. Assim, é necessária a evacuação completa do sistema para limpeza após o vazamento ter sido encontrado e reparado.

#### 2.13.5 Teste de performance do sistema

Verificação normal da operação do ar condicionado do tipo a vapor é parte do teste de performance. Isso envolve operar o sistema e verificar os parâmetros para garantir que estejam dentro dos limites operacionais. O ponto mais importante do teste de performance é a

temperatura do ar que é resfriado pelo evaporador. A temperatura pode ser medida na saída do fluxo de ar que trocou calor com esse componente. Um termômetro deverá ler de 40 °F a 50 °F (4,4 °C a 10 °C) com controle selecionado para máxima refrigeração após o sistema ter sido operado por alguns minutos na condição normal. A pressão também pode ser observada para indicação de que o sistema opera normalmente. No manual de manutenção da aeronave, há o procedimento detalhado de onde colocar o termômetro e a tolerância da temperatura que é aceitável no teste de performance.

Tipicamente, o lado de baixa pressão no sistema de ciclo a vapor opera entre 10 e 50 psi. Já a pressão do lado de alta opera entre 125 e 250 psi, dependendo da temperatura ambiente. Todo o sistema será verificado no teste de performance com uma específica rotação de operação do motor. Ressalta-se que isso envolve um período de tempo de operação para estabilizar o sistema de ciclo a vapor.

### 2.13.6 Teste de sensibilidade

O teste de sensibilidade, também chamado, em inglês, de *feel test*, é um teste rápido que dá uma referência da operação do sistema. Em particular, componentes e linhas do lado de alta pressão, que vai do compressor para a válvula de expansão, deverão estar com temperaturas mornas ou quentes ao toque das mãos. As linhas de ambos os lados do *receiver dryer* deverão estar a essa mesma temperatura. Já o evaporador e as linhas do lado de baixa pressão deverão estar frios. O gelo não deverá estar visível na parte externa do sistema. Se alguma discrepância for encontrada, então será necessária uma futura investigação.

### 2.13.7 Limpando o sistema

Para se efetuar a limpeza do sistema, é necessário esvaziar a carga do refrigerante. O uso de um equipamento especial evita que esse gás seja lançado na atmosfera. O sistema de ciclo a vapor deve ser esvaziado antes de sua abertura para manutenção ou troca de componente. Uma vez o sistema aberto, algumas precauções devem ser adotadas para evitar contaminação. Um fluido especial deverá ser utilizado para circular pela parte interna da tubulação para limpá-lo. O *receiver dryer* é removido do sistema durante a circulação desse fluido e uma nova unidade deverá ser instalada.

### 2.13.8 Verificação do nível de óleo do compressor

O compressor é uma unidade selada no sistema de ciclo a vapor e lubrificada com óleo. A abertura do sistema caracteriza uma boa oportunidade para checar o nível de óleo do compressor. Esse procedimento é efetuado através da remoção da tampa do bocal de abastecimento e verificação do nível com uma régua de medida (Figura 67).

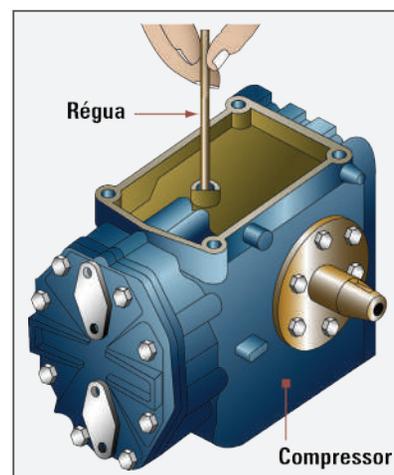


Figura 67 - Bomba de vácuo

### 2.13.9 Recarga do sistema com refrigerante

A capacidade de carga com refrigerante do sistema de ar condicionado do tipo ciclo a vapor é medida pelo peso. Assim, deve-se consultar o manual de manutenção do fabricante da aeronave para verificar a quantidade específica de refrigerante, bem como o tipo de óleo lubrificante a ser usado para abastecer o sistema. O lubrificante pré-misturado com refrigerante é encontrado no mercado e pode ser utilizado. Dessa forma, evita-se a necessidade de adicionar o óleo separadamente.

Com a mangueira do equipamento de carga (*manifold set*) conectada aos lados de alta e baixa pressão do sistema, a mangueira central do equipamento de distribuição é ligada ao botijão do refrigerante. Entretanto, antes de realizar esse procedimento, as válvulas do equipamento precisam ser abertas para remoção do ar de dentro das mangueiras. Assim, abre-se a válvula do lado da alta pressão para liberar o refrigerante e observa-se o manômetro do lado da baixa pressão. Quando esse manômetro começa a indicar pressão, significa que o refrigerante está passando através do orifício da válvula de expansão. O fluxo do refrigerante dentro do sistema cessa quando a pressão se estabiliza no lado da alta pressão.

Para completar a carga do sistema, o refrigerante precisa circular pelo compressor. Contudo, esse componente não consegue comprimir o refrigerante no estado líquido por ele ser incompressível. Então, logo após a liberação inicial do refrigerante no lado da alta pressão, a válvula do equipamento de controle desse lado deverá ser fechada. Assim, o complemento da carga é feito por meio do controle da válvula do lado da baixa pressão. O motor da aeronave ou da unidade que liga o compressor deve ser operado e o sistema no painel da cabine deve ser selecionado para máxima refrigeração. Quando o compressor opera, ele impulsiona o vapor através do lado da baixa pressão, até que o peso correto de refrigerante seja atingido. A carga é completada com o teste de performance do sistema (Figura 68).

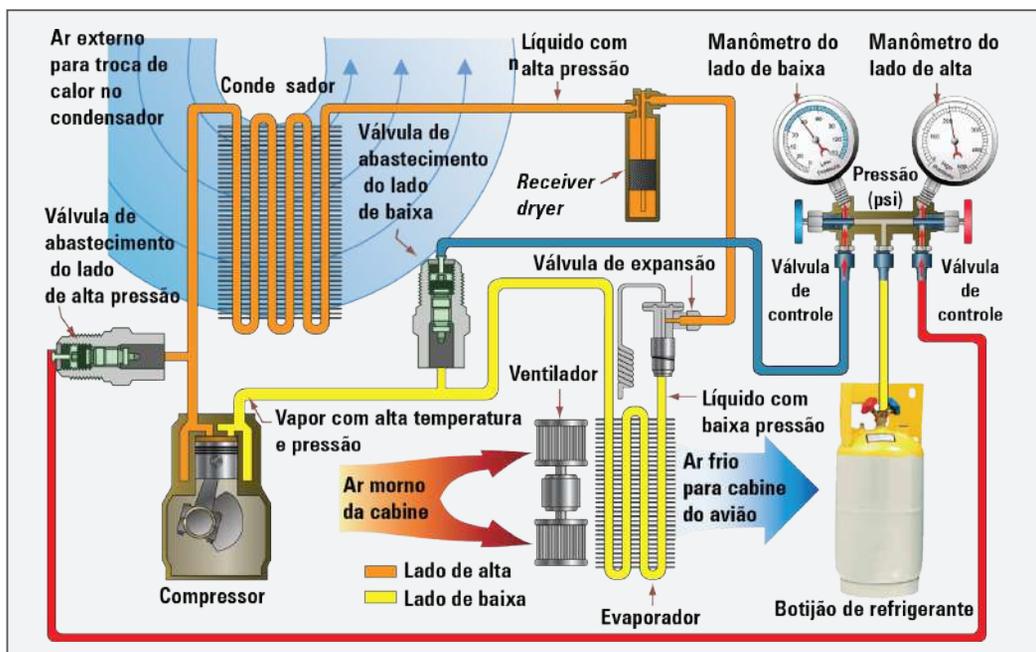


Figura 68 - Esquema sobre o carregamento do sistema com refrigerante

O manual de lista de equipamento mínimo, ou *minimum equipment list* (MEL), é um manual que define se uma aeronave pode ou não voar com um sistema inoperante. De acordo com ele, se um sistema de ar condicionado estiver com falhas, a aeronave pode ser liberada com apenas um sistema operando, mas deverá voar a uma altitude mais baixa. A pressurização da fuselagem do avião com apenas um sistema de ar condicionado não será suficiente para manter a aeronave voando a um nível mais alto. Assim, se um avião voa a uma altitude de 41.000 pés com os dois sistemas operando, ele poderá voar apenas com um sistema operacional, caso voe, a uma altitude de 35.000 pés.

## 2.14 Teste de pressão dinâmica da cabine

O teste de pressão dinâmica da cabine consiste em pressurizar a aeronave no solo para verificação da operacionalidade de todos os componentes que compõem os sistemas de ar condicionado e de pressurização.

São necessários dois técnicos na cabine de comando que saibam operar os controles do painel de ar condicionado e do de pressurização, pois, no caso de um mal-estar de um técnico, o outro deverá assumir o controle do teste.

O técnico não pode estar sob o efeito de medicamentos, com gripe ou outro problema de saúde que possa ser agravado devido ao teste. Deve-se, portanto, ler o manual de manutenção para realização do teste de pressão dinâmica.

## Resumindo

O sistema de ar condicionado serve para pressurizar a fuselagem do avião e pode ser de dois tipos: máquina de ciclo de ar e ciclo a vapor. O primeiro utiliza o sistema de troca de calor ar com ar e um compressor que é girado por uma turbina em uma unidade chamada *air cycle machine* (ACM). A queda brusca da temperatura do ar se dá na turbina de expansão. Esse sistema consiste em uma válvula que controla o fluxo de ar, trocadores de calor primário e secundário, *ram air* e ACM, sendo esta última formada por compressor, turbina e ventilador.

Já o segundo tipo de ar condicionado, o ciclo a vapor, utiliza um gás refrigerante. Seu princípio consiste no fato de que uma substância pode evaporar a qualquer temperatura desde que se reduza a pressão sobre ela. Assim, o refrigerante é armazenado em um sistema fechado à baixa pressão que evaporará a baixíssimas temperaturas.

Nessa transformação de líquido para vapor que ocorre na unidade chamada evaporador, o líquido refrigerante absorve o calor do ar que entrará na cabine do avião, efetuando, dessa forma, sua refrigeração. Após esse processo, aumenta-se a pressão do gás para ele condensar e retornar ao estado líquido. Esse sistema se divide em dois lados: o lado de alta pressão, composto pelo compressor, condensador e *receiver dryer* e o lado de baixa pressão, formado pelo evaporador.

As aeronaves utilizam vários métodos de aquecimento para regular a temperatura do ar condicionado para proporcionar conforto aos passageiros. Esses aquecedores podem ser elétrico, com gás da exaustão do motor, a combustão ou utilizar o ar quente do sistema pneumático sangrado do motor para misturar com o ar frio do sistema de ar condicionado.



# Capítulo 3

## Sistema de pressurização

Embora a pressurização da aeronave seja função do sistema de ar condicionado, o sistema de pressurização possui seus próprios componentes para regular e efetuar sua logística operacional. A pressurização da fuselagem pode ser comparada ao enchimento de um balão de festa com ar, em que o ar sob pressão infla o balão.

No avião existem o controle da pressão no interior da fuselagem e válvulas de segurança que protegem a aeronave contra falhas no automatismo do controle de segurança. O ar é um fluido, assim como a água, e, portanto, tem peso, se movimenta e se torna instável. Ao nível do mar, a pressão exercida é de 14,7 libras. À medida que se afasta do solo, sua densidade e seu peso diminuem.

A uma altura de 2.438 metros (ou 8.000 pés) ainda é possível respirar, mas, à medida que se sobe na atmosfera, o oxigênio torna-se rarefeito. Esse fato restringe a sobrevivência humana em grandes altitudes, pois provoca a falta de oxigênio no corpo humano (ou hipoxia). Assim, a pressurização do avião mantém artificialmente a pressão em seu interior, simulando uma altitude de 8.000 pés mesmo quando a aeronave voa acima de 39.000 pés (ou 11.887 metros).

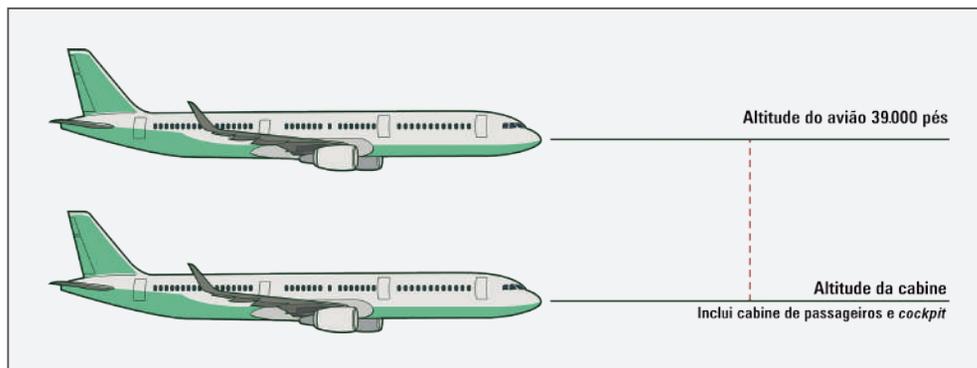


Figura 69 - Diferença entre altitude do avião e altitude da cabine

### 3.1 Composição da atmosfera

A atmosfera terrestre é a camada de gases que envolve a Terra e protege a vida aqui existente. Ela é composta, sobretudo, de gases oxigênio, nitrogênio e dióxido de carbono. Além disso, a atmosfera se divide em quatro camadas principais, a citar: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera.

A troposfera é a camada mais próxima ao solo. Nela, os seres vivos passam a maior parte de suas vidas. Ela possui ar quente e oxigênio, além de ser instável e caótica, ou seja, o tempo muda constantemente. Nessa camada voam as aeronaves não pressurizadas. A tropopausa é a zona atmosférica limite entre a troposfera e a estratosfera.

Já na estratosfera, o ar é estável, extremamente seco e há poucas variações no tempo. Essa camada abriga a camada de ozônio. Nela, 90% dos gases que compõem a atmosfera já desapareceram e os 10% restantes se espalham até 100 km de altitude. A camada seguinte, a mesosfera, é a responsável por proteger a Terra contra meteoritos vindos do espaço. Por último, na termosfera, a temperatura vai além dos 1.000 °C e a atmosfera torna-se cada vez mais rarefeita.

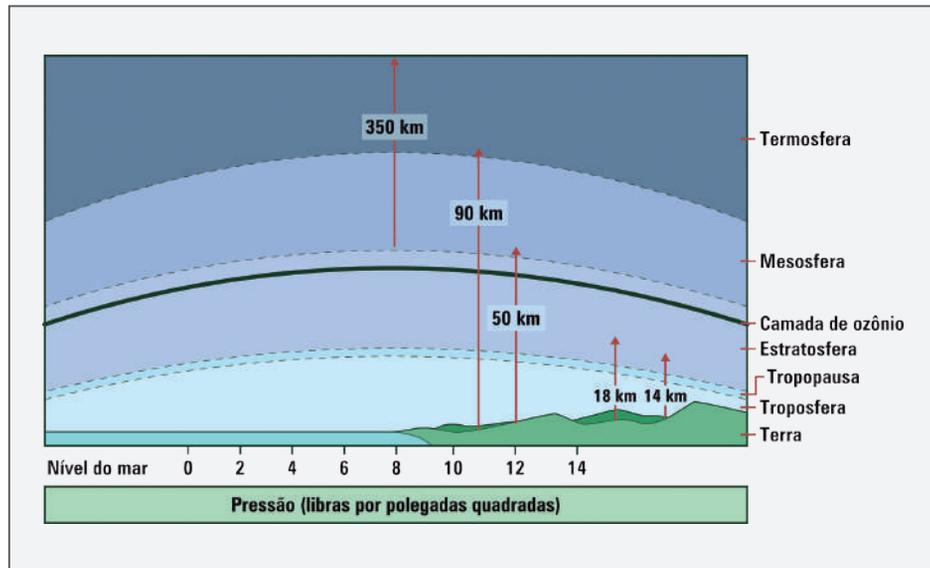


Figura 70 - As camadas da atmosfera

### 3.1.1 Pressão da atmosfera

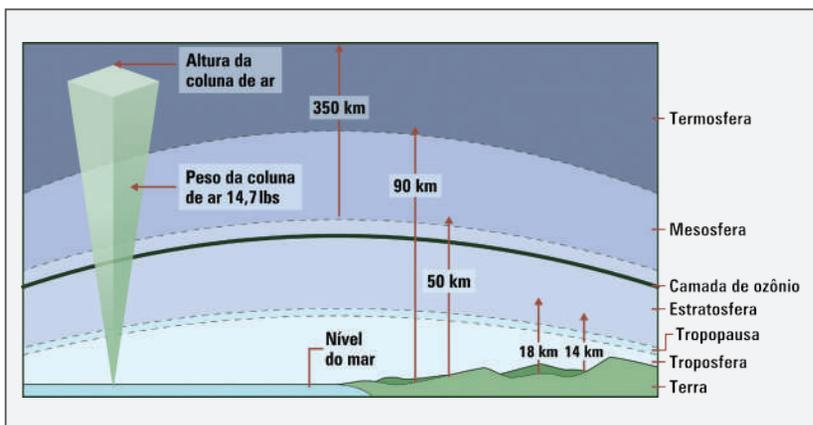


Figura 71 - Pressão atmosférica ao nível do mar é de 14,7 psi

Embora invisíveis, os gases da atmosfera possuem peso. Uma coluna de 1 (uma) polegada quadrada ( $\text{in}^2$ ) de ar com comprimento saindo do nível do mar até o espaço pesa 14,7 libras (**lbs**). Portanto, pode-se dizer que a pressão atmosférica ao nível do mar é de 14,7 psi (Figura 71). A pressão da atmosfera também é conhecida como pressão barométrica e pode ser medida com um **barômetro**. Além disso, ela possui várias unidades de medida, tal como as polegadas de mercúrio ou milímetros de mercúrio.



**Barômetro:** aparelho para medir a pressão atmosférica.

Essa medida deriva da observação da altura que uma coluna de mercúrio atinge quando uma pressão de ar é introduzida no reservatório contendo mercúrio (Figura 72). O mercúrio sobe no tubo a aproximadamente 29,92 polegadas, da mesma forma que a coluna de ar que se estende do nível do mar até o nível superior da atmosfera. Ambas também possuem a mesma seção transversal.

Na aviação, utiliza-se com frequência a conversão de unidade de referência da pressão atmosférica entre deslocamento linear (por exemplo, polegadas de mercúrio) e unidade de força (por exemplo, psi). Há muitos anos, a meteorologia vem mudando o uso da representação da unidade de deslocamento linear da pressão atmosférica para unidade de força. Hoje em dia, a unidade de força hectopascal (**hpa**) é usada universalmente para representar a pressão atmosférica na meteorologia. O hectopascal é uma unidade métrica do sistema internacional (**SI**) que expressa a força em newton por metro quadrado.

O valor de 1.013,2 hpa é igual a 14,7 psi, pressão atmosférica ao nível do mar (Figura 73).

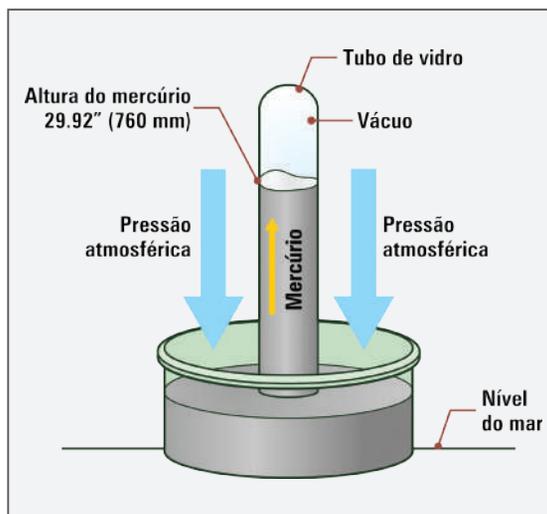


Figura 72 - Pressão de ar introduzida no reservatório contendo mercúrio

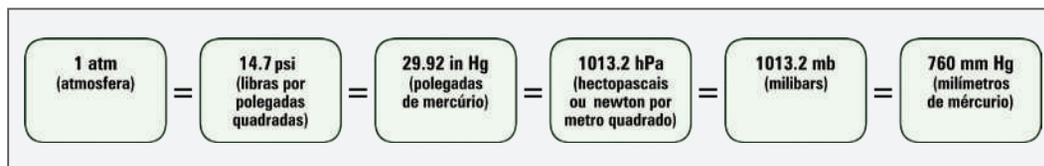
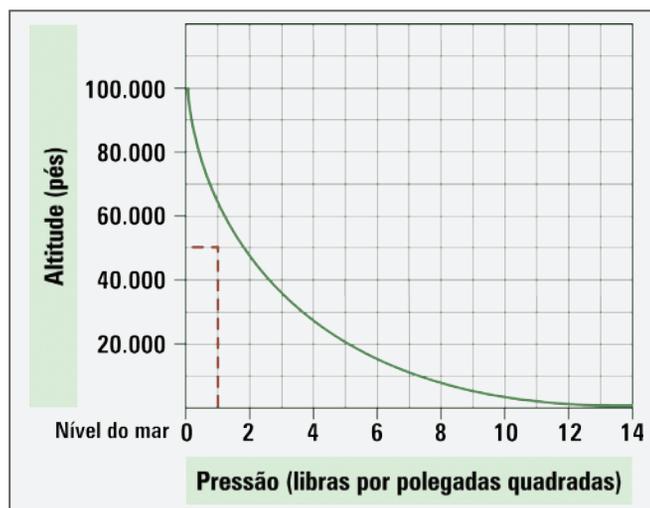


Figura 73 - As várias unidades da pressão atmosférica ao nível do mar

GRÁFICO 1 - A pressão da atmosfera

A pressão atmosférica diminui com o aumento da altitude. Uma explicação simples para isso é que a coluna de ar é menos densa a grandes altitudes, ou seja, possui menos peso. Conforme demonstrado no Gráfico 1, a pressão muda para uma dada altitude. A diminuição na pressão ocorre de forma rápida e, sendo assim, a 50.000 pés (15.240 m) a pressão atmosférica cai para um décimo do valor medido ao nível do mar.



### 3.1.2 Temperatura e altitude

Uma das preocupações do comandante de uma aeronave é a variação da temperatura na atmosfera. A mudança do tempo produz alterações na temperatura da superfície da Terra, assim como o aumento da altitude. A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera e, em média, ela se estende até 38.000 pés (ou 11.582 m) de altitude. Sobre os polos, a troposfera se estende somente de 25.000 pés (ou 7.620 m) a 30.000 pés (ou 9.144 m). Próximo à linha do equador, essa camada pode se estender a 60.000 pés (ou 18.288 m). Esta ovalização natural da troposfera está ilustrada na Figura 74.

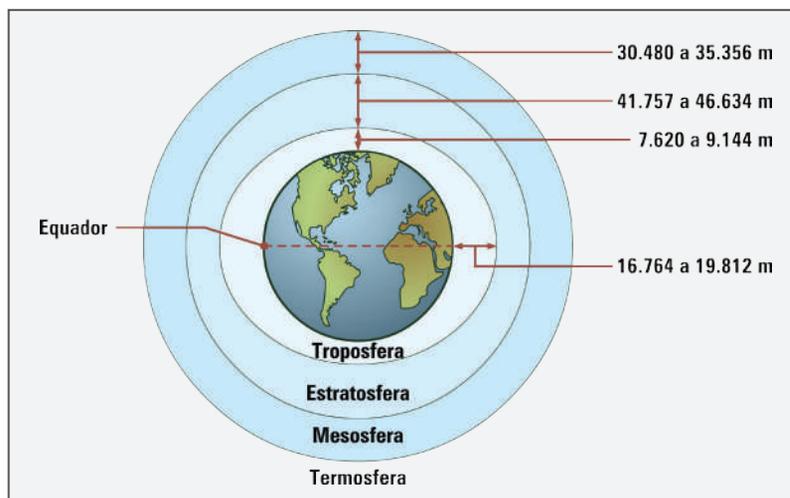


Figura 74 - Ovalização natural da troposfera

Muitas aeronaves voam na troposfera, onde a temperatura diminui à medida que a altitude aumenta. A razão da mudança é algo constante, como  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ou  $-3,5\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) para cada 1.000 pés (ou 304,8 m) de aumento na altitude. Na fronteira superior da troposfera, está a tropopausa. Essa camada é caracterizada como sendo uma zona de temperatura relativamente constante de  $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ou  $-69\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Acima da tropopausa está a estratosfera. Devido à altitude, a temperatura aumenta na estratosfera para próximo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , antes de diminuir novamente na mesosfera. A estratosfera contém a camada de ozônio que protege os habitantes da Terra contra os raios ultravioleta. Muitas aeronaves voam na estratosfera. O Gráfico 2 mostra a variação da temperatura em diferentes camadas da atmosfera.

Quando uma aeronave voa a certa velocidade em uma altitude elevada, ela usa menos combustível do que se estivesse voando na mesma velocidade, porém em baixa altitude. Esse fato decorre da diminuição do atrito da fuselagem do avião com o ar, chamado de arrasto, resultando na redução da densidade do ar em grandes altitudes. Mau tempo e turbulências, que ocorrem nas camadas mais baixas da troposfera, podem ser evitados se a aeronave voar acima da tempestade, onde o ar é mais calmo.

Com o intuito de aproveitar as vantagens do voo em grandes altitudes, as aeronaves são equipadas com sistemas de ar condicionado para vencer os níveis extremos de temperatura e pressão do ambiente externo. Os sistemas de ar condicionado e de pressurização foram desenvolvidos para

permitir ao avião realizar voos em altitudes elevadas sem causar desconforto aos passageiros. A Tabela 1 apresenta a temperatura e a pressão em várias altitudes na atmosfera.

GRÁFICO 2 - Camada da atmosfera com mudança na temperatura

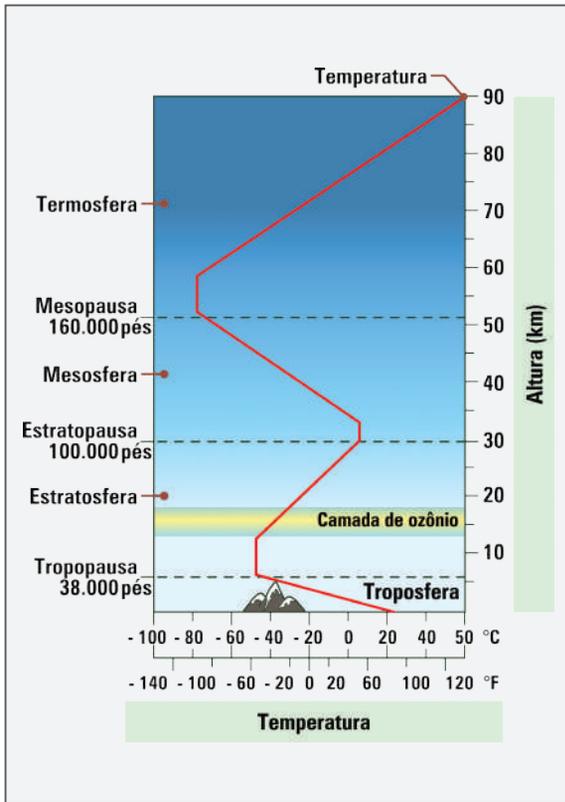


Tabela 1 - Temperatura e pressão em várias altitudes na atmosfera

Altitude	Pressão			Temperatura		
	Pés	psi	hPa	In Hg	°F	°C
0	14,69	1013.2	29,92	29,92	59.0	15
1.000	14,18	977.2	28,86	28,86	55.4	13
2.000	13,66	942.1	27,82	27,82	51.9	11
3.000	13,17	908.1	26,82	26,82	48.3	9.1
4.000	12,69	875.1	25,84	25,84	44.7	7.1
5.000	12,23	843.1	24,90	24,90	41.2	5.1
6.000	11,77	812.0	23,98	23,98	37.6	3.1
7.000	11,34	781.8	23,09	23,09	34.0	1.1
8.000	10,92	752.6	22,23	22,23	30.5	-0.8
9.000	10,51	724.3	21,39	21,39	26.9	-2.8
10.000	10,10	696.8	20,58	20,58	23.3	-4.8
12.000	9,34	644.4	19,03	19,03	16.2	-8.8
14.000	8,63	595.2	17,58	17,58	9.1	-12.7
16.000	7,96	549.2	16,22	16,22	1.9	-16.7
18.000	7,34	506.0	14,94	14,94	-5.2	-29.7
20.000	6,76	465.6	13,75	13,75	-12.3	-24.6
22.000	6,21	427.9	12,64	12,64	-19.5	-28.6
24.000	5,70	392.7	11,60	11,60	-26.6	-32.5
26.000	5,22	359.9	10,63	10,63	-33.7	-36.5
28.000	4,78	329.3	9,72	9,72	-40.9	-40.5
30.000	4,37	300.9	8,89	8,89	-48.0	-44.4
32.000	3,99	274.5	8,11	8,11	-55.1	-48.4
34.000	3,63	250.0	7,38	7,38	-62.2	-52.4
36.000	3,30	221.3	6,71	6,71	-69.4	-56.3
38.000	3,00	206.5	6,10	6,10	-69.4	-56.5
40.000	2,73	187.5	5,54	5,54	-69.4	-56.5
45.000	2,14	147.5	4,35	4,35	-69.4	-56.5
50.000	1,70	116.0	3,42	3,42	-69.4	-56.5

O voo de cruzeiro apresenta maior economia de combustível, pois a aeronave de grande porte já está voando na altitude de aproximadamente 42.000 pés (ou 12.801 m). Assim, o avião voa na estratosfera, onde o ar é menos denso.

Por não haver um grande atrito entre a fuselagem e o ar (arrasto do ar), a aeronave ganha automaticamente velocidade e, para não exceder sua velocidade estrutural, o comandante reduz a potência do motor. Mesmo com essa redução, no entanto, o avião ainda voa no limite máximo que sua estrutura permite, pois o arrasto causado por seu deslocamento no ar é menor devido ao ar rarefeito em grandes altitudes. Dessa forma, com o motor em potência abaixo do necessário para decolagem, o avião gasta menos combustível.

Qualquer avião voando em cruzeiro apresenta melhor performance, ou seja, atinge seu teto operacional (altitude máxima) e voa sem muito esforço através do ar.

## 3.2 Termos e definições

Com o intuito de promover melhor compreensão acerca do funcionamento dos sistemas de pressurização, os seguintes conceitos deverão ser entendidos:

- altitude da cabine;
- pressão diferencial da cabine;
- razão de subida da cabine.

A altitude da cabine é a pressão de ar presente no interior da cabine do avião. Em uma aeronave não pressurizada, a cabine possui a mesma pressão da altitude, ou seja, 10,92 psi. Isso significa que a altitude é de 8.000 pés.

Já a pressão diferencial da cabine se refere à diferença entre a pressão do ar no interior da cabine e a pressão do ar exterior à aeronave. A pressão na parte interna e a pressão do lado externo (pressão atmosférica) são dadas em psi. A pressão diferencial é dada em psid ou  $\Delta$  psi.

A razão de subida da cabine é a razão da mudança da pressão de ar no interior da cabine e é expressa em pés por minuto, em inglês, *feet per minute* (fpm). Assim, a variação de pressurização no interior da cabine do avião, que é a velocidade com que o ar sai ou entra nesse compartimento, é definida como a razão de subida ou descida em que a aeronave pressuriza ou despressuriza a cabine. Todos esses conceitos podem ser visualizados na Figura 75.

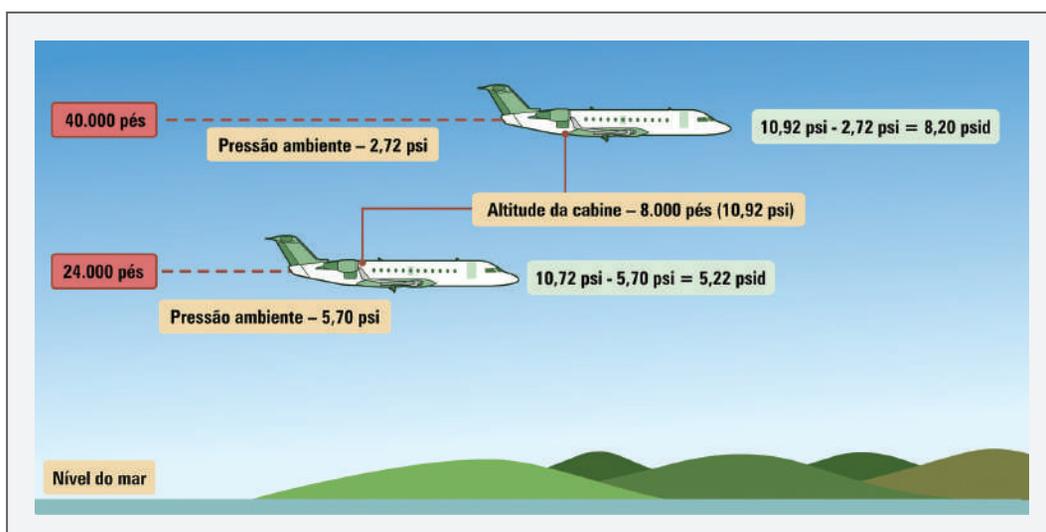


Figura 75 - Pressão diferencial (psid)

A pressurização da cabine de uma aeronave possibilita o voo em um ambiente mais hostil nas camadas superiores da atmosfera. O grau de pressurização e a altitude de operação das aeronaves são fatores críticos limitados pelo projeto do fabricante da aeronave. O sistema de pressurização da cabine deve executar várias funções para garantir o conforto e a segurança dos passageiros e tripulantes. A pressurização deve ser capaz de simular a pressão na cabine de uma altitude aproximada de 8.000 pés ou menos.

Essa necessidade surge para garantir aos tripulantes e passageiros disponibilidade de grande quantidade de oxigênio a uma pressão suficiente para facilitar a completa saturação do sangue. O sistema de pressurização deve ser capaz também de prevenir rápida mudança na pressão da cabine, o que pode ser desconfortável ou prejudicial aos passageiros e tripulantes. Adicionalmente, o sistema de pressurização deve permitir circular o ar da parte interna da cabine para a parte externa da aeronave, de modo que essa circulação possa rapidamente eliminar os odores e remover o ar estático.

Para pressurizar um avião e conservar a cabine com pressão superior à atmosférica, o ar deve ser mantido em uma fuselagem selada para evitar perda de pressão. A grande variedade de material utilizada na aeronave facilita essa retenção. Como exemplo, têm-se os selos de compressão ao redor das portas, combinados com outros selos e selantes, adicionados para estabelecer uma vedação contra vazamentos de pressurização.

O ar é bombeado na parte interna da aeronave a uma razão constante para aumentar a pressão acima da qual é necessária. O controle da pressão é mantido pelo ajuste da razão entre o fluxo de ar que entra na cabine para pressurizar a aeronave e o fluxo de ar que sai para o ambiente externo. O fator mais importante na pressurização é a habilidade da fuselagem de se expandir ou contrair, com a variação entre a pressão interna na estrutura do avião e a pressão ambiente no lado de fora. Esse diferencial de pressão pode variar de 3,5 psi em um avião monomotor convencional a aproximadamente 9 psi nas aeronaves de alta performance, com motor a reação. Nas Figuras 76.A e B, pode-se visualizar a atuação da pressão interna e externa.

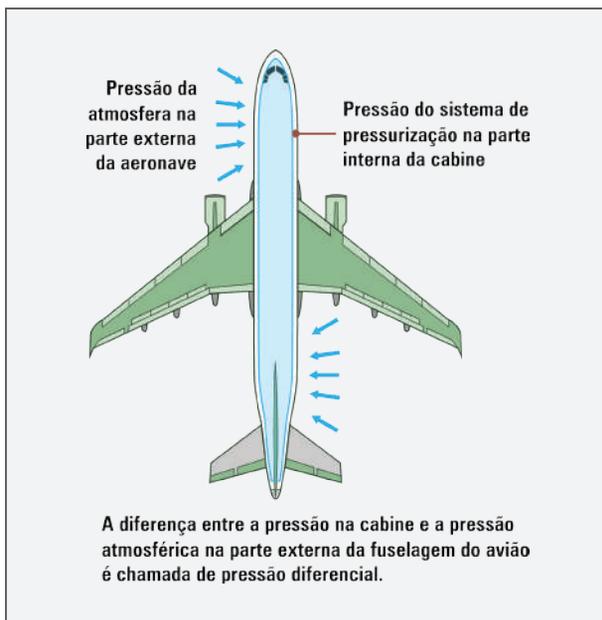


Figura 76.A - Pressão externa na fuselagem do avião

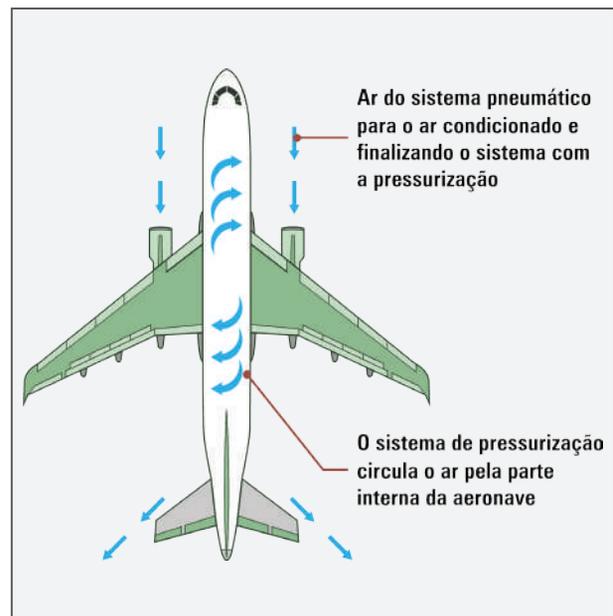


Figura 76.B - Pressão interna e externa na fuselagem da aeronave

A fuselagem da maioria das aeronaves é construída com liga de alumínio. Esse material leve e resistente cobre toda a estrutura da aeronave em forma de chapa, a espessura de cada chapa não mede mais que a espessura de uma moeda. Entretanto, a constante pressão do ar na parte interna da aeronave pode causar desgaste ao metal, sobretudo devido às repetidas pressurizações

e despressurizações na estrutura do avião. Esse desgaste, por seu turno, pode ocasionar uma falha na estrutura e, como consequência, resultar em um acidente aéreo fatal. Por tal motivo, instituiu-se que essa estrutura deve passar por inspeções regulares para detectar sinais de fadiga de material causado pelo ciclo de pressurização.

É importante destacar que os fabricantes de aeronaves estão construindo diversas partes destas utilizando materiais compostos, os quais são mais leves e resistentes que os metais. Isso possibilita maior grau de pressurização da fuselagem, permitindo às aeronaves voarem mais alto e com maior economia de combustível. Esses materiais compostos são: fibras de carbono, de vidro e de aramida.

Uma empresa americana lançou um avião em que 90% de sua fuselagem é feita de fibra de carbono. Essa composição possibilita à aeronave manter o ambiente da cabine simulado a uma altitude de 6.000 pés, pois a pressão que a fuselagem suporta em seu interior é maior, deixando o ambiente melhor oxigenado para o conforto dos passageiros. Nas Figuras 77.A e B, há a comparação entre uma fuselagem construída com fibra de carbono e outra com liga de alumínio.

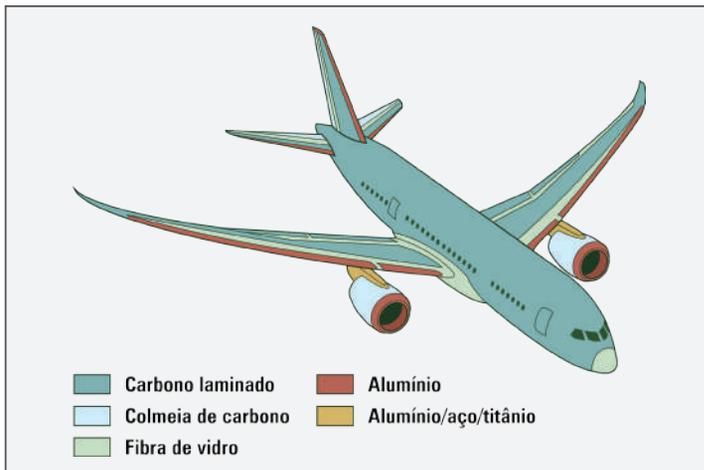


Figura 77.A - Fuselagem de fibra de carbono

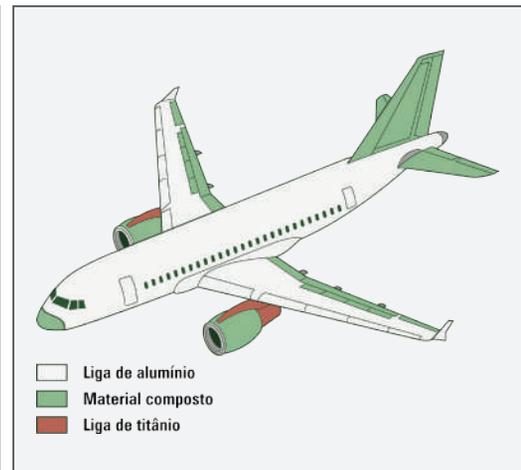


Figura 77.B - Fuselagem de liga de alumínio

Se a fuselagem sofrer fadiga de material, devido à pressurização, e a manutenção for negligente em detectar sinais de danos à estrutura do avião, pode ocorrer uma despressurização explosiva. Nela, a pressão do ar na cabine de comando escapa bruscamente para fora do avião. Isso ocorre em razão de a pressão se deslocar de um local com alta pressão (parte interna do avião) para um local de baixa pressão (parte externa do avião), onde a pressão atmosférica é menor.

Em 1984, um acidente com uma aeronave americana que ia de Hilo a Honolulu, no Havaí, demonstrou a enorme força que a pressurização exerce sobre a fuselagem. A aeronave sempre voava sobre rotas salinas naquela ilha, é sabido que o sal é extremamente agressivo ao alumínio. A manutenção não detectou trincas na fuselagem do avião. Esse conjunto de fatores causou uma despressurização explosiva, que arrancou uma boa parte da fuselagem e sugou uma comissária de bordo para fora do avião. A Figura 78 mostra o estado da aeronave após o acidente.

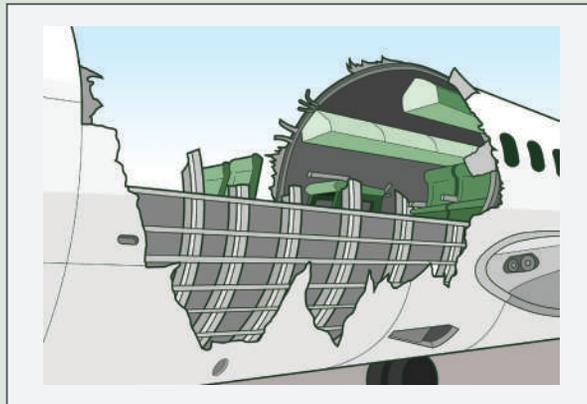


Figura 78 - Despressurização explosiva de avião de uma companhia americana

### 3.3 Componentes do sistema

A pressurização da cabine da aeronave pode ser controlada por dois modos diferentes de operação: o isobárico e o diferencial constante. O primeiro, o modo isobárico, trabalha para manter a altitude da cabine por meio da pressão, apesar da mudança de altitude da aeronave. Por exemplo, o comandante seleciona a altitude da cabine em 8.000 pés (10,92 psi) e o sistema no modo isobárico mantém esse nível de 8.000 pés da cabine, mesmo com a altitude do avião flutuando.

Já o segundo modo de controle, o diferencial constante, controla a pressão da cabine, conservando uma diferença de pressão constante entre o ar no interior do avião e o ar ambiente, independentemente da mudança de altitude da aeronave. Esse modo é mantido em uma pressão inferior à pressão máxima que a estrutura da aeronave permite.

Quando o modo isobárico estiver selecionado, o sistema de pressurização mantém a altitude da cabine determinada pelo comandante. Esta é a condição normal de operação. No entanto, quando a aeronave sobe além de certa altitude, manter a seleção do comandante pode resultar em uma pressão diferencial acima daquela que a estrutura da aeronave comporta. Neste caso, o modo de pressurização automaticamente muda de isobárico para diferencial constante.

Em adição aos modos de operação descritos, a razão de mudança da pressão da cabine, também conhecida como razão de subida e descida, pode ser controlada automática ou manualmente pelo comandante. Geralmente, a mudança da razão da pressão da cabine é de 300 a 500 fpm (pés por minuto).

### 3.3.1 Válvula de controle de saída de fluxo - *outflow valve*

Essa válvula controla a pressurização da cabine por intermédio da quantidade de ar que flui para fora da fuselagem do avião. A válvula de controle de fluxo abre, fecha ou modula para estabelecer a correta pressão de ar mantida dentro da cabine. A válvula *outflow* normalmente está localizada na parte traseira da fuselagem da aeronave.

Existem dois tipos de válvula de controle de fluxo: a pneumática e a duplo *flap*.

a) Válvula de controle de fluxo do tipo pneumática

A válvula do tipo pneumática possui diafragma, molas, orifícios calibrados e bombas de fluxo induzido (*jet pumps*) que são usados para sentir e manipular a pressão do ar da cabine em relação à pressão ambiente, com o objetivo de controlar a posição da válvula. Nas Figuras 79.A e B, há mais detalhamento acerca dos componentes e do funcionamento dessa válvula.

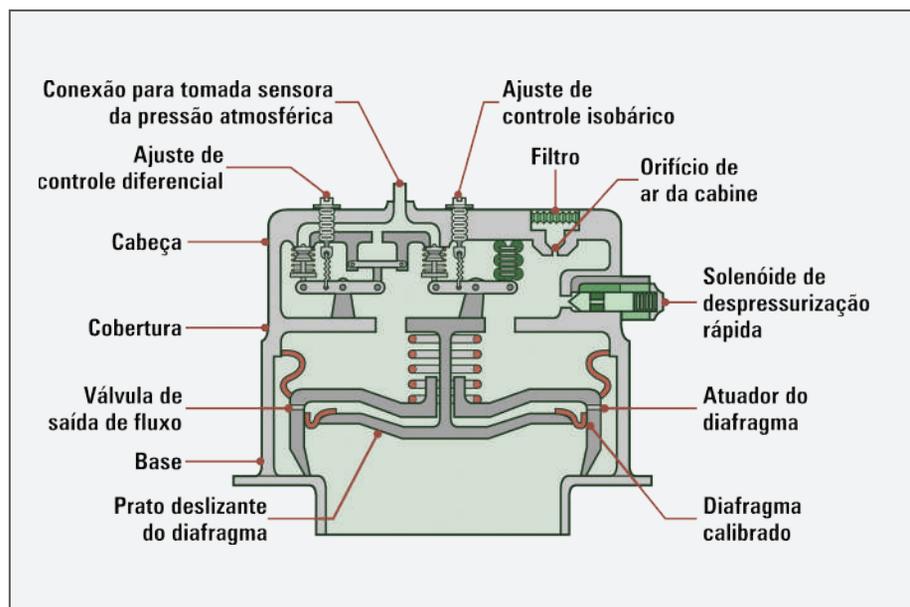


Figura 79.A - Representação da válvula de controle de fluxo do tipo pneumática por dentro

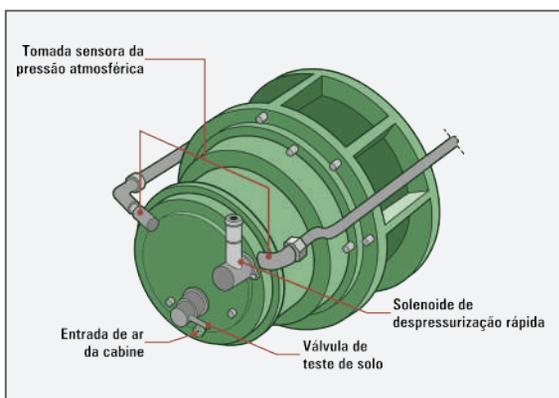


Figura 79.B - Representação da válvula de controle de fluxo do tipo pneumática por fora

A válvula de controle de fluxo de saída pneumática possui ajustes do sistema diferencial de pressão e ajustes do sistema isobárico. Além disso, possui seletor para se efetuar testes no solo com três posições: voo, diferencial e deslizada. O solenóide bomba (*dump*) é uma função que, ao ativar-se o solenóide, a válvula abre totalmente deixando sair o ar de pressurização da cabine para o ambiente. A

função bomba (*dump*) da válvula funciona como uma válvula de alívio do sistema em caso de emergência ou falhas.

b) Válvula de controle de fluxo do tipo duplo *flap*

A válvula de duplo *flap* é comandada por um motor elétrico que abre sua metade para um lado e a outra para o lado oposto. A válvula de controle de fluxo de saída do tipo *flap* geralmente possui dois motores elétricos operados por corrente alternada.

No modo automático, o controlador de pressão da cabine controla a válvula de fluxo de saída para abrir, fechar ou modular por meio do motor. Já no modo manual, o comando da válvula é efetuado pelo comandante diretamente do painel de controle, na cabine de comando. Há dois controladores de pressurização da cabine no sistema, cada um controla um motor da válvula.

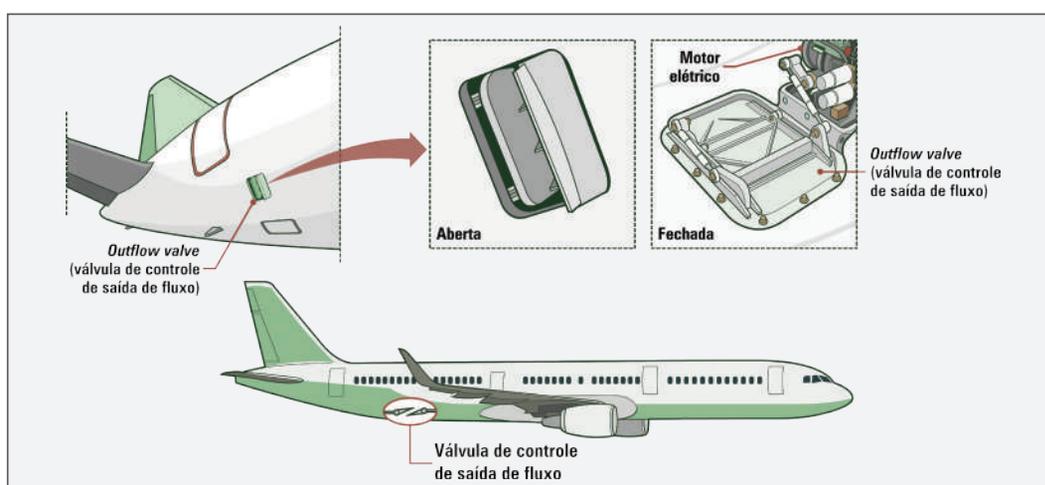


Figura 80 - Válvula *outflow* e sua localização na aeronave

### 3.3.2 Controle de pressurização da cabine

O controle de pressurização da cabine (CPC), em inglês, *cabin pressure controller*, é executado por meio do controle da quantidade de ar que flui para fora da fuselagem do avião. O controlador de pressão da cabine comanda a válvula de saída de fluxo para abrir, fechar ou modular, a fim de estabelecer a correta pressão da cabine.

Existem dois tipos de instalação do CPC em relação ao controle das *outflow valves*: controlador de pressão da cabine com controle pneumático da *outflow valve* e controlador remoto da válvula de saída de fluxo.

a) Controlador de pressão da cabine com controle pneumático da *outflow valve*

Em aviões mais antigos, é utilizado um controlador de pressão da cabine com controle pneumático para comandar a operação da válvula de saída de fluxo. A seleção da altitude da cabine, a mudança na razão dessa altitude e a pressão barométrica são feitas diretamente no controlador de pressão por intermédio do painel de pressurização instalado

na cabine de comando. O ajuste e o modo de operação efetuados pelo comandante no controlador de pressão são os parâmetros de controle de entrada no regulador de pressão da cabine.

O controlador de pressão opera a válvula de controle de fluxo pneumaticamente em resposta aos ajustes efetuados no painel de pressurização da cabine de comando, que influencia no balanço entre a pressão da cabine e a atmosférica. A posição da válvula de controle de saída de fluxo determina o nível de pressão que pressuriza a cabine.

Nesse tipo de controlador de pressão, o painel já é a própria unidade de controle. Como há mangueiras de ar chegando à parte traseira desse painel, é importante ter cuidado ao se remover ou instalar o controlador de pressão. Durante o processo de remoção ou instalação, as mangueiras podem ser dobradas ou danificadas, causando erro no sistema de pressurização. Nesse tipo de controle, a *outflow valve* é controlada sem o uso de eletricidade. Na Figura 81, há um esquema que permite melhor visualização do sistema de controle de pressurização da aeronave.

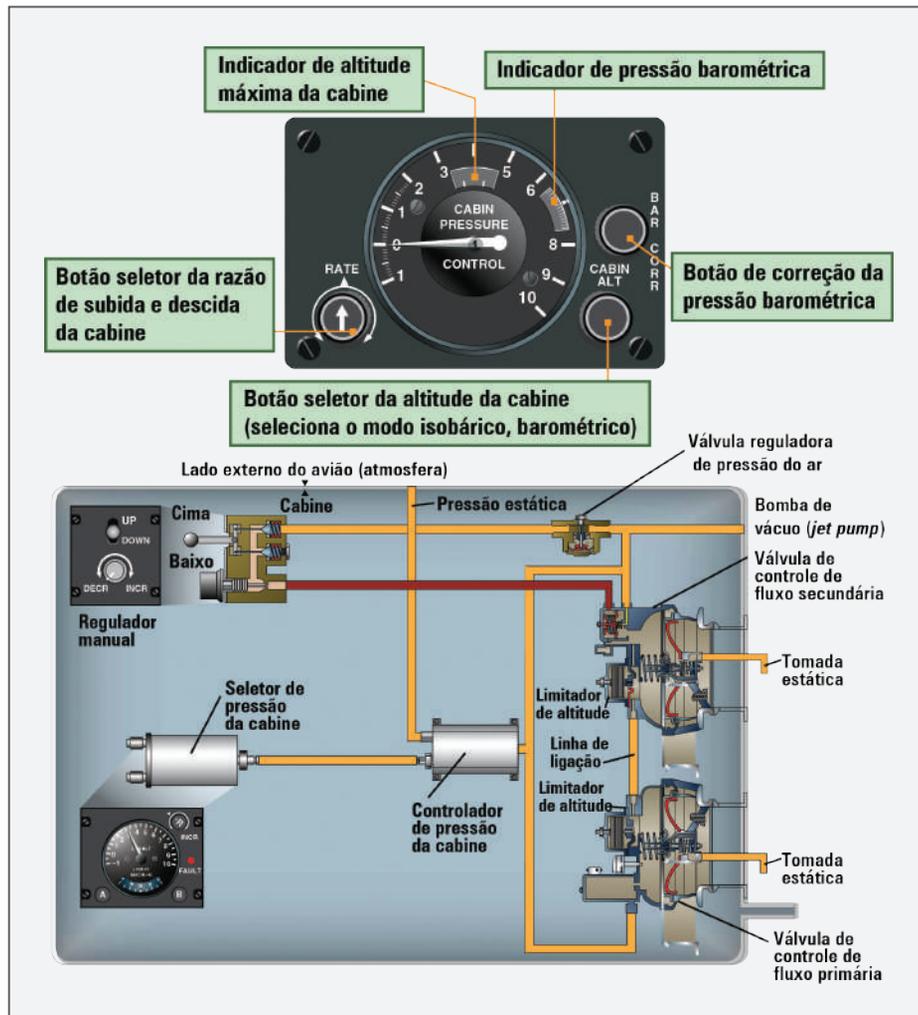


Figura 81 - Esquema do controlador de pressão da cabine com controle pneumático



**Torque motor:** motor elétrico de uma válvula.

Com a evolução do sistema do controlador de pressão da cabine, ele passou a ser eletrônico, elétrico e pneumático. Assim, esse sistema agora recebe informações elétricas e eletrônicas de outros sistemas para controlar a posição da válvula de controle de saída de fluxo. Para exemplificar, tem-se o comando que esse sistema recebe da posição dos manetes de potência dos motores e da posição do trem de pouso, chamado no esquema da Figura 82 de *wow*, sigla em inglês de *wheel on weight*, quando a aeronave está com seu peso sobre as rodas, ou seja, está no solo. Em muitos jatos pequenos da classe executiva, o controlador regula a abertura ou o fechamento da válvula de controle de saída de fluxo por meio de sinais elétricos enviados a um **torque motor** instalado na válvula.

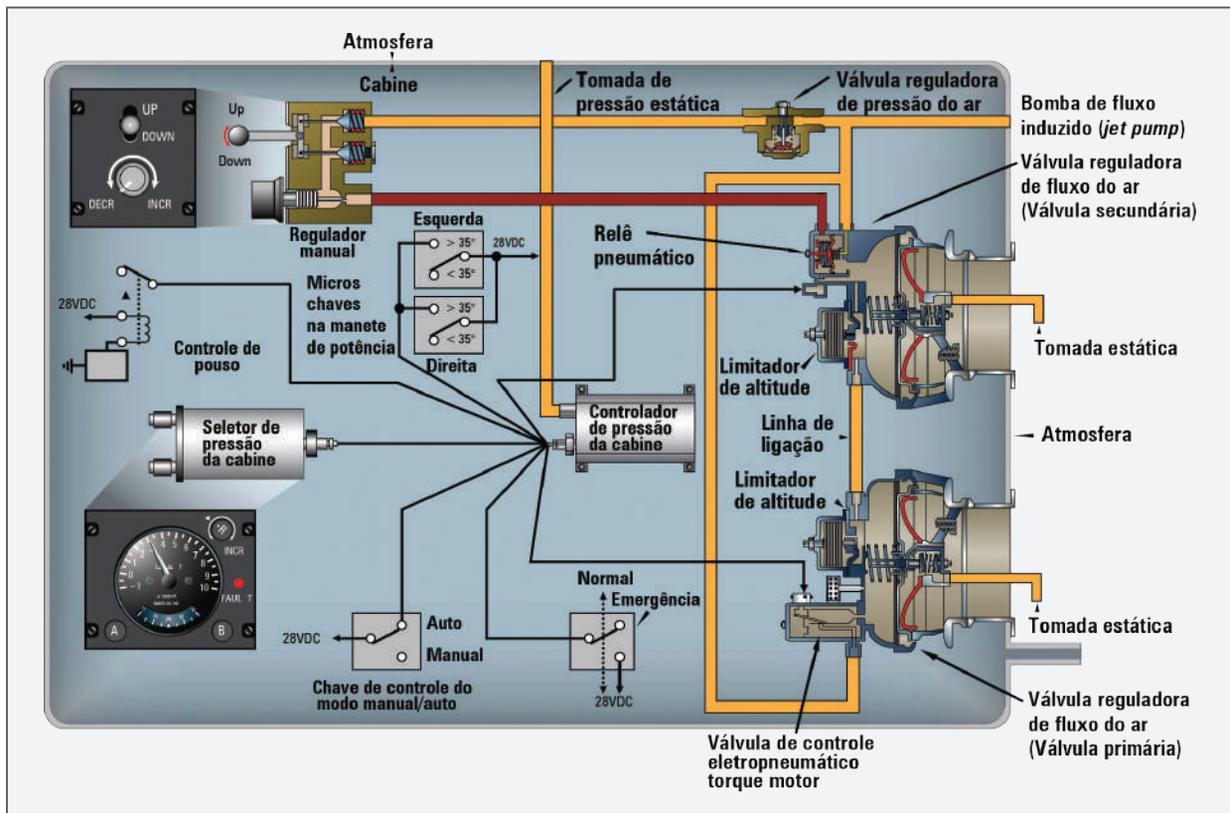


Figura 82 - Esquema do controlador eletrônico, elétrico e pneumático de pressurização

b) Controlador remoto da válvula de saída de fluxo do tipo *flap*

Esse sistema é formado por um painel de controle na cabine de comando onde a altitude da cabine, sua mudança de razão de subida e descida e o ajuste barométrico são feitos no painel de pressurização. Sinais elétricos são enviados do seletor do painel de controle ao controlador de pressão da cabine. O controlador é remotamente localizado perto da cabine, mas dentro da área pressurizada da aeronave. O sinal elétrico recebido do painel de controle é convertido em sinal digital e usado pelo controlador. A pressão da

cabine e a pressão ambiente são sinais também utilizados pelo controlador, assim como sinais de outros sistemas.

Em posse dessas informações, o controlador, que é essencialmente um computador, gerencia a lógica do sistema de pressurização para os vários estágios do voo. Em muitas categorias de transporte aéreo, há dois controladores de pressão da cabine ou um controlador com circuito redundante.

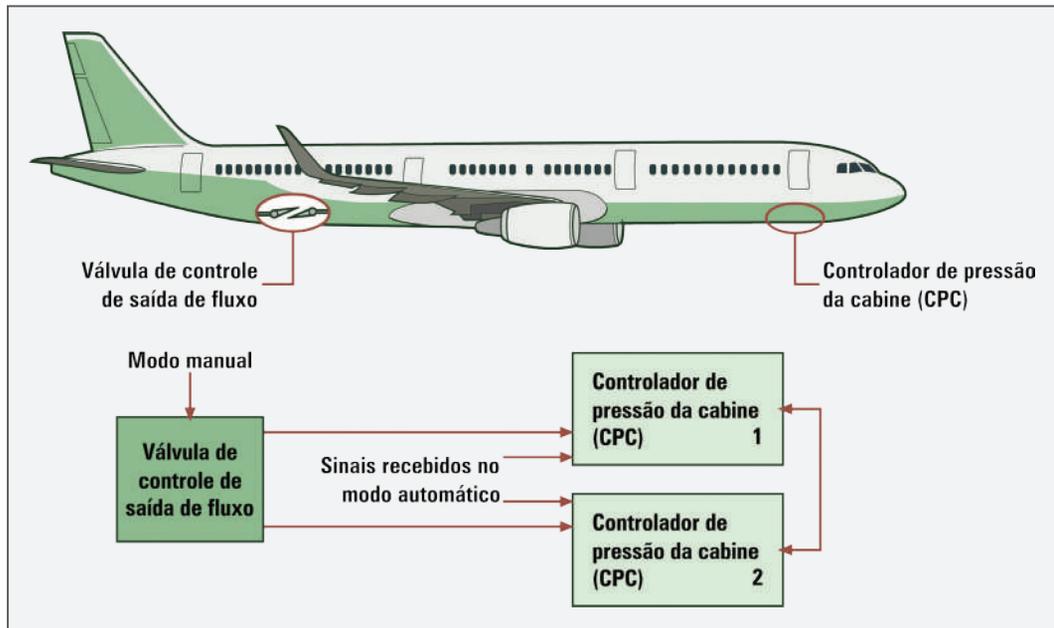


Figura 83 - Válvula de controle de saída de fluxo com controlador

### 3.3.3 Painel de controle

O painel de controle do sistema está instalado na cabine de comando acima da cabeça dos tripulantes, chamado de *overhead* (sobre a cabeça). No painel, estão os controles de seleção do modo automático e manual do sistema, razão de subida e descida da cabine e elevação do campo de pouso (*landing elevation*).

A configuração do painel varia de um modelo de aeronave para outro, mas todos devem possuir o botão de mudança da razão e controle manual da válvula de controle de saída de fluxo.

Com o sistema de pressurização selecionado no modo automático no painel de controle, o controlador de pressão da cabine efetua todo o processo de subida e descida da cabine. No caso de falhas dos controladores no modo automático, o sistema de pressurização é selecionado para o modo manual no painel e o comandante passa a realizar a função de abrir, fechar ou

modular a válvula de controle de saída de fluxo manualmente, por meio do painel, para manter a pressurização da aeronave.

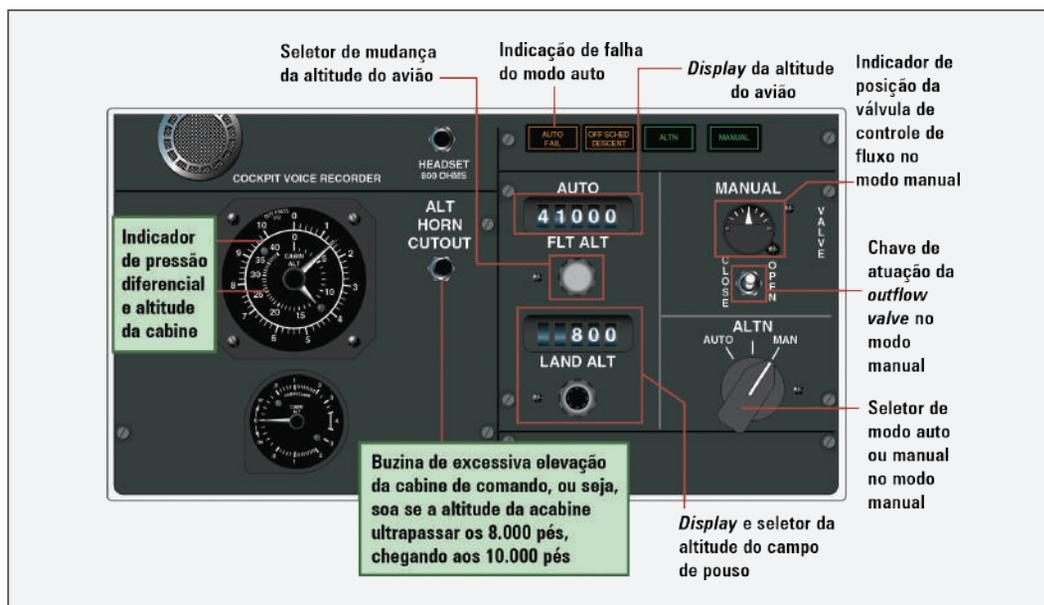


Figura 84 - Painel de pressurização de uma aeronave

### 3.3.4 Válvulas de segurança da pressão de ar da cabine

O sistema de pressurização da aeronave incorpora vários fatores para proteger o ser humano e a aeronave contra danos estruturais no caso de mau funcionamento do sistema. Válvulas de segurança previnem o excesso de pressurização para garantir a integridade da estrutura do avião se o controle do sistema de pressurização for perdido. A válvula de segurança é uma válvula de alívio que abre a uma determinada pressão diferencial. Ela permite que o ar flua da cabine para a atmosfera, prevenindo, desse modo, que a pressão interna na cabine exceda o limite estrutural. Na Figura 85, observa-se a válvula de segurança de alívio de pressão instalada em um avião de grande porte. Na maioria das aeronaves, a válvula de segurança é calibrada para abrir a uma pressão diferencial da cabine entre 8 e 10 psid.

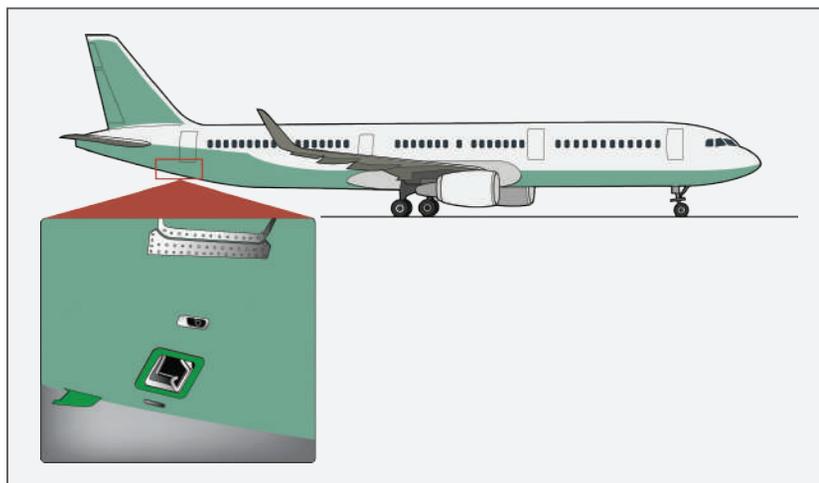


Figura 85 - Instalação e localização das válvulas de segurança

Geralmente, a aeronave possui duas válvulas de segurança: uma para pressão positiva, quando a pressão da cabine aumenta excessivamente, e uma para pressão negativa, quando a pressão atmosférica tende a ficar maior que a pressão da cabine. As válvulas de segurança operam por diferencial de pressão, não tendo comando por parte do sistema de pressurização.

### 3.3.5 Indicadores de pressão do sistema de pressurização

Há três indicadores que sempre estarão presentes no sistema de pressurização localizados no painel de controle:

- indicador de altitude da cabine;
- razão de subida e descida da cabine (*climb*);
- indicador de pressão diferencial da cabine.

Eles podem ser instrumentos separados ou combinados em um ou dois instrumentos (Figura 86).



Figura 86 - Instrumento de pressurização da cabine

## 3.4 Sistema de controle da pressão da cabine

O sistema de pressurização é controlado pela saída do ar da cabine. Esse processo atua a válvula de fluxo de saída, que é comandada pelos controles de pressurização da cabine (CPC). O sistema é automático nas aeronaves modernas. Sendo assim, os CPC se comunicam com os demais



Na Tabela 3, pode-se verificar que houve uma mudança na altitude da cabine de 3.000 pés para 5.000 pés. Consequentemente, a pressão de ar para pressurizar a cabine da aeronave também foi alterada de 13,17 psi para 12,23 psi. O ar necessário para a pressurização da cabine do avião diminuiu em virtude da redução da pressão atmosférica. Isso ocorreu porque a aeronave subiu da altitude de 25.000 pés para 30.000 pés, alterando, dessa forma, a pressão atmosférica de 5,45 psi para 4,36 psi. Observa-se que o diferencial de pressão aumentou para 7,8 psid. Essa pressão diferencial vai oscilar em decorrência da variação da pressão atmosférica, mas vai manter a pressão constante.

Tabela 3 - Atmosfera padrão internacional

	Altitude (pés)	Temp. (°C)	Pressão			Relação de pressão $\sigma = P/P_0$	Densidade $\delta = P/P_0$	Velocidade do som (kt)	Altitude (metros)
			hPa	psi	In.Hg				
	41.000			2,59					
	40.000	-56.5	188	2,72	5,54	0.1851	0.2462	573	12.192
	39.000	-56.5	197	2,85	5,81	0.1942	0.2583	573	11.887
	38.000	-56.5	206	2,99	6,10	0.2038	0.2710	573	11.582
	37.000	-56.5	217	3,14	6,40	0.2138	0.2844	573	11.278
	36.000	-56.3	227	3,30	6,71	0.2243	0.2981	573	10.973
Altitude do avião	30.000	-44.4	301	4,36	8,89	0.2970	0.3741	589	9.144
	29.000	-42.5	315	4,57	9,30	0.3107	0.3881	591	8.839
	28.000	-40.5	329	4,78	9,73	0.3250	0.4025	594	8.534
	27.000	-38.5	344	4,99	10,17	0.3398	0.4173	597	8.230
	26.000	-36.5	360	5,22	10,63	0.3552	0.4325	599	7.925
	25.000	-34.5	376	5,45	11,10	0.3711	0.4481	602	7.620
	24.000	-32.5	393	5,70	11,60	0.3876	0.4642	604	7.315
	23.000	-30.6	410	5,95	12,11	0.4046	0.4806	607	7.010
	22.000	-28.6	428	6,21	12,64	0.4223	0.4976	609	6.706
	21.000	-26.6	446	6,47	13,18	0.4406	0.5150	611	6.401
	20.000	-24.6	466	6,75	13,75	0.4595	0.5328	614	6.096
	19.000	-22.6	485	7,04	14,34	0.4791	0.5511	616	5.791
	18.000	-20.7	506	7,34	14,94	0.4994	0.5699	619	5.406
	17.000	-18.7	527	7,65	15,57	0.5203	0.5892	621	5.182
Constante delta de pressão	16.000	-16.7	549	7,97	16,22	0.5420	0.6090	624	4.877
	15.000	-14.7	572	8,29	16,89	0.5643	0.6292	626	4.572
	14.000	-12.7	595	8,63	17,58	0.5875	0.6500	628	4.267
	13.000	-10.8	619	8,99	18,29	0.6113	0.6713	631	3.962
	12.000	-8.8	644	9,35	19,03	0.6360	0.6932	633	3.658
	11.000	-6.8	670	9,72	19,79	0.6614	0.7156	636	3.353
	10.000	-4.8	697	10,10	20,58	0.6877	0.7385	638	3.048
	9.000	-2.8	724	10,51	21,39	0.7148	0.7620	640	2.743
	8.000	-0.8	753	10,92	22,22	0.7428	0.7860	643	2.438
	7.000	+1.1	782	11,34	23,09	0.7716	0.8106	645	2.134
	6.000	+3.1	812	11,78	23,98	0.8014	0.8359	647	1.829
Altitude da cabine	5.000	+5.1	843	12,23	24,90	0.8320	0.8617	650	1.524
	4.000	+7.1	875	12,69	25,84	0.8637	0.8881	652	1.219
	3.000	+ 9.1	908	13,17	26,82	0.8962	0.9151	654	914
	2.000	+11.0	942	13,67	27,82	0.9298	0.9428	656	610
	1.000	+13.0	977	14,17	28,86	0.9644	0.9711	659	305

Pressão diferencial  $12,23 - 4,36 = 7,8$  psid  
 $\Delta P = 7,8$

Destaca-se que o controle de pressão da cabine é automático. O comandante seleciona o nível de voo no painel de controle e, a partir daí, o sistema de pressurização, que inclui outros componentes de controle, passa a monitorar a altitude da cabine para mantê-la em 8.000 pés no máximo.



É válido ressaltar que a altitude máxima da cabine de passageiros é de 8.000 pés. No entanto, o diferencial máximo de pressão que a estrutura do avião pode atingir para alcançar essa altitude vai depender do projeto da aeronave e dos materiais que compõem sua estrutura, ou seja, se são de alumínio, fibra de carbono ou GLARE.

Existem aeronaves que utilizam um material chamado GLARE, que é uma sigla para alumínio reforçado com fibra de vidro. Ele contém, alternadamente, uma camada de alumínio e uma de fibra de vidro, unidas com uma cola chamada epoxi. Esse material é mais leve e resistente a desgastes e ao fogo do que o alumínio.

Utilizando o GLARE, a pressão interna da cabine pode ser aumentada, assim como o seu diferencial de pressão, permitindo ao avião voar mais alto e com maior economia de combustível. Em uma aeronave de grande porte, o GLARE a deixa mais leve. Quanto maior for o grau requerido de resistência ou carga, maiores serão as camadas de alumínio e fibra de vidro.

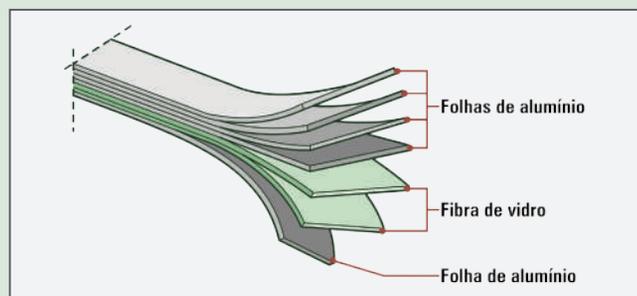


Figura 87 - Visualização do GLARE

Na Tabela 5, a altitude da cabine atingiu seu valor máximo de 8.000 pés, que é a altitude na qual os passageiros e tripulantes podem respirar com conforto. A altitude do avião passou de 35.000 para 37.000 pés, mas a altitude máxima da aeronave, ou seja, seu teto operacional, ainda não foi atingido. Nota-se que a pressão da cabine passou de 11,34 para 10,92 psi. O diferencial de

pressão permanece constante em 7,8 psid. A partir dessa altitude de cabine, 8.000 pés, não há mais elevação da cabine.

Tabela 5 - Atmosfera padrão internacional

Altitude (pés)	Temp. (°C)	Pressão			Relação de pressão $\sigma = P/P_0$	Densidade $\rho = P/P_0$	Velocidade do som (kt)	Altitude (metros)
		hPa	psi	In.Hg				
41.000			2,59					
40.000	-56.5	188	2,72	5,54	0.1851	0.2462	573	12.192
39.000	-56.5	197	2,85	5,81	0.1942	0.2583	573	11.887
38.000	-56.5	206	2,99	6,10	0.2038	0.2710	573	11.582
37.000	-56.5	217	3,14	6,40	0.2138	0.2844	573	11.278
36.000	-56.3	227	3,30	6,71	0.2243	0.2981	573	10.973
35.000	-54.3	238	3,46	7,04	0.2353	0.3099	576	10.668
34.000	-52.4	250	3,63	7,38	0.2467	0.3220	579	10.363
33.000	-50.4	262	3,80	7,74	0.2586	0.3345	581	10.058
32.000	-48.4	274	3,98	8,11	0.2706	0.3473	584	9.754
31.000	-46.4	287	4,17	8,49	0.2837	0.3605	586	9.449
30.000	-44.4	301	4,36	8,89	0.2970	0.3741	589	9.144
29.000	-42.5	315	4,57	9,30	0.3107	0.3881	591	8.839
28.000	-40.5	329	4,78	9,73	0.3250	0.4025	594	8.534
27.000	-38.5	344	4,99	10,17	0.3398	0.4173	597	8.230
26.000	-36.5	360	5,22	10,63	0.3552	0.4325	599	7.925
25.000	-34.5	376	5,45	11,10	0.3711	0.4481	602	7.620
24.000	-32.5	393	5,70	11,60	0.3876	0.4642	604	7.315
23.000	-30.6	410	5,95	12,11	0.4046	0.4806	607	7.010
22.000	-28.6	428	6,21	12,64	0.4223	0.4976	609	6.706
21.000	-26.6	446	6,47	13,18	0.4406	0.5150	611	6.401
20.000	-24.6	466	6,75	13,75	0.4595	0.5328	614	6.096
19.000	-22.6	485	7,04	14,34	0.4791	0.5511	616	5.791
18.000	-20.7	506	7,34	14,94	0.4994	0.5699	619	5.406
17.000	-18.7	527	7,65	15,57	0.5203	0.5892	621	5.182
16.000	-16.7	549	7,97	16,22	0.5420	0.6090	624	4.877
15.000	-14.7	572	8,29	16,89	0.5643	0.6292	626	4.572
14.000	-12.7	595	8,63	17,58	0.5875	0.6500	628	4.267
13.000	-10.8	619	8,99	18,29	0.6113	0.6713	631	3.962
12.000	-8.8	644	9,35	19,03	0.6360	0.6932	633	3.658
11.000	-6.8	670	9,72	19,79	0.6614	0.7156	636	3.353
10.000	-4.8	697	10,10	20,58	0.6877	0.7385	638	3.048
9.000	-2.8	724	10,51	21,39	0.7148	0.7620	640	2.743
8.000	-0.8	753	10,92	22,22	0.7428	0.7860	643	2.438
7.000	+1.1	782	11,34	23,09	0.7716	0.8106	645	2.134
6.000	+3.1	812	11,78	23,98	0.8014	0.8359	647	1.829
5.000	+5.1	843	12,23	24,90	0.8320	0.8617	650	1.524
4.000	+7.1	875	12,69	25,84	0.8637	0.8881	652	1.219
3.000	+9.1	908	13,17	26,82	0.8962	0.9151	654	914
2.000	+11.0	942	13,67	27,82	0.9298	0.9428	656	610
1.000	+13.0	977	14,17	28,86	0.9644	0.9711	659	305

Altitude do avião

Constante delta de pressão

Pressão diferencial  
 $11,34 - 3,46 = 7,8$  psid  
 $\Delta P = 7,8$

Altitude da cabine

Na Tabela 6, constata-se que a aeronave continua subindo de 37.000 para 40.000 pés, mas os parâmetros de altitude da cabine permanecem como se aeronave estivesse a 8.000 pés. Para manter a altitude de cabine mesmo com a elevação da altitude da aeronave, há um aumento no diferencial de pressão de 7,8 para 8,2 psid. O acréscimo é necessário devido à pressão atmosférica continuar decrescendo com a elevação da altitude. O valor da pressurização da cabine não pode ultrapassar 10,92 psi, que é a pressão máxima para manter-se a altitude simulada da cabine em

8.000 pés. É importante observar que a pressão da atmosfera mudou de 3,14 psi a 37.000 pés para 2,72 psi a 40.000 pés.

Tabela 6 - Atmosfera padrão internacional

Altitude (pés)	Temp. (°C)	Pressão			Relação de pressão $\sigma = P/P_0$	Densidade $\sigma = P/P_0$	Velocidade do som (kt)	Altitude (metros)
		hPa	psi	In.Hg				
41.000			2,59					
40.000	-56.5	188	2,72	5,54	0.1851	0.2462	573	12.192
39.000	-56.5	197	2,85	5,81	0.1942	0.2583	573	11.887
38.000	-56.5	206	2,99	6,10	0.2038	0.2710	573	11.582
37.000	-56.5	217	3,14	6,40	0.2138	0.2844	573	11.278
36.000	-56.3	227	3,30	6,71	0.2243	0.2981	573	10.973
35.000	-54.3	238	3,46	7,04	0.2353	0.3099	576	10.668
34.000	-52.4	250	3,63	7,38	0.2467	0.3220	579	10.363
33.000	-50.4	262	3,80	7,74	0.2586	0.3345	581	10.058
32.000	-48.4	274	3,98	8,11	0.2706	0.3473	584	9.754
31.000	-46.4	287	4,17	8,49	0.2837	0.3605	586	9.449
30.000	-44.4	301	4,36	8,89	0.2970	0.3741	589	9.144
29.000	-42.5	315	4,57	9,30	0.3107	0.3881	591	8.839
28.000	-40.5	329	4,78	9,73	0.3250	0.4025	594	8.534
27.000	-38.5	344	4,99	10,17	0.3398	0.4173	597	8.230
26.000	-36.5	360	5,22	10,63	0.3552	0.4325	599	7.925
25.000	-34.5	376	5,45	11,10	0.3711	0.4481	602	7.620
24.000	-32.5	393	5,70	11,60	0.3876	0.4642	604	7.315
23.000	-30.6	410	5,95	12,11	0.4046	0.4806	607	7.010
22.000	-28.6	428	6,21	12,64	0.4223	0.4976	609	6.706
21.000	-26.6	446	6,47	13,18	0.4406	0.5150	611	6.401
20.000	-24.6	466	6,75	13,75	0.4595	0.5328	614	6.096
19.000	-22.6	485	7,04	14,34	0.4791	0.5511	616	5.791
18.000	-20.7	506	7,34	14,94	0.4994	0.5699	619	5.486
17.000	-18.7	527	7,65	15,57	0.5203	0.5892	621	5.182
16.000	-16.7	549	7,97	16,22	0.5420	0.6090	624	4.877
15.000	-14.7	572	8,29	16,89	0.5643	0.6292	626	4.572
14.000	-12.7	595	8,63	17,58	0.5875	0.6500	628	4.267
13.000	-10.8	619	8,99	18,29	0.6113	0.6713	631	3.962
12.000	-8.8	644	9,35	19,03	0.6360	0.6932	633	3.658
11.000	-6.8	670	9,72	19,79	0.6614	0.7156	636	3.353
10.000	-4.8	697	10,10	20,58	0.6877	0.7385	638	3.048
9.000	-2.8	724	10,51	21,39	0.7148	0.7620	640	2.743
8.000	-0.8	753	10,92	22,22	0.7428	0.7860	643	2.438
7.000	+1.1	782	11,34	23,09	0.7716	0.8106	645	2.134
6.000	+3.1	812	11,78	23,98	0.8014	0.8359	647	1.829
5.000	+5.1	843	12,23	24,90	0.8320	0.8617	650	1.524
4.000	+7.1	875	12,69	25,84	0.8637	0.8881	652	1.219
3.000	+9.1	908	13,17	26,82	0.8962	0.9151	654	914
2.000	+11.0	942	13,67	27,82	0.9298	0.9428	656	610
1.000	+13.0	977	14,17	28,86	0.9644	0.9711	659	305

Altitude do avião

Constante delta de pressão  $\Delta P = 8,2$

Altitude da cabine não aumenta

Altitude da cabine

Na Tabela 7 pode-se verificar que a aeronave atinge o valor máximo do diferencial de pressão (8,3 psid) e altitude (41.000 pés) que sua estrutura pode comportar. Destaca-se que não há alterações na altitude da cabine.

Tabela 7 - Atmosfera padrão internacional

Altitude (pés)	Temp. (°C)	Pressão			Relação de pressão $\delta = P/P_0$	Densidade $\delta = P/P_0$	Velocidade do som (kt)	Altitude (metros)
		hPa	psi	In.Hg				
41.000			2,59					
40.000	-56.5	188	2,72	5,54	0.1851	0.2462	573	12.192
39.000	-56.5	197	2,85	5,81	0.1942	0.2583	573	11.887
38.000	-56.5	206	2,99	6,10	0.2038	0.2710	573	11.582
37.000	-56.5	217	3,14	6,40	0.2138	0.2844	573	11.278
36.000	-56.3	227	3,30	6,71	0.2243	0.2981	573	10.973
35.000	-54.3	238	3,46	7,04	0.2353	0.3099	576	10.668
34.000	-52.4	250	3,63	7,38	0.2467	0.3220	579	10.363
33.000	-50.4	262	3,80	7,74	0.2586	0.3345	581	10.058
32.000	-48.4	274	3,98	8,11	0.2706	0.3473	584	9.754
31.000	-46.4	287	4,17	8,49	0.2837	0.3605	586	9.449
30.000	-44.4	301	4,36	8,89	0.2970	0.3741	589	9.144
29.000	-42.5	315	4,57	9,30	0.3107	0.3881	591	8.839
28.000	-40.5	329	4,78	9,73	0.3250	0.4025	594	8.534
27.000	-38.5	344	4,99	10,17	0.3398	0.4173	597	8.230
26.000	-36.5	360	5,22	10,63	0.3552	0.4325	599	7.925
25.000	-34.5	376	5,45	11,10	0.3711	0.4481	602	7.620
24.000	-32.5	393	5,70	11,60	0.3876	0.4642	604	7.315
23.000	-30.6	410	5,95	12,11	0.4046	0.4806	607	7.010
22.000	-28.6	428	6,21	12,64	0.4223	0.4976	609	6.706
21.000	-26.6	446	6,47	13,18	0.4406	0.5150	611	6.401
20.000	-24.6	466	6,75	13,75	0.4595	0.5328	614	6.096
19.000	-22.6	485	7,04	14,34	0.4791	0.5511	616	5.791
18.000	-20.7	506	7,34	14,94	0.4994	0.5699	619	5.486
17.000	-18.7	527	7,65	15,57	0.5203	0.5892	621	5.182
16.000	-16.7	549	7,97	16,22	0.5420	0.6090	624	4.877
15.000	-14.7	572	8,29	16,89	0.5643	0.6292	626	4.572
14.000	-12.7	595	8,63	17,58	0.5875	0.6500	628	4.267
13.000	-10.8	619	8,99	18,29	0.6113	0.6713	631	3.962
12.000	-8.8	644	9,35	19,03	0.6360	0.6932	633	3.658
11.000	-6.8	670	9,72	19,79	0.6614	0.7156	636	3.353
10.000	-4.8	697	10,10	20,58	0.6877	0.7385	638	3.048
9.000	-2.8	724	10,51	21,39	0.7148	0.7620	640	2.743
8.000	-0.8	753	10,92	22,22	0.7428	0.7860	643	2.438
7.000	+1.1	782	11,34	23,09	0.7716	0.8106	645	2.134
6.000	+3.1	812	11,78	23,98	0.8014	0.8359	647	1.829
5.000	+5.1	843	12,23	24,90	0.8320	0.8617	650	1.524
4.000	+7.1	875	12,69	25,84	0.8637	0.8881	652	1.219
3.000	+9.1	908	13,17	26,82	0.8962	0.9151	654	914
2.000	+11.0	942	13,67	27,82	0.9298	0.9428	656	610
1.000	+13.0	977	14,17	28,86	0.9644	0.9711	659	305

Para realizar a manutenção do sistema de pressurização, é necessário pressurizar a aeronave em solo. O procedimento a ser adotado pela equipe de mecânicos está descrito no manual de manutenção do avião. Para verificação de vazamentos na estrutura das portas em decorrência de falha da válvula de controle de fluxo de saída, a pressurização em solo deve ser feita até atingir o diferencial máximo de pressão informado no manual da aeronave.

Após a obtenção do diferencial de pressurização em solo, deve-se selecionar o controle manual do sistema no painel da cabine de comando para controlar a abertura e o fechamento da válvula de fluxo. Com todas as portas fechadas e o sistema de ar condicionado operando, fecha-se a *outflow valve* e observa-se o aumento do diferencial de pressão e altitude da cabine. Se sua razão de subida e descida estiver muito alta, pode-se reduzi-la por meio da atuação da chave da válvula de fluxo.

Quando se atinge o diferencial de pressão desejado, as válvulas do sistema de ar condicionado são fechadas e a pressão retida no interior da aeronave deve ser observada com o intuito de constatar se ela se mantém ou se cai vagarosamente. Após certo tempo, verifica-se se a queda na pressão da cabine ficou dentro do período estipulado pelo manual de manutenção. Caso a queda seja maior que o limite determinado, é provável que exista um vazamento no sistema de pressurização.

Esse processo se assemelha à procura de vazamento de ar adotado nos pneus de carro. Após enchimento do pneu, ele é colocado dentro de um recipiente com água para se verificar a formação de bolhas. No avião é adotado o mesmo princípio, porém com a utilização de instrumentos.

### 3.5 Operação do sistema – modo automático

O sistema geralmente possui dois controles de pressurização da cabine (CPC). Os CPC para operação no modo automático se comunicam com computadores de outros sistemas por intermédio de barramento de dados digital, com o objetivo de efetuar automaticamente seu controle. Os sistemas que fornecem informações ao CPC são: EIU, LGCIU, ADIRU e FMGC.

O *engine interface unit* (EIU), ou, em tradução livre, unidade de interface do motor, é composto de computadores de controle dos motores que são responsáveis por fornecer ao CPC informações quanto ao funcionamento desses motores. Com esses dados, o CPC inicia a pré-pressurização e a sequência de pressurização da aeronave. A pré-pressurização é um procedimento em que o CPC pressuriza levemente o avião antes da decolagem, ou seja, na *fase de táxi*.

O *landing gear control and interface unit* (LGCIU), ou unidade de interface e controle do trem de pouso, é o computador responsável pela atuação do trem de pouso. Ele sinaliza para o CPC se a aeronave se encontra em solo ou voando. Esse sinal, chamado de *flight/ground*, faz parte da sequência de pré-pressurização e pressurização do sistema.

O sistema *air data/inertial reference unit* (ADIRU), ou, em tradução livre, unidade de referência inercial/dados de ar, é um computador que trabalha com informações de dados de ar recebidos por meio do *tubo de pilot*, tais como velocidade e altitude da aeronave. Esse computador envia o sinal de pressão estática ao CPC e o sinal de correção barométrica para controle do sistema de pressurização.

Já o *flight management and guidance computer* (FMGC), ou computador de orientação e gerenciamento de voo, envia ao CPC dados sobre a altitude de voo da aeronave, bem como a elevação do aeroporto para pouso em relação ao nível do mar. Antes de cada decolagem, o comandante insere os dados de voo no FMGC, que é o computador responsável pelo piloto automático. A partir dessas informações, o CPC consegue identificar a altitude de voo e o local de pouso por meio do banco de dados de sua memória.



**Fase de táxi:** deslocamento da aeronave até a cabeceira da pista.

**Tubo de pilot:** unidade que recebe pressão dinâmica do ar para informação de velocidade e pressão estática para informação de altitude da aeronave.

Todo o processo se inicia com a inserção do plano de voo no FMGC, incluindo o local de decolagem, a altitude de voo e o destino de chegada. O ADIRU envia o sinal de velocidade, altitude e localização da aeronave em relação ao globo terrestre para o controle de pressurização da cabine (CPC), ou seja, sua função se assemelha ao de um GPS (Figura 88). Com todas as informações carregadas no sistema, falta dar a partida nos motores. Com os dois motores funcionando, o EIU envia um sinal para o CPC, que realiza uma pré-pressurização da aeronave para decolagem.

O CPC sabe que a aeronave ainda está em solo devido às informações fornecidas pelo LGCIU, pois sensores de posição informam a esse sistema que o trem de pouso ainda está com o amortecedor comprimido por causa do peso do avião. Após a decolagem, o LGCIU informa ao CPC que a aeronave está em voo.

Como todo o sistema de computador da aeronave é interligado por uma rede de transmissão de dados, o CPC recebe do FMGC a altitude de voo e a altitude do campo de pouso planejada pelo comandante. A partir da informação do ADIRU de pressão estática, a pressão dinâmica assume o controle do sistema, abrindo ou fechando a válvula de controle de saída de fluxo (*outflow valve*) para manter a altitude selecionada do voo.

Embora o sistema possua dois CPC, apenas um opera de cada vez. O outro CPC fica ativo (*standby*), porém aguardando uma possível falha do CPC em controle para assumir automaticamente o comando. A mudança de comando ocorre após cada pouso, em que o LGCIU informa que o trem de pouso está com o amortecedor comprimido. Assim, o CPC que estava em controle passa a ser reserva e vice-versa, repetidas vezes a cada pouso.

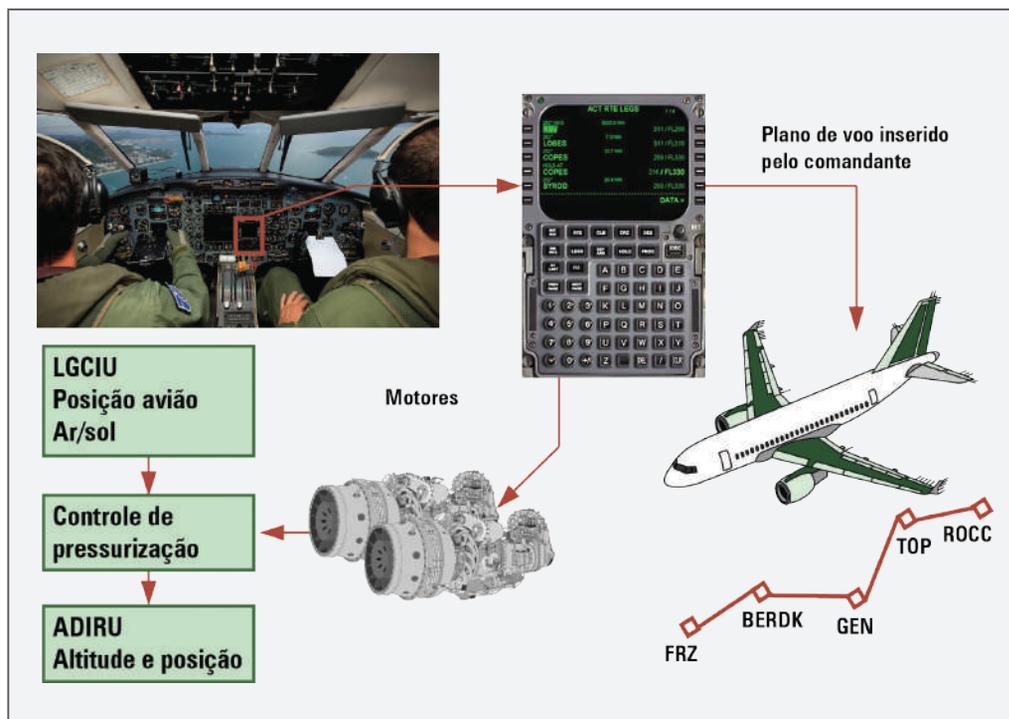
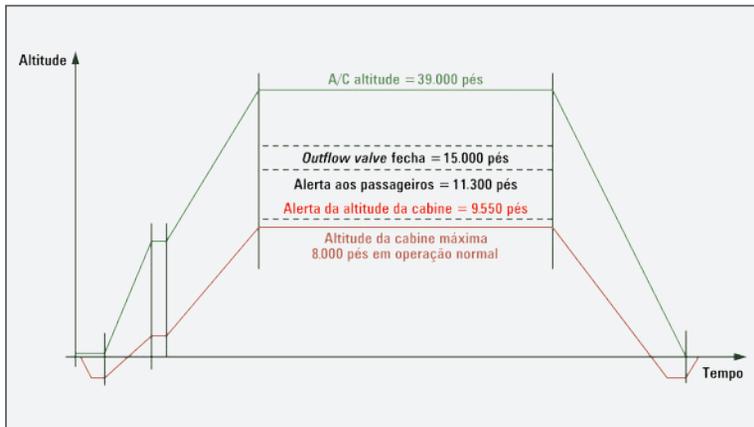


Figura 88 - Esquema do sistema de pressurização

O CPC mantém a altitude da cabine em 8.000 pés com um diferencial de pressão de 8,06 psid para uma altitude da aeronave de 39.000 pés. Se a altitude da cabine aumentar para 9.550 pés, um aviso luminoso vermelho chamado **MASTER WARNING** piscará constantemente junto com um alarme auditivo para informar ao comandante do aumento da altitude da cabine. Caso a altitude da cabine continue subindo e atinja 11.300 pés, um aviso de alerta aos passageiros será ativado e a *outflow valve*, por segurança, fechará quando a altitude da cabine atingir 15.000 pés.

GRÁFICO 3 - Razão de descida de uma aeronave



Dependendo da razão do aumento da altitude da cabine, o comandante deverá efetuar uma descida de emergência para alcançar a altitude de 8.000 pés o mais rápido possível. No Gráfico 3, observa-se a razão de descida de uma aeronave.

Em condições normais de operação, o seletor de **ELEVAÇÃO DO CAMPO**, no painel de pressurização, que informa a altitude do aeroporto em relação ao nível do mar para pouso, ficará selecionado na posição **AUTO**, para que os dados

sejam passados do FMGC para o CPC. Se o modo **AUTO** no painel não for selecionado, o sistema ignora a informação do FMGC e entra na operação semiautomática.

No caso de falha de um CPC, o sistema é automaticamente transferido para o outro que estava de reserva (*standby*) sem interrupção da pressurização da aeronave. No entanto, caso ocorra falha dos dois CPC, o modo manual deve ser usado, ou seja, o comandante deverá controlar manualmente a abertura e o fechamento da *outflow valve*. Válvulas de segurança são usadas para prevenir uma superpressurização da cabine do avião. Elas abrirão a uma pressão diferencial calibrada calculada pelo fabricante para permitir o alívio do fluxo de ar da cabine para o exterior.

## Resumindo

O sistema de ar condicionado tem a função de fornecer o ar com demanda suficiente para o sistema de pressurização da cabine da aeronave. O sistema possui controladores de pressurização (CPC), válvula de controle de saída de fluxo (*outflow valve*), válvulas de alívio de segurança e painel de controle.

O sistema de pressurização da aeronave tem a função de manter a altitude da cabine em 8.000 pés, o que garante conforto aos passageiros e tripulantes devido ao fornecimento suficiente de oxigênio para respiração. Algumas aeronaves voam em altitudes mais altas que outras devido ao seu *design* e ao material empregado na construção de sua fuselagem. No entanto, a altitude máxima da cabine sempre deve ser mantida em 8.000 pés. O que varia é o diferencial de pressão entre a altitude do avião e a altitude da cabine. A válvula de controle de fluxo de saída é comandada automaticamente pelo CPC ou manualmente pelo comandante. A saída de fluxo de ar por essa válvula define a quantidade de pressão na parte interna da cabine da aeronave.

# Capítulo 4

## Sistema de oxigênio

Em uma aeronave pressurizada, o sistema de oxigênio tem a função de dar suporte à vida no caso de falhas no sistema de pressurização. Além disso, o sistema também assegura o fornecimento emergencial de oxigênio aos passageiros e tripulantes em caso de depressurização explosiva durante voos a elevadas altitudes em que se tenha uma fuga de pressão repentina.

O sistema levado a bordo requer extremo cuidado na manutenção, pois é constituído de oxigênio puro, uma substância altamente inflamável. O oxigênio para o *cockpit* e o oxigênio portátil são armazenados na forma de gás, enquanto o oxigênio para os passageiros é gerado por reação química. Independente do tipo da fonte de oxigênio, deve-se ter em mente que esse sistema é emergencial e, portanto, deve estar sempre pronto para uso.

### 4.1 Características dos sistemas de oxigênio

O sistema de oxigênio da aeronave se subdivide em três partes: sistema do piloto e copiloto (tripulação técnica), sistema de passageiros e sistema portátil. O sistema da tripulação técnica, suprido por cilindros de oxigênio de alta pressão, é usado em caso de perda da pressurização da cabine, fumaça ou gases perigosos na cabine de comando (*cockpit*).

O sistema de oxigênio dos comissários de voo e passageiros é suprido por geradores químicos presentes em quatro localidades: lavatórios, cozinha (*galleys*), acima dos assentos dos comissários e cabine de passageiros. O sistema de garrafas portáteis, por sua vez, fornece oxigênio para toda a aeronave em situações de emergência e em caso de tratamento de primeiros socorros.

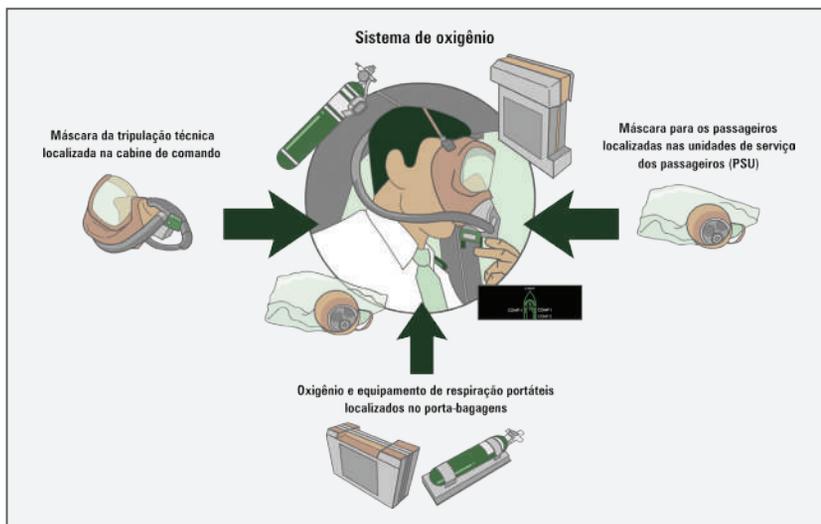


Figura 89 - Estrutura do sistema de oxigênio da aeronave

A redução da pressão atmosférica em altas altitudes resulta em uma menor quantidade de oxigênio fluindo pelo sangue. Esse problema pode ser solucionado de duas formas: aumentando a pressão de oxigênio ou aumentando a quantidade de oxigênio na mistura do ar.

As aeronaves de grande porte têm a cabine pressurizada, permitindo, dessa forma, introduzir no ar uma quantidade maior de oxigênio do que a encontrada na atmosfera (21% de seus gases totais). Nas Figuras 90.A, B, C e D, observam-se algumas propriedades dessa substância.

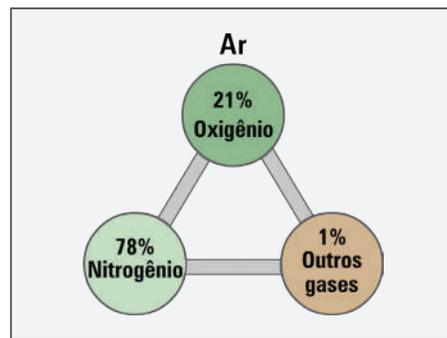


Figura 90.A - Composição do oxigênio



Figura 90.C - Incidente com oxigênio



Figura 90.B - Propriedades do oxigênio

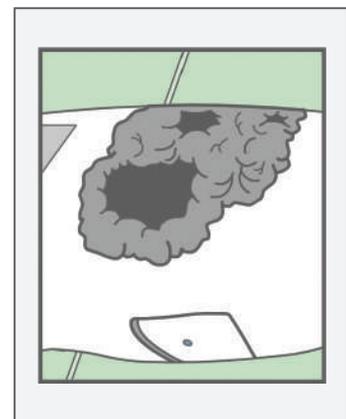


Figura 90.D - Incidente com oxigênio

O fogo acontece pela presença de três componentes: o material combustível, o oxigênio (comburente) e a fonte de ignição (calor). O fogo pode ser evitado pelo isolamento de uma dessas três fontes, chamadas de triângulo do fogo. Assim, o extintor de incêndio pode exercer sua função de apagar o fogo de três formas:

- por meio do abafamento, no qual se isola o oxigênio;
- por meio do resfriamento, em que se reduz a temperatura irradiada pela fonte de calor;
- por meio do isolamento, no qual se retira o combustível.

Na Figura 90.B, foi demonstrada uma visualização esquematizada do triângulo do fogo, bem como imagens de um incidente causado pelo oxigênio.

A porcentagem de oxigênio disponível para respiração nas aeronaves pressurizadas permanece a mesma, ocorrendo apenas um aumento na pressão. Ao se aumentar a quantidade de oxigênio nos pulmões, o processo de saturação do sangue requer menos pressão. Esta é a função básica do sistema de oxigênio da aeronave. Ao se aumentar o nível desse gás acima dos 21% encontrados na atmosfera, compensa-se a baixa pressão encontrada em grandes altitudes.

É possível regular o oxigênio presente no ar que é respirado para manter quantidade suficiente para saturar o sangue. A prática de atividades físicas pode ser mantida a altitudes superiores a 40.000 pés com o uso de oxigênio suplementar. Na aviação, a presença de oxigênio suplementar significa que a aeronave não é pressurizada. No entanto, o piloto pode levar garrafas de oxigênio a bordo para seu uso e, assim, alcançar elevadas altitudes.

O sistema que aumenta a quantidade de oxigênio disponível no ar é geralmente usado em aeronaves de pequeno e médio porte que não são pressurizadas. Nas aeronaves pressurizadas, o sistema de oxigênio funciona como reserva, ou seja, é utilizado apenas em casos de falhas no sistema de pressurização. Além disso, garrafas de oxigênio portáteis estão a bordo do avião para situações que demandam atendimento de primeiros socorros.

## 4.2 Cilindros de oxigênio

Por ser um gás, a estocagem e o transporte de oxigênio são feitos em cilindros de alta pressão. Tradicionalmente, os cilindros são de tanques de aço pesado que estocam oxigênio a uma pressão de 1.800 a 1.850 psi, embora possam suportar pressões acima de 2.400 psi.

Atualmente, é possível encontrar cilindros mais leves feitos de alumínio envolvido por uma fibra sintética de aramida. Eles são capazes de transportar a mesma quantidade de oxigênio sob a mesma pressão que os cilindros de aço. Há também os cilindros reforçados feitos inteiramente de alumínio, que são mais comumente utilizados em aeronaves leves. Os cilindros de oxigênio são pintados na cor verde.

Para garantir que as suas especificações de uso estejam dentro do padrão, os cilindros devem passar periodicamente pelo teste hidrostático. Em geral, o teste consiste em encher o cilindro com água e pressurizá-lo com 5/3 de pressão acima de sua razão de certificação. O cilindro não deverá apresentar vazamento, romper ou deformar além de seu limite estabelecido.

A Figura 91 mostra o teste hidrostático sendo realizado. Este é um tipo de teste hidrostático padrão usado para testar os cilindros de oxigênio. A água para pressurizar o cilindro para o nível de pressão do teste vem do barril abaixo do cilindro, mostrado na figura. A pressão da água é monitorada por manômetros montados no painel de controle. O deslocamento do pequeno barril na parte superior do cilindro que coleta a água do barril inferior mede a expansão do cilindro quando pressurizado para garantir que ele suporta a pressão limite.

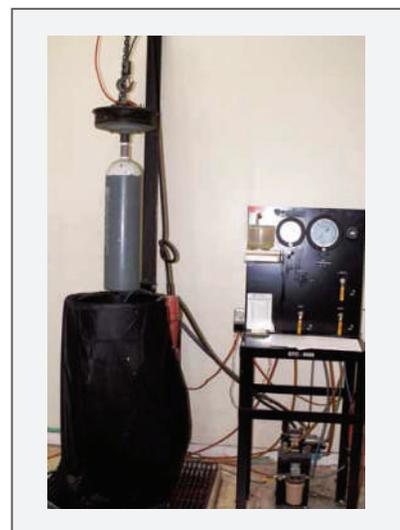


Figura 91 - Teste hidrostático do cilindro de oxigênio

Muitos cilindros possuem um limite de vida útil. Atingido esse limite, o cilindro não poderá mais ser usado. Após diversos ciclos de abastecimento do cilindro com oxigênio ou após vencida a data de validade, o cilindro deve ser removido de serviço. Os cilindros de aço de alta pressão mais comuns na aviação são o 3AA e o 3HT. Embora venham em vários tamanhos, eles têm a mesma certificação.

Os cilindros certificados DOT-E-8163 também são populares por serem extremamente leves. Tipicamente, esses cilindros têm um núcleo de alumínio envolvido por uma camada de fibra sintética de aramida. Sua especificação mudou de DOT-E-8163 para DOT-SP-8162. A especificação SP tem um intervalo para o teste hidrostático estendido para cinco anos em comparação aos três anos da especificação E (Tabela 8).

Tabela 8 - Cilindros comumente usados na aviação com especificação de teste e certificação

Tipo de certificação	Material	Pressão (psi)	Tempo requerido para o teste hidrostático em ano	Tempo de vida útil do cilindro em ano	Quantidade máxima de abastecimento
DOT 3AA	Aço	1.800	5	Ilimitado	N/A
DOT 3HT	Aço	1.850	3	24	4.380
DOT-E-8162	Composto	1.850	3	15	N/A
DOT-SP-8162	Composto	1.850	5	15	N/A
DOT 3AL	Alumínio	2.216	5	Ilimitado	N/A

## 4.3 Tipos de reguladores de pressão do sistema de oxigênio

O *design* de vários sistemas de oxigênio depende do tipo de aeronave. O sistema é frequentemente caracterizado pelo tipo de regulador de fluxo de oxigênio usado, podendo ser do tipo fluxo contínuo ou fluxo por demanda. Este último se subdivide em duas classificações: demanda com ar da cabine diluído ou demanda com pressão.

### 4.3.1 Regulador de fluxo de oxigênio contínuo

O sistema de fluxo contínuo instalado em algumas aeronaves fornece oxigênio à tripulação técnica (*cockpit*) e aos passageiros por meio de um cilindro de oxigênio. O sistema permite que o oxigênio saia deste recipiente através de uma válvula e entre em um regulador/reductor de pressão localizado na parte superior do cilindro. O fluxo de oxigênio em alta pressão passa pelo regulador, cuja função é reduzir a pressão do gás que vai para a máscara de oxigênio a ser usada. O fluxo de oxigênio é contínuo quando a válvula que o libera para o sistema é aberta, mesmo durante o processo de expirar o ar na respiração ou quando a máscara não está em uso. Assim, o fluxo selecionado de oxigênio permanece até a válvula de controle ser fechada.

Algumas aeronaves usam um sofisticado sistema de oxigênio de fluxo contínuo que possuem um regulador ajustável para controlar a quantidade de fluxo de gás de acordo com o aumento da altitude do avião. Este regulador pode ser manual ou automático. No modo manual, o regulador é ajustado pela tripulação técnica (piloto ou copiloto) conforme a mudança de altitude.



**Cápsula aneroide:** uma espécie de diafragma metálico que comprime ou expande de acordo com a variação da pressão atmosférica.

No modo automático, o regulador tem uma cápsula aneroide, que expande com a elevação da altitude, além de possuir um mecanismo que permite um maior fluxo de oxigênio para a máscara por meio do regulador de pressão. Na Figura 92, visualiza-se o painel de controle do regulador manual de oxigênio de fluxo contínuo. Já na Figura 93, há um diagrama do sistema de oxigênio de fluxo contínuo para aeronaves de pequeno e médio porte.



Figura 92 - Painel de controle do regulador manual de oxigênio de fluxo contínuo

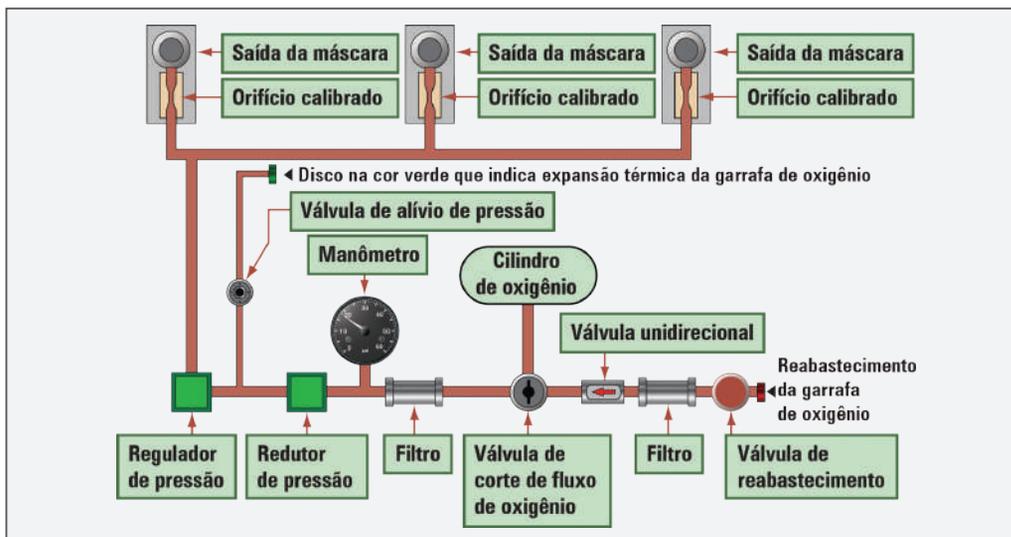


Figura 93 - Sistema de oxigênio de fluxo contínuo para aeronaves de pequeno e médio porte

### 4.3.2 Sistema de fluxo de oxigênio por demanda

O sistema por demanda é subdividido em dois: com regulador de ar da cabine diluído e o regulador de fluxo com pressão da demanda.

- a) Com regulador de ar da cabine diluído

Esse tipo de sistema de fluxo de oxigênio é mais comumente usado em aeronaves de grande porte. Muitos aviões têm a combinação dos dois sistemas, ou seja, fluxo contínuo

e fluxo por demanda. Neste caso, o sistema de fluxo por demanda fornece oxigênio para a cabine de comando enquanto o sistema de fluxo contínuo supre a cabine de passageiros. No sistema por demanda, o oxigênio é liberado somente na inspiração do ar para os pulmões. Durante a expiração, o sistema cessa o fluxo de oxigênio, evitando, dessa maneira, a perda do gás do cilindro e prolongando a sua duração de uso. O sistema de fluxo por demanda é similar ao sistema de fluxo contínuo. Quando a válvula de corte de fluxo é aberta, o oxigênio sai do cilindro e passa por um regulador/reductor de pressão e válvulas de alívio e de conexão, com o intuito de abastecer o cilindro sem removê-lo da aeronave. Entretanto, o regulador do sistema por demanda se difere significativamente do regulador de fluxo contínuo por trabalhar em conjunto com uma máscara que controla o fluxo de oxigênio (Figura 94).

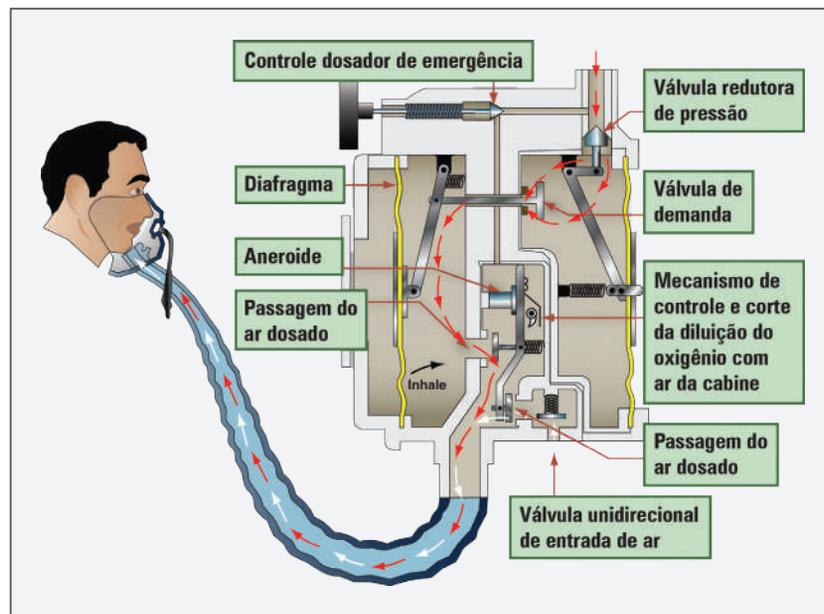


Figura 94 - Regulador de fluxo por demanda e diluição do oxigênio

O oxigênio sai do cilindro e passa pela válvula redutora de pressão, que diminui a pressão do sistema para uma faixa entre 60 e 85 psi. O fluxo do oxigênio para a máscara depende da abertura da válvula de demanda, que é controlada pelo componente chamado diafragma. A inspiração de ar feita pelos pulmões dos passageiros e tripulantes impacta no funcionamento do sistema de fluxo de oxigênio. Durante a inspiração humana, o componente diafragma movimenta a alavanca que aciona a válvula de demanda. Assim, essa válvula é forçada a abrir e, no ciclo de expiração dos pulmões, a fechar. Dessa forma, há o bloqueio do fluxo de oxigênio para a máscara, evitando a perda de gás durante a fase de expirar na respiração.

Um aneroide instalado em um mecanismo de alavanca permite que o oxigênio seja diluído com o ar vindo do *cockpit* quando a aeronave está voando em baixas altitudes. Esse ar flui entre os dois compartimentos através de uma válvula unidirecional. A quantidade de diluição do oxigênio depende da altitude da cabine. Quando a altitude aumenta, o aneroide permite a liberação de mais oxigênio e menos ar da cabine para a máscara por meio do ajuste da passagem do fluxo de ar dosado da cabine.

A uma altitude de aproximadamente 34.000 pés, o aneroide se contrai devido à baixa temperatura e pressão, fechando, dessa forma, a passagem de ar dosado. Esse procedimento permite um fluxo de 100% de oxigênio, embora isso só ocorra em caso de falhas no sistema de pressurização. Adicionalmente, o comandante pode selecionar a liberação de 100% de oxigênio a qualquer tempo, bastando apenas posicionar a alavanca de seleção no regulador. O controle dosador de emergência também libera 100% de oxigênio, mas em um fluxo contínuo. Nesse caso, o sistema de fluxo por demanda é contornado (*by-pass*).

b) Regulador de fluxo com pressão da demanda

O regulador de fluxo de pressão com demanda opera similarmente ao sistema de demanda de diluição. A diferença reside no fato de que o oxigênio é liberado através de um regulador individual sob pressão. Quando a válvula de demanda é aberta, o oxigênio sob pressão é forçado a entrar nos pulmões do usuário, garantindo, assim, a saturação do sangue. Esse sistema também dilui o oxigênio com o ar da cabine quando a altitude é menor que 34.000 pés. O regulador de pressão por demanda é usado em aeronaves que voam acima de 40.000 pés. Ressalta-se que ambos os reguladores de demanda por diluição ou de pressão vêm montados nas máscaras de oxigênio.

## 4.4 Indicador de fluxo de oxigênio e máscara de oxigênio

O indicador de fluxo de oxigênio é um dispositivo que permite uma rápida verificação no funcionamento do sistema de oxigênio. Já a máscara de oxigênio é um equipamento que cobre o rosto inteiro (*full face*). Ela possui mangueiras flexíveis que são infladas com o próprio oxigênio do sistema para permitir um rápido encaixe no rosto do usuário. Para inflar as mangueiras e permitir um aumento da área de encaixe, basta apertar duas abas na cor vermelha localizadas na própria máscara, conforme o demonstrado na Figura 95.

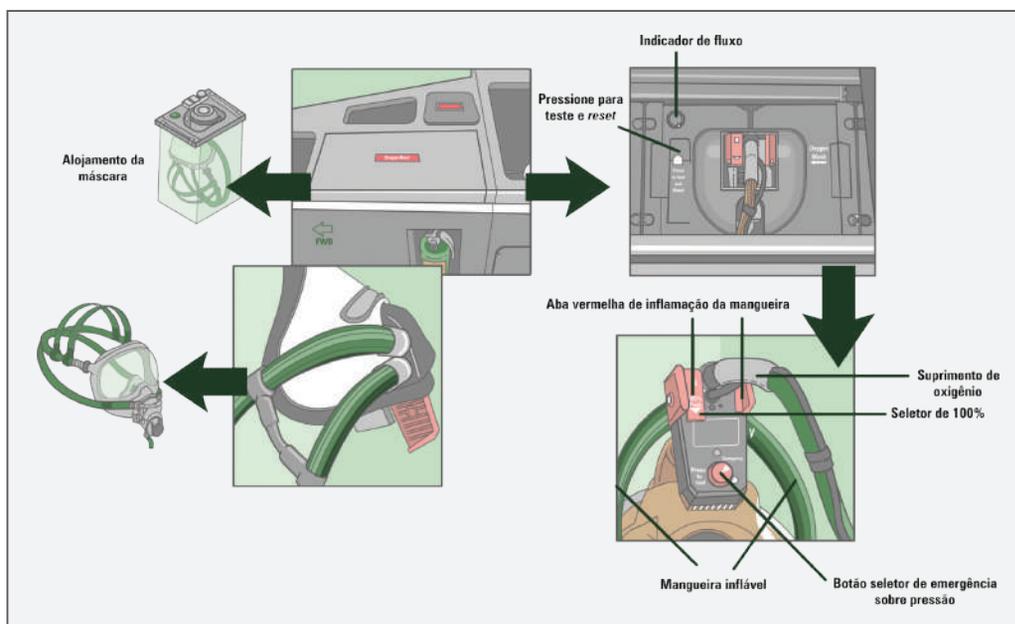


Figura 95 - Máscara de oxigênio do piloto e copiloto

## 4.5 Indicador de disco verde

Os sistemas de alta pressão e os cilindros de oxigênio são providos com válvulas de alívio que suavizam a pressão em caso de excesso no sistema, liberando-o para o lado externo à fuselagem do avião, onde um disco verde está instalado.

Durante a rotina de inspeção, o técnico deverá verificar a presença ou ausência do disco. A presença do disco no local indica que o sistema está operando normalmente. Já a sua ausência significa que a válvula abriu e o excesso de pressão foi aliviado do sistema de oxigênio. Nesse caso, o técnico de manutenção deverá investigar o sistema antes do próximo voo. Na Figura 96, há a localização do disco verde e a visão completa do sistema.

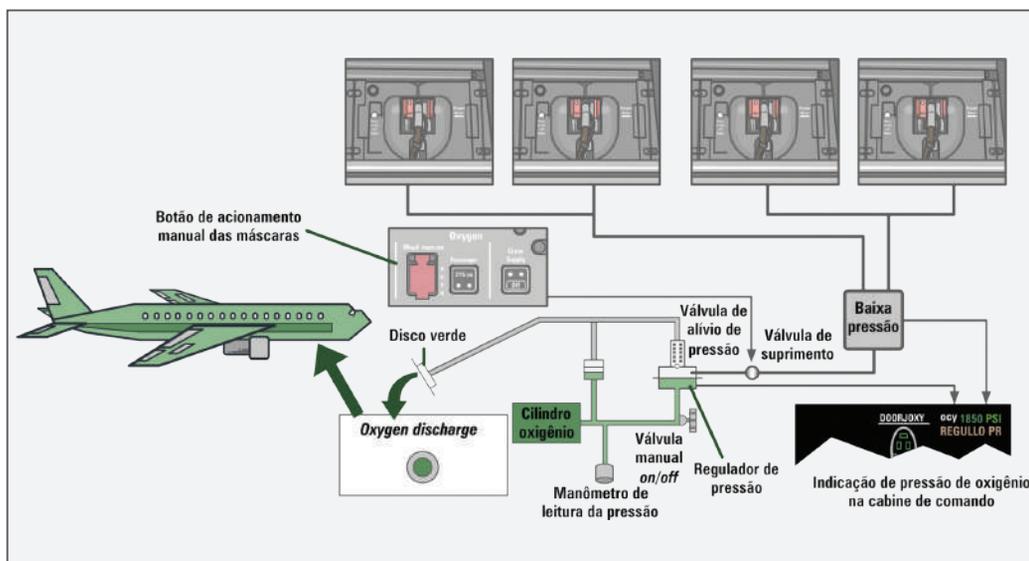


Figura 96 - Disco verde e vista completa do sistema

## 4.6 Válvula de corte de oxigênio de alta pressão instalada no cilindro

O ponto de ignição de algumas substâncias é baixo, ou seja, sua temperatura de combustão é baixa. Assim, o ponto de ignição do oxigênio puro é mais baixo do que quando ele está misturado no ar. Quando o oxigênio está sob alta pressão e, em seguida, ele é liberado para uma área de baixa pressão, sua velocidade pode atingir a velocidade do som.

Esse fenômeno ocorre quando o oxigênio sai do cilindro de alta pressão e vai para as mangueiras do sistema. Caso ele encontre uma obstrução – tais como uma válvula fechada, uma curva normal da conexão, um pouco de contaminante e etc. –, o oxigênio é comprimido por ela. A compressão, chamada de **compressão adiabática**, gera calor que não é igualmente dissipado naquele ponto de obstrução. Assim, o oxigênio atinge uma alta temperatura e, sob alta pressão, ele excede o ponto de ignição do material que o está obstruindo, resultando em fogo ou explosão.



**Compressão adiabática:** é o aquecimento devido à compressão. O calor gerado não provém de nenhuma fonte externa, apenas da compressão.

Uma linha de aço (tubulação), por exemplo, normalmente não queima e, por esse motivo, é usada para transportar muitos fluidos sob alta pressão e temperatura. No entanto, na presença de oxigênio 100% puro até mesmo a linha de aço pode entrar em combustão. Para combater esse problema, todas as válvulas de corte de oxigênio são de abertura interna lenta para diminuir a velocidade do gás. Adicionalmente, o técnico sempre deve abrir a válvula vagarosamente, evitando a passagem rápida do oxigênio pela linha. Na Figura 97, há mais detalhes quanto ao funcionamento e à localização da válvula.

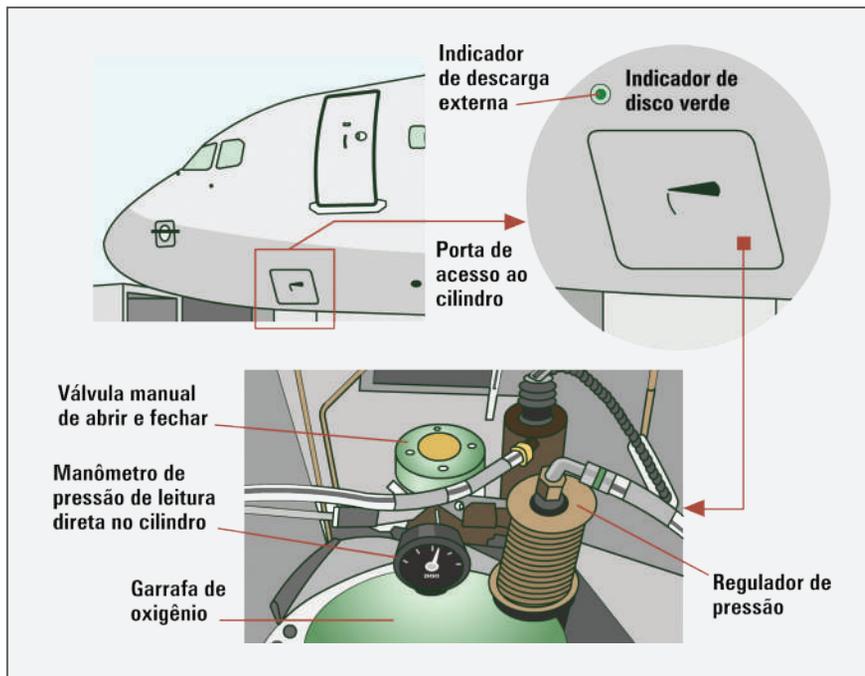


Figura 97 - Localização da válvula de corte do cilindro e do regulador de pressão

## 4.7 Operação do sistema de oxigênio da tripulação técnica

O sistema começa com a abertura da válvula manual no cilindro de oxigênio. A partir desse ponto, o controle é feito por meio do botão localizado no painel de controle na cabine de comando. A ativação do botão energiza o regulador de pressão, que ajusta a pressão de saída do cilindro de 1.980 psi para algo em torno de 80 psi. No caso de falha de pressurização da aeronave em que a cabine do avião venha a subir, o comandante remove a máscara de seu alojamento e aperta as abas vermelhas para inflar as mangueiras de ajuste para encaixe em seu rosto. Após a colocação da máscara, o comandante inicia uma descida brusca do avião para atingir uma altitude segura para respiração natural dos passageiros.

Durante a rotina de manutenção, o técnico deve verificar no painel da cabine de comando a quantidade de pressão da garrafa. Além disso, ele deve fechar a válvula interna do regulador de pressão através do botão de controle elétrico, que também se localiza no painel do *cockpit*. A

válvula manual de corte do cilindro de oxigênio somente é fechada durante a substituição do cilindro. Veja-se a Figura 98 para visualização geral desse sistema.

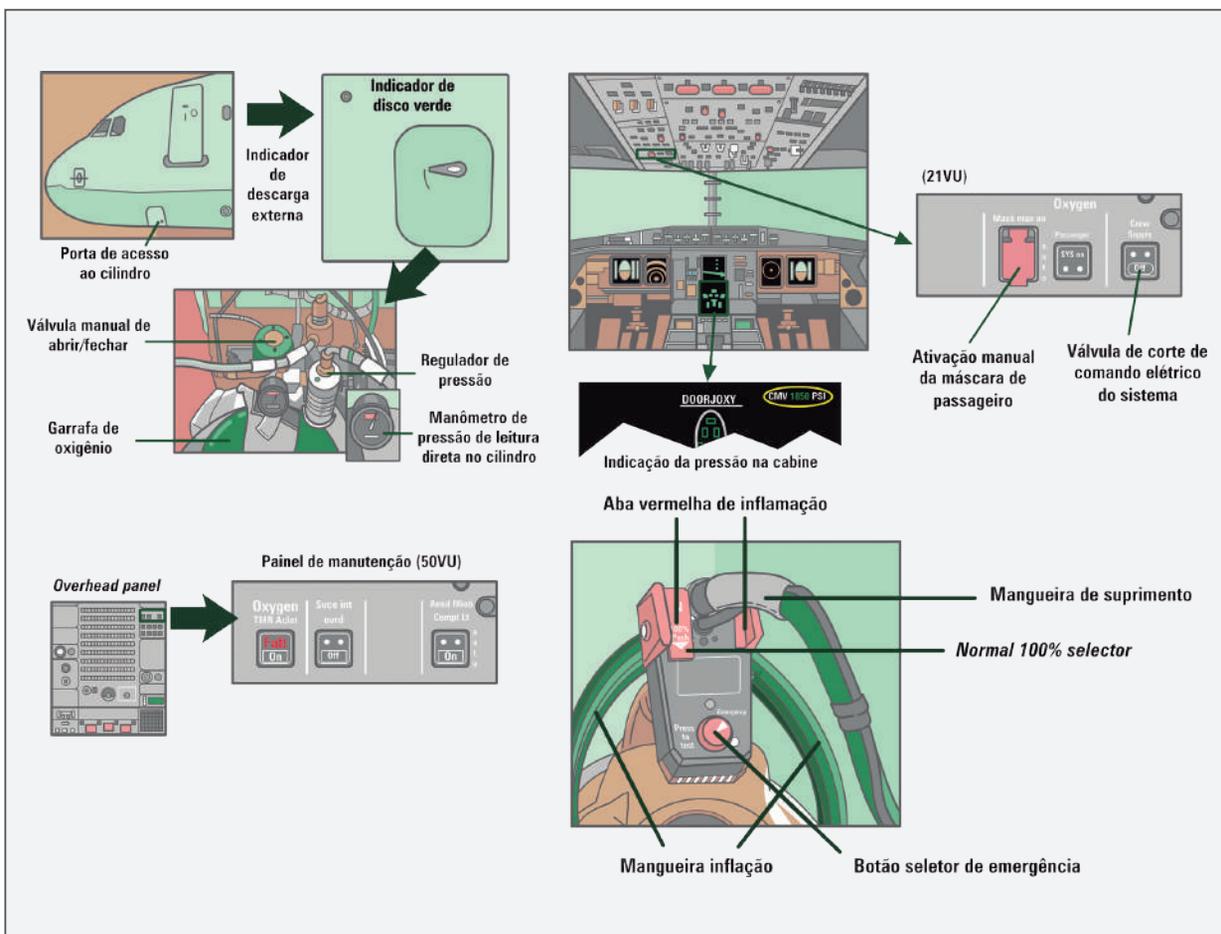


Figura 98 - Visualização geral do sistema de oxigênio da tripulação técnica

#### 4.7.1 Indicadores de pressão

Na maioria das aeronaves, a indicação de pressão do sistema consiste em um estágio de alta pressão, com um transmissor integrado que envia informações ao indicador de pressão localizado na cabine de comando, e um estágio de baixa pressão. O regulador de pressão regula a saída da garrafa entre 65 e 94 psig. Quando a válvula de suprimento é aberta, a proteção de alta pressão e de baixa pressão são ativadas.

A proteção de alta pressão é formada por um disco frágil que se rompe em casos de alta pressão, soprando um disco de cor verde para fora de seu local. Isso causará um alerta na cabine de comando. Já a proteção de baixa pressão é uma válvula de alívio. Ressalta-se que ambos os estágios estão ligados pela tubulação ao disco de cor verde na parte externa da fuselagem.

Um sensor monitora a pressão do sistema de oxigênio. Quando ela diminui de 50 psig para mais ou menos 5 psig, o sensor transmite um sinal de alerta indicando que a pressão do sistema está baixa.

GRÁFICO 4 - Pressão x temperatura

Na cabine de comando, existem três ou quatro assentos, que são ocupados pelo comandante, copiloto, 1º observador e 2º observador. O observador é um tripulante que se encontra na cabine para cursos, um inspetor da ANAC ou outro. Para cada assento na cabine, é obrigatória uma máscara de oxigênio. Por isso, o sistema de oxigênio deve ser dimensionado de acordo com o número de assentos na cabine, assim como o tamanho do cilindro que irá armazenar o oxigênio sob pressão.

Com a diminuição da pressão do cilindro de oxigênio ao longo do tempo, a quantidade de tripulantes que pode sentar na cabine durante o voo também diminui. Caso o comandante reporte à equipe de manutenção que o sistema de oxigênio se encontra com baixa pressão, o técnico deverá

consultar uma tabela de pressão x temperatura (Gráfico 4), que mostrará a pressão mínima necessária para liberar a aeronave para voo com dois tripulantes no *cockpit*: o comandante e o copiloto (Tabela 9).

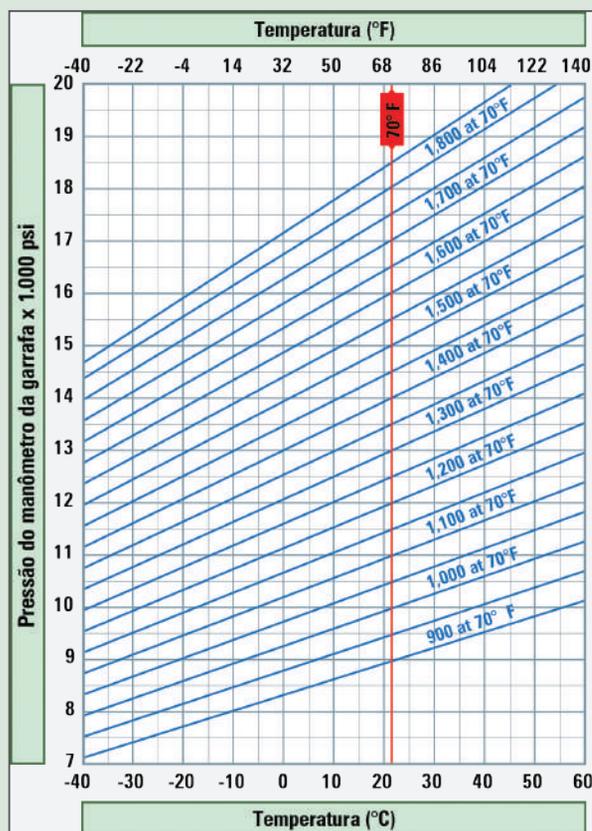


Tabela 9 - Quantidade de tripulantes na cabine x pressão mínima da garrafa de oxigênio

Temperatura		°C	-10	0	10	20	30	40	50
		°F	14	32	50	68	86	104	122
Pressão mínima da garrafa de oxigênio (psi)	2 membros da equipe		656	681	706	731	756	781	806
	2 membros da equipe + 1 observador		861	893	926	959	992	1024	1057
	2 membros da equipe + 2 observadores		1090	1132	1173	1215	1256	1298	1339

## 4.8 Características do sistema de geração química de oxigênio

Em aeronaves de grande porte, o sistema de oxigênio geralmente usado para suprir os passageiros provém de um gerador químico localizado em um compartimento acima da cabeça dos passageiros, chamado de *passenger service unit* (PSU). O gerador é ligado a mangueiras que contêm máscaras de oxigênio sobre cada assento do avião.

Quando há depressurização da aeronave, o comandante aciona uma chave de ativação no painel da cabine de comando. A porta do alojamento das máscaras no PSU abre e as máscaras caem na frente dos passageiros. Na Figura 99, é possível observar a localização e o funcionamento do sistema.

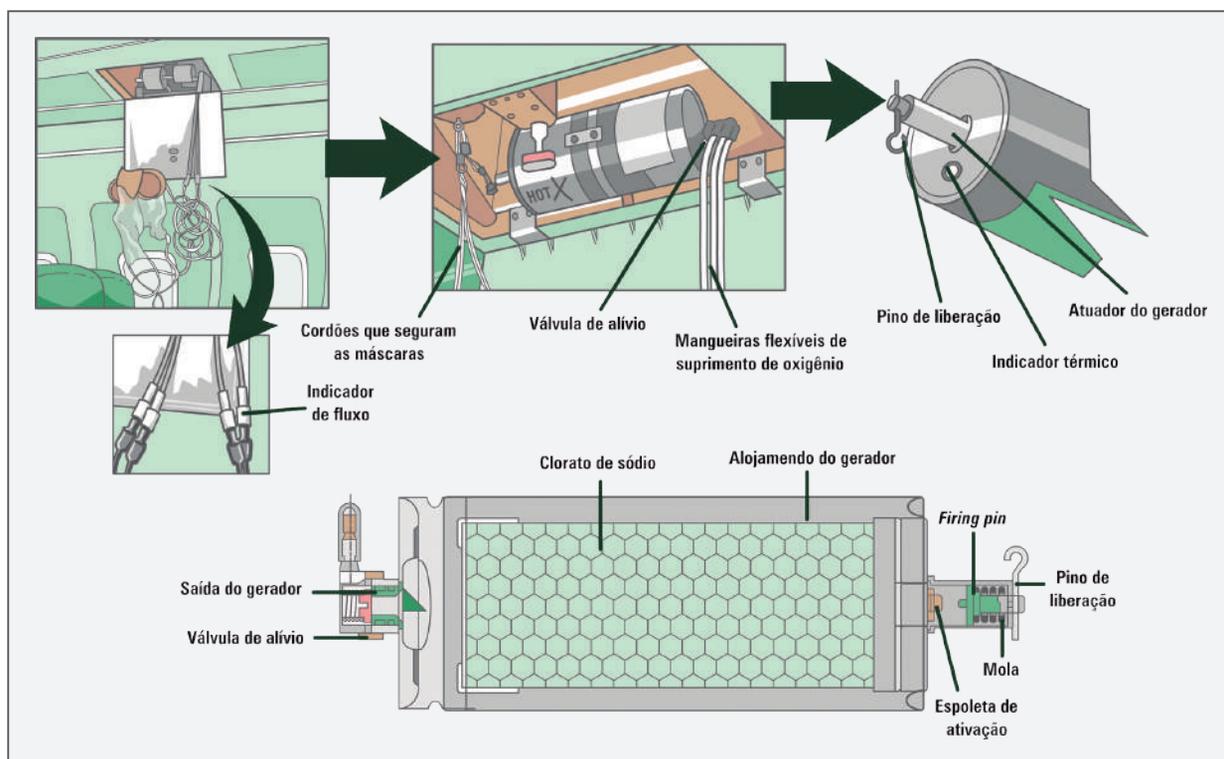


Figura 99 - Componentes do sistema de gerador químico

O passageiro puxa firmemente a máscara para ativar um dispositivo de corrente elétrica ou um dispositivo com espoleta que cria uma ignição, iniciando-se, assim, uma reação química que produzirá o oxigênio. Tipicamente, o gerador químico fornece um fluxo de oxigênio entre 10 e 20 minutos para cada passageiro. Esse período de tempo é o suficiente para o comandante descer a aeronave a uma altitude de segurança, na qual os passageiros possam respirar sem a assistência do gerador químico.

As máscaras caem automaticamente quando a altitude da cabine aumenta para 14.000 pés ou manualmente por meio do acionamento do botão **MASK MANUAL** ou, em português, botão de máscara manual, no painel de controle da cabine de comando. Ao puxar a máscara firmemente,

o pino de liberação se solta e a mola impulsiona o *fring pin* (pino de fogo). Esse pino colide com um dispositivo explosivo na forma de espoleta que desencadeia uma reação química dentro do cilindro que produzirá artificialmente o oxigênio.

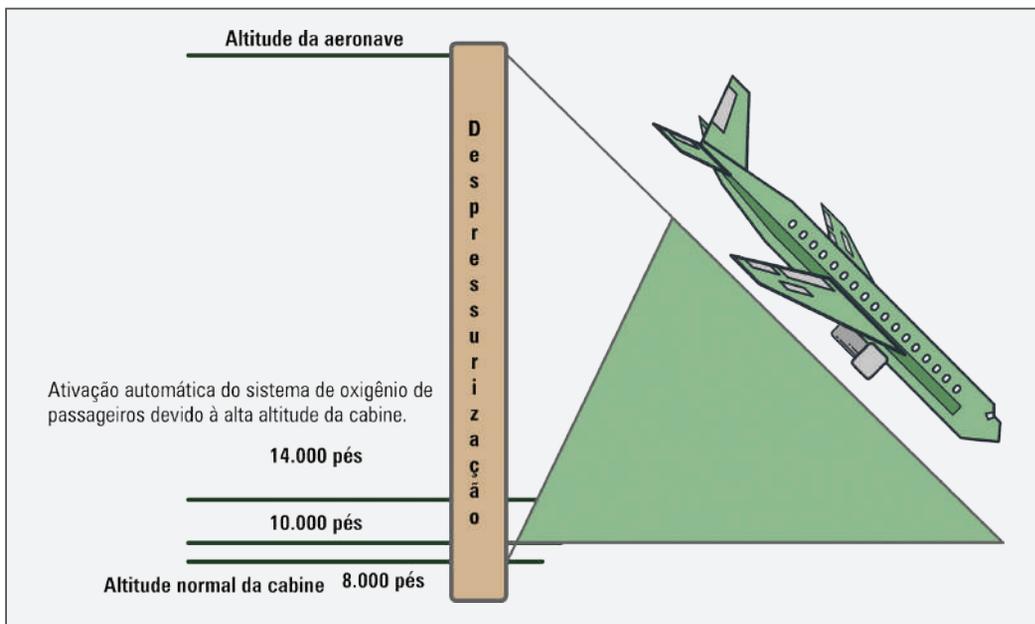


Figura 100 - Procedimento correto no caso de despressurização da aeronave

O gerador químico usa o princípio básico da decomposição térmica do clorato de sódio. Um indicador térmico mostra a condição de uso do gerador, ou seja, se o gerador químico for usado, ele mudará sua coloração (Figura 101).

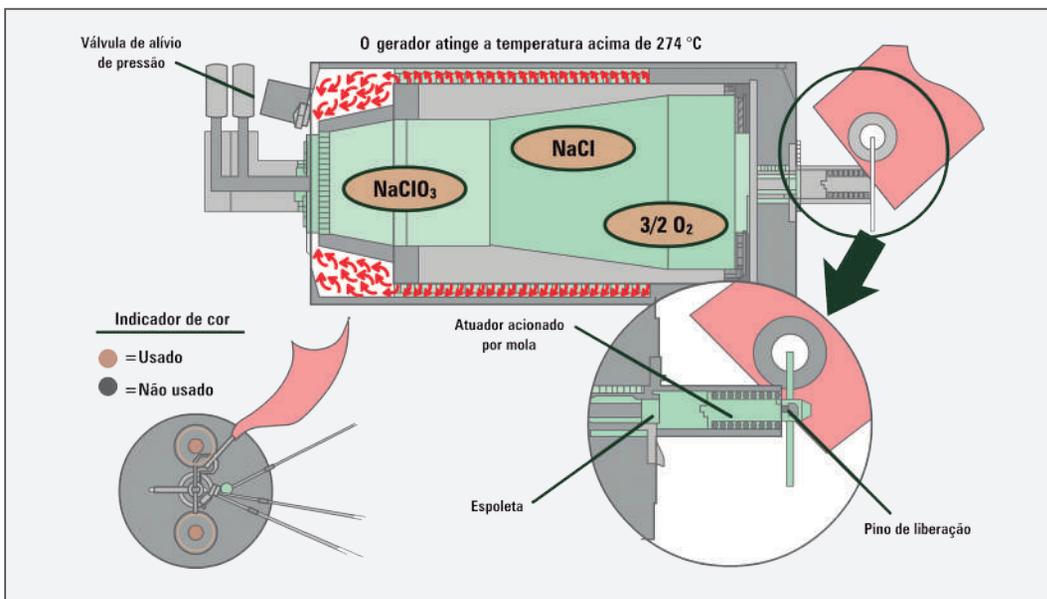


Figura 101 - Indicador de temperatura do gerador químico

O sistema de oxigênio com gerador químico só produzirá oxigênio quando a sua reação química for ativada. Isso permite o transporte, com segurança, de uma fonte de oxigênio com pouca manutenção, além de demandar menos espaço e possuir pouco peso em comparação com o sistema de oxigênio com cilindro. Cada fileira de cadeiras tem um gerador químico independente que fornece oxigênio para cada passageiro.

Os cilindros de oxigênio e os geradores químicos são considerados cargas perigosas (Figura 103), seu transporte e manuseio devem seguir normas rígidas que determinam embalagens especiais e documentação que atestem a adoção de todas as medidas cabíveis para transporte desses componentes. Por isso, é importante jamais colocar cargas consideradas perigosas em embalagens normais no porão da aeronave. Para todas as cargas perigosas existe uma legislação específica que consta no manual denominado *dangerous goods regulations* (DGR) ou, em português, regulamento de mercadorias perigosas.

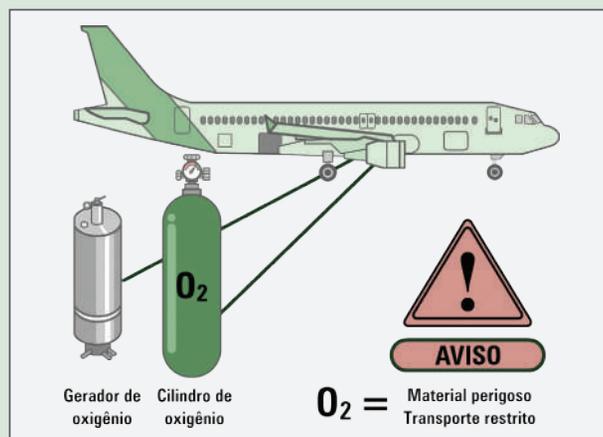


Figura 102 - Materiais considerados DGR

## 4.9 Equipamento portátil de oxigênio

O equipamento portátil de oxigênio geralmente é usado em situações emergenciais, ou seja, em que se tenha risco à segurança da aeronave, de seus passageiros e tripulantes. O conhecimento do avião, aliado ao manuseio correto de seus equipamentos, pode garantir um melhor desempenho nesses casos.

### 4.9.1 Garrafa portátil de oxigênio

O sistema possui garrafas de oxigênio portáteis instaladas na cabine de passageiros para uso em situações de emergência ou em casos que requerem atendimento de primeiros socorros. O sistema também inclui equipamento protetor de respiração (EPR), em inglês, *protective*

*breathing equipment* (PBE), para uso da tripulação contra fumaça e gases tóxicos, além de fornecer uma proteção visual efetiva para que o tripulante possa alcançar o extintor de incêndio e usá-lo na base do fogo. Um sistema de oxigênio portátil (Figura 103) inclui ainda:

- um cilindro, geralmente de 312 litros (11 pés cúbicos);
- um redutor de pressão **ON-OFF** (ligar-desligar);
- um manômetro;
- uma válvula de enchimento;
- uma válvula de alívio de alta pressão;
- duas saídas de oxigênio;
- alças para transporte;
- duas máscaras terapêuticas de fluxo constante.

A pressão de demanda é calculada para um fornecimento de oxigênio de até 30 minutos. O redutor de pressão tem um disco de ruptura para proteção que se quebrará a uma pressão de 2.300 a 3.000 psi.

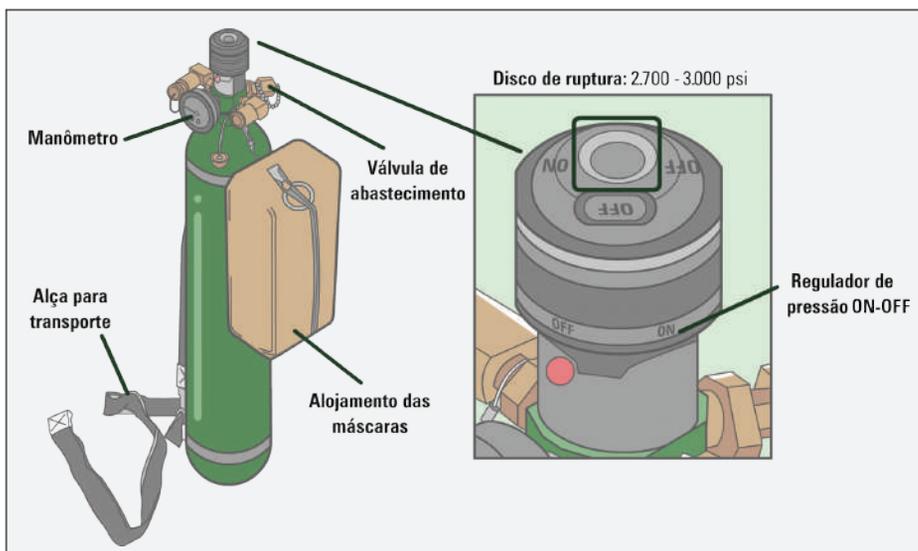


Figura 103 - Cilindro de oxigênio portátil

#### 4.9.2 Equipamento de proteção contra fumaça

O equipamento protetor de respiração (EPR) é armazenado em uma embalagem de alumínio selada a vácuo e localizada dentro de uma maleta de material rígido. A maleta possui um indicador verde que sinaliza que a selagem a vácuo do EPR encontra-se em situação normal de uso. No caso de vazamento interno de oxigênio do EPR, o disco mudará para a cor vermelha indicando que a selagem a vácuo foi perdida e que o tempo de uso do equipamento em uma emergência não é confiável.

Na Figura 104, há uma visualização detalhada do EPR.

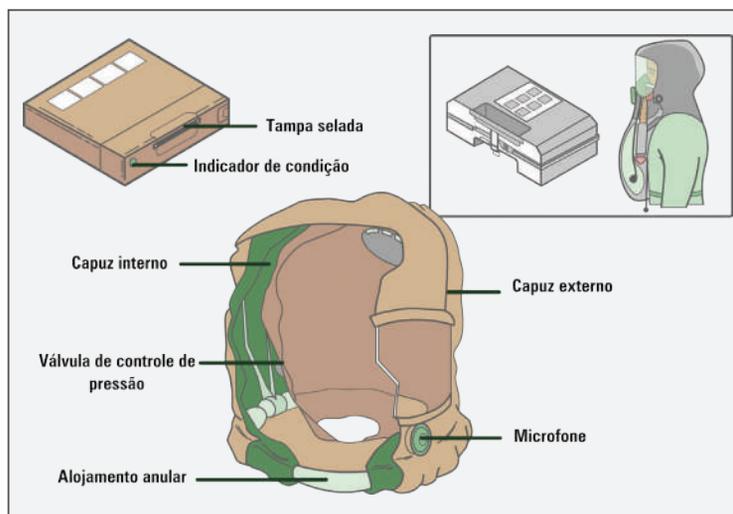


Figura 104 - Visualização do EPR

## 4.10 Manutenção e inspeção do sistema de oxigênio



**Material composto:** material que tem em sua composição o carbono, a fibra sintética de aramida e a fibra de vidro.

O sistema de oxigênio tem uso geral, sobretudo no cotidiano do setor de aviação. O uso de cilindros de alumínio e de material composto com baixo peso tem melhorado este simples e confiável sistema que dá suporte à vida. Todos os sistemas de oxigênio requerem manutenção fácil, mas o perigo de explosão é real se forem negligenciados os procedimentos de segurança requeridos pelo manual de manutenção.

A manutenção preventiva requer a verificação da pressão de oxigênio por meio do manômetro da garrafa ou da cabine de comando. Se a pressão estiver abaixo do recomendado, haverá a necessidade da substituição do cilindro. Se o projeto da aeronave permitir, é necessário o reabastecimento dele sem necessidade da remoção da garrafa de oxigênio do seu alojamento no avião.

Para substituição do cilindro ou recarga de oxigênio, primeiramente, o técnico deve colocar um aviso na cabine de comando sobre a realização de manutenção no sistema de oxigênio para alertar outros membros da equipe ou tripulação sobre a realização da tarefa.

As ferramentas que serão usadas nas tarefas devem ser limpas com álcool isopropílico. As mãos devem ser lavadas e, se possível, utilizam-se luvas descartáveis para manuseio do cilindro de oxigênio.

No cilindro de oxigênio, a válvula de suprimento do sistema deve ser fechada totalmente.

A partir desse ponto, para fazer a substituição, é necessário desconectar as mangueiras do regulador de pressão e a mangueira do disco verde de expansão, que estão conectadas ao cilindro de oxigênio e remover o cilindro. Após a instalação do novo equipamento, abrir vagarosamente a válvula de suprimento de oxigênio do sistema, remover a placa da cabine de comando.

Para a recarga do cilindro do sistema de oxigênio, sem necessidade de removê-lo da aeronave, um cilindro externo deve ser conectado. Esse equipamento está disponível comercialmente nas

empresas de gás ou na aeronave. Deve-se abrir vagarosamente a válvula do cilindro externo e observar o manômetro do cilindro que está instalado na aeronave, o qual começará a subir até atingir sua pressão nominal. Dependendo da temperatura, ficará em 1.800 psi, após desconectar o cilindro externo.

É necessário inspecionar, por meio de um líquido detector de vazamento, se as conexões que foram manuseadas não apresentam vazamentos.

## 4.11 Teste de vazamento do sistema de oxigênio

Um vazamento em um sistema de oxigênio de fluxo contínuo pode ser difícil de detectar porque o sistema é aberto até o comandante, ou seja, após a utilização pelo usuário final o oxigênio sai do sistema para o ambiente externo, não podendo, assim, ser reaproveitado. Um vazamento será de difícil detecção uma vez que ele pode ocorrer pela tubulação, pela conexão e pelo uso normal da máscara de oxigênio.

Para identificar, um teste pode ser executado com um fluido detector que gera bolhas, indicando ao técnico em manutenção o local do vazamento. O procedimento se assemelha ao realizado em pneus e câmaras de ar no qual o detector de vazamento é aplicado na parte externa do local a ser verificado, tal como acoplamentos e mangueiras. A presença de bolhas indica vazamento de ar (Figura 105). Caso uma conexão apresente vazamento, deve-se verificar o **torque** correto. No caso de não cessar com um aperto, a pressão deve ser removida do sistema e a conexão deve ser inspecionada em busca de falhas ou sujeira. A substituição do equipamento deve ser feita quando não tiver solução.

Ressalta-se a importância de respeitar os procedimentos de substituição, limpeza e inspeção definidos pelo manual de manutenção da aeronave e seguir as normas e procedimentos de segurança. A abertura da válvula manual do cilindro pressuriza as linhas (tubulação) e componentes com 1.850 psi de oxigênio. O técnico em manutenção precisa identificar a parte de alta pressão do sistema, que se localiza antes do regulador de pressão, onde a tubulação é de aço.

O técnico não deve apertar uma conexão da linha (tubulação) com pressão no sistema. A válvula manual do cilindro deverá ser fechada para isolar este recipiente

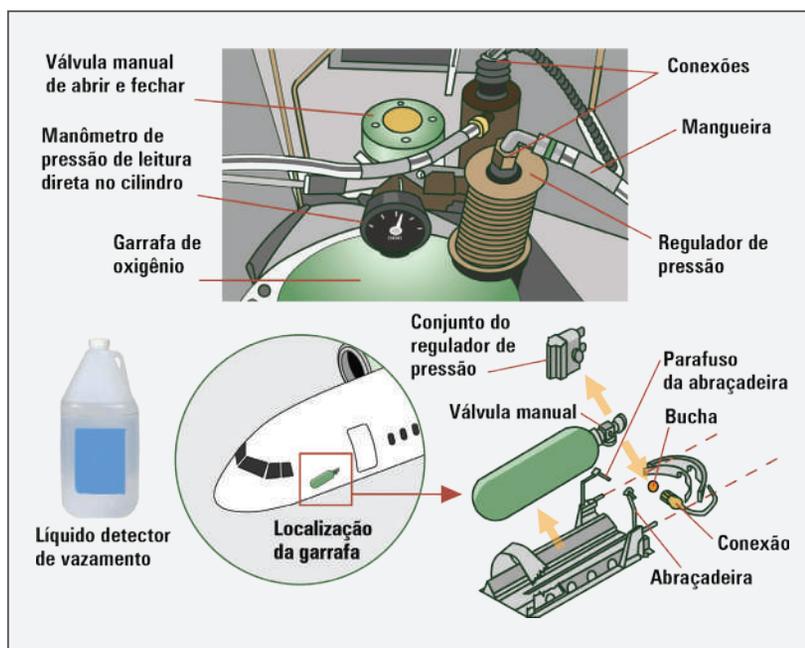


Figura 105 - Detector de vazamento, conexões e localização do cilindro



**Torque:** definido como a força aplicada vezes a distância; aperto;  
 $T = F \times D$

e o sistema despressurizado com o intuito de reduzir as consequências em caso de centelha ou falhas de uma conexão. Todos os demais serviços executados na aeronave devem ser analisados quanto ao seu potencial de risco à segurança. Nas Figuras 106.A, B, C, D e E, há algumas precauções que devem ser tomadas durante o manuseio deste sistema.



Figura 106.A - Procedimentos de segurança presentes no manual de instruções

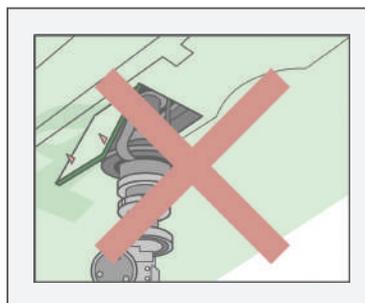


Figura 106.B - Parar o abastecimento de combustível



Figura 106.C - Parar o abastecimento do sistema hidráulico

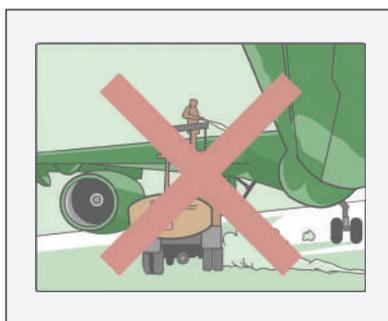


Figura 106.D - Parar o degelo da aeronave em locais frios

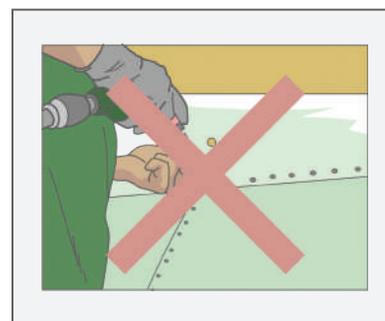


Figura 106.E - Parar as operações que causem aquecimento e chama

## 4.12 Drenagem de um sistema de oxigênio

O procedimento de drenagem consiste em liberar o oxigênio do sistema de forma segura na atmosfera, sem causar fogo, explosão ou perigo. É muito importante que a drenagem do cilindro de oxigênio seja feita fora do ambiente de instalação. O método pode variar, porém o procedimento básico envolve estabelecer um fluxo contínuo de vazão do oxigênio em uma área segura até o sistema estar vazio.

Ressalta-se a importância de fechar a válvula manual do cilindro caso ela esteja aberta, com o objetivo de isolar o suprimento de oxigênio do cilindro. O restante, como mangueiras e componentes, deve ser esvaziado sem a abertura de conexões. O gás deve fluir para o meio ambiente por um ponto de uso normal do sistema.

Na cabine de comando, a máscara de oxigênio deve ser posicionada para a função emergência, resultando, assim, na liberação de um fluxo contínuo de oxigênio para a máscara. Deixa-se o gás ser drenado para o exterior da aeronave até não haver oxigênio residual nas linhas e componentes. Destaca-se que o oxigênio contido nos cilindros é puro e, portanto, potencializa a explosão e combustão. Por isso, é importante evitar o manuseio de fontes de ignição (Figuras 107.A, B, C, D, E, F e G) que possam inflamar o oxigênio nas proximidades da área em que se realiza a drenagem, pois sérios danos podem ser causados ao técnico e à aeronave.

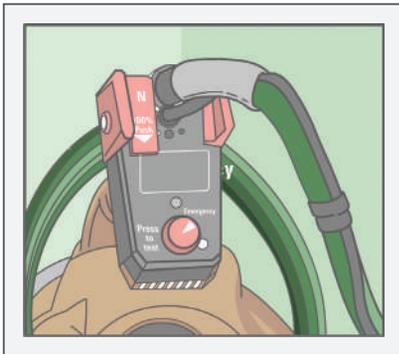


Figura 107.A - Abas de inflação das mangueiras de ajuste na cabeça, botão de ajuste em emergência

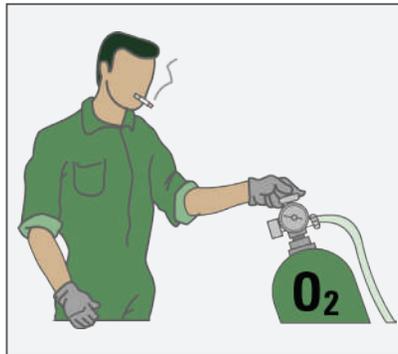


Figura 107.B - Faíscas soltas por um cigarro



Figura 107.C - Partículas incandescentes

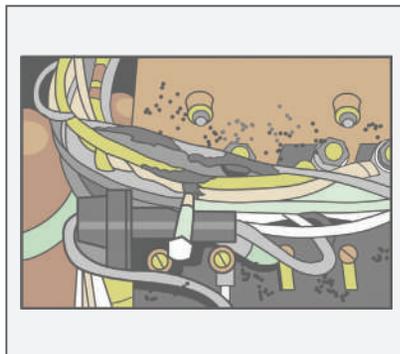


Figura 107.D - Superaquecimento da parte elétrica da aeronave

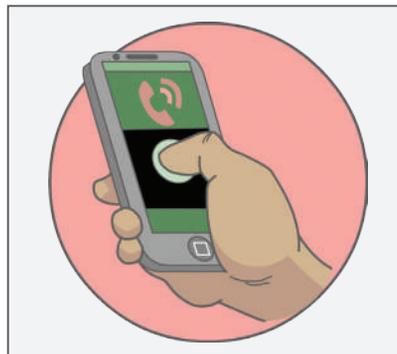


Figura 107.E - Descarga elétrica

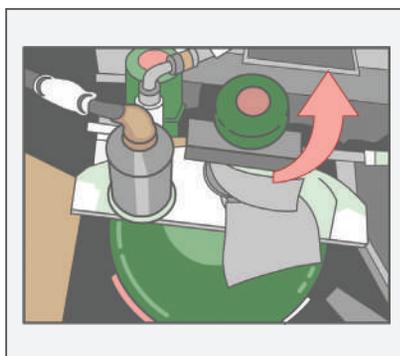


Figura 107.F - Abertura rápida da válvula manual, causando aquecimento



Figura 107.G - Vestígios de hidrocarbono

## 4.13 Procedimentos de reabastecimento de um sistema de oxigênio

Em algumas aeronaves, o cilindro vazio de oxigênio é apenas substituído por um cheio, como ocorre com o portátil. Em outras, é reabastecido sem a necessidade de removê-lo do avião. Nesse caso, o sistema incluirá tubulação e conexões. Os procedimentos a serem adotados, ao reabastecer algum sistema com oxigênio, estão estabelecidos no manual de manutenção da aeronave. Ressalta-se a importância de atender às medidas de segurança, usar o equipamento correto e realizar os procedimentos e o teste do sistema.

Para reabastecer o sistema, utiliza-se um adaptador para conexão entre a aeronave e uma garrafa externa contendo oxigênio. Não é necessário o uso de bombas manuais de transferência, pois o processo ocorre porque o cilindro externo possui maior pressão do que o cilindro instalado na aeronave. Salienta-se que o fluxo acontece da área com alta pressão para a de baixa pressão.

Na Figura 108, visualizam-se o carrinho externo de oxigênio e a conexão de acoplamento na aeronave.

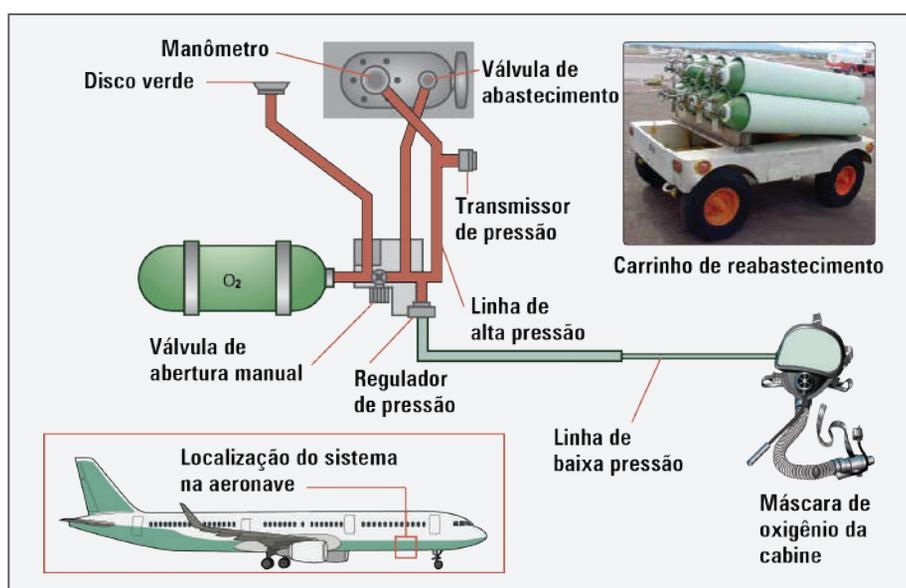


Figura 108 - Carrinho externo de oxigênio e conexão de acoplamento na aeronave

A válvula de oxigênio do cilindro do carrinho de reabastecimento deverá ser aberta lentamente para evitar superaquecimento. O ar presente nas mangueiras de conexão, entre o carrinho e o sistema de oxigênio da aeronave, precisa ser removido (**purgado**). Para isso, deve-se conectar a mangueira do carrinho à conexão na aeronave, sem apertá-la. Em seguida, abre-se a válvula do cilindro de reabastecimento, deixando o oxigênio expulsar o ar da mangueira. Para finalizar, aperta-se a conexão e se reabastece o sistema. O procedimento deve ser realizado antes de seu uso para transferir o oxigênio.



**Purgado:** refere-se à limpeza do sistema.

Além disso, a equipe de manutenção deve checar a data do teste hidrostático do cilindro que irá reabastecer o sistema de oxigênio da aeronave. Caso ele esteja com o teste vencido, não poderá ser usado. Durante o reabastecimento, a pressão deve ser observada frequentemente pelo técnico.

A temperatura tem efeito significativo na pressão do sistema de oxigênio. Os construtores de aeronaves geralmente fixam um placar ou uma carta na estação de reabastecimento. Ela funciona como um guia para o técnico de manutenção de aeronaves compensar a variação de temperatura/pressão. O profissional deverá consultar a carta e abastecer o cilindro para a máxima pressão listada em relação à temperatura ambiente.

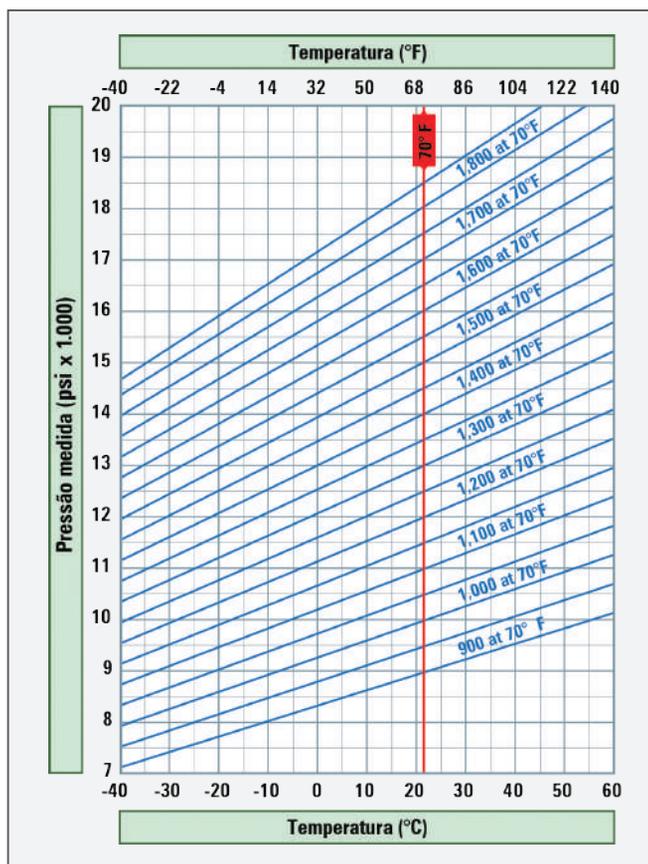
Quando a temperatura ambiente está alta, a garrafa de oxigênio é abastecida para a máxima pressão entre 1.800 e 1.850 psi. Essa é a razão de existir a pressão padrão máxima para os cilindros de oxigênio das aeronaves, pois em altas altitudes a pressão e a temperatura do oxigênio podem diminuir significativamente. Ao abastecer o cilindro à temperatura ambiente, compensando o valor da pressão, garante-se um fornecimento máximo de oxigênio.

Quando o abastecimento é feito em dias frios, a compensação da temperatura e pressão muda significativamente em relação aos dias quentes. Nos dias com temperatura baixa, o cilindro de oxigênio deve ser abastecido para uma menor pressão em comparação com a pressão máxima do cilindro, possibilitando o aumento da pressão com a elevação da temperatura.

O cumprimento rigoroso da compensação da carta de temperatura/pressão é obrigatório para garantir a segurança do sistema de oxigênio do avião. Devido ao aumento de pressão com a elevação de temperatura, é necessário deixar o sistema de oxigênio atingir a temperatura ambiente antes de proceder com o reabastecimento do sistema.

No Gráfico 5, a pressão do cilindro é 1.800 psi a 21° C e 1.680 psi a 0° C. Essa diferença de pressão para os dias frios permite o aumento da pressão quando a temperatura se eleva e, conseqüentemente, mantém a segurança do sistema e a confiabilidade que o cilindro fornecerá a quantidade requerida de fluxo de oxigênio no caso de necessidade.

GRÁFICO 5 - Carta de compensação temperatura/pressão



## 4.14 Procedimentos de acordo com as instruções do fabricante

Para procedimentos de remoção e instalação do cilindro de oxigênio, veja-se a Figura 109. Além de consultar o manual de manutenção da aeronave, deve-se certificar que as ferramentas a serem usadas na substituição do cilindro estejam limpas de contaminantes. Na cabine de comando, tem-se que fechar a válvula interna do regulador de pressão por meio do botão de fornecimento de oxigênio para tripulação, instalado no painel de controle.

No cilindro, fecha-se totalmente a válvula manual de corte e procede-se com a remoção das conexões do regulador de pressão e da conexão no cilindro. Após a instalação da garrafa cheia de oxigênio, abre-se a válvula de corte de fluxo vagarosamente para evitar superaquecimento. Na cabine, liga-se o botão de suprimento de oxigênio para os tripulantes.



Figura 109 - Cuidados a serem tomados na remoção e instalação dos cilindros de oxigênio

Alguns cuidados devem ser adotados na remoção e instalação dos cilindros de oxigênio. Primeiramente, interrompa o serviço em caso de chuva com raios. Além disso, é importante colocar um aviso na cabine de comando informando sobre o trabalho sendo executado no sistema de oxigênio.

A válvula manual de corte no cilindro deve ser aberta lentamente para evitar superaquecimento. No caso de remoção da garrafa de oxigênio, é necessário proteger as conexões para evitar a contaminação de outros cilindros presentes no local. Destaca-se que nunca se pode usar óleo lubrificante padrão nas roscas das conexões do sistema de oxigênio. Além disso, é importante apertar as conexões com base no valor de torque recomendado pelo manual de manutenção.

## 4.15 Limpeza e purificação do sistema de oxigênio

Um sistema de oxigênio se torna completamente saturado com esse gás durante o uso. Como é desejado mantê-lo limpo, livre de odor e para prevenir a corrosão causada por contaminantes, o sistema de oxigênio necessita ser purgado. Esse procedimento pode ser realizado em três situações: se ele for **aberto**, se ele for esvaziado por mais de duas horas ou se houver suspeita de que o sistema foi contaminado.

A limpeza é executada para retirar contaminantes e restaurar internamente a pureza do sistema de oxigênio. A maior causa de contaminação em um sistema é a umidade. Em dias muito frios, uma pequena quantidade de umidade contida no oxigênio pode condensar. Em decorrência dos frequentes reabastecimentos do sistema, um valor significativo de umidade é adicionado ao sistema. Equipamento de reabastecimento úmido também pode introduzir água no sistema. É muito importante consultar o manual de manutenção para instruções quando executar serviços de manutenção, reabastecimento ou purgamento no sistema de oxigênio.

O acúmulo de condensação em um sistema de oxigênio não pode ser inteiramente evitado e, portanto, a limpeza do sistema deve ser periódica.

O procedimento para purgar o sistema de oxigênio pode variar de acordo com o modelo da aeronave. Geralmente, o gás é forçado pela pressão a circular pelo sistema por alguns minutos para executar o purgamento. A circulação de oxigênio pode levar até 10 minutos até obter uma pressão normal. Outros sistemas podem requerer mais de 30 minutos de fluxo a uma elevada pressão. Independentemente do período de tempo, a remoção de contaminantes e a limpeza interna com oxigênio é o procedimento mais básico para se purgar o sistema. O uso de nitrogênio ou ar seco é aceitável para fluir através das linhas e componentes, mas a limpeza final requer o uso de oxigênio puro antes de o sistema ser colocado em serviço.

## 4.16 Características de fabricação e cuidados no manuseio das máscaras

Muitas das máscaras de oxigênio usadas na aviação requerem inspeção periódica. O bom estado delas e das mangueiras garante o efetivo suprimento de oxigênio para o usuário quando for necessário. Vazamentos, furos e cortes não são aceitáveis e, portanto, são remediados por meio da substituição da unidade danificada.

Algumas máscaras de fluxo contínuo são descartáveis após o uso, garantindo, dessa maneira, que ela sempre esteja em boas condições a bordo da aeronave. As máscaras reutilizadas devem ser limpas. A limpeza reduz o risco de infecção e prolonga sua vida útil. Vários produtos de limpeza suaves e antissépticos livres de petróleo podem ser usados para esse propósito.

No caso das máscaras da tripulação técnica, há um microfone que permite a comunicação entre piloto e copiloto em caso de emergência. Os cordões infláveis e os suportes devem estar em boas condições de uso para que a máscara fique firme no rosto do usuário.



**Aberto:** no sentido técnico, refere-se à abertura de linhas em um sistema fechado por algum motivo devido à manutenção.

No transporte aéreo, máscaras contra fumaça que cobrem os olhos, o nariz e a boca são obrigatórias. Seu uso é demandado em situações no *cockpit* que exigem um maior nível de proteção dos tripulantes que conduzem a aeronave. Os encaixes das mangueiras no regulador de demanda são do mesmo tipo e operam da mesma forma que os empregados em máscaras de uso normal. Muitas delas incluem um microfone e alguns cilindros portáteis a utilizam.

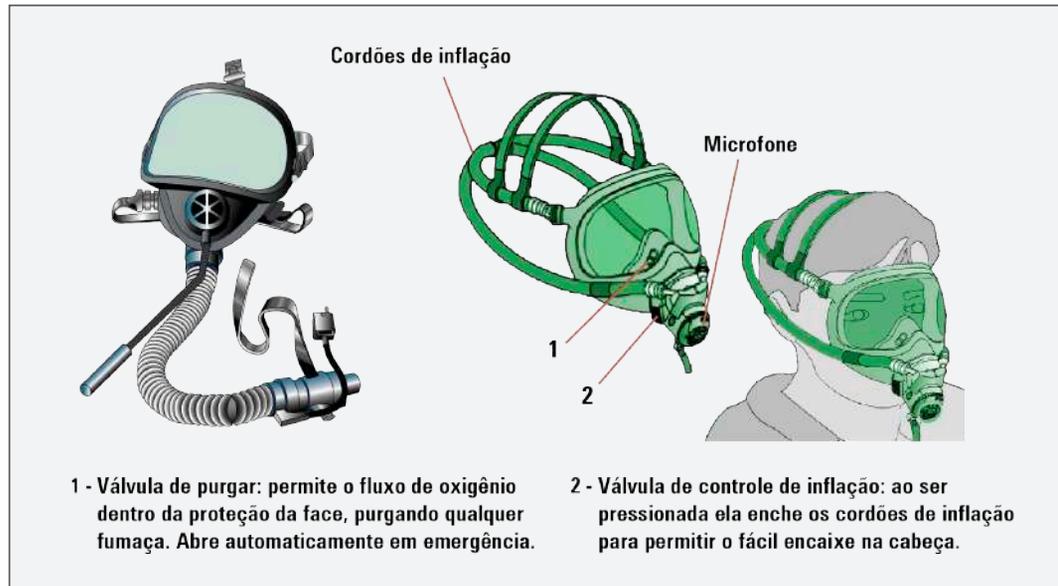


Figura 110 - Máscara de oxigênio do *cockpit*

## 4.17 Prevenção contra fogo e explosão do oxigênio

Algumas precauções devem ser tomadas ao se trabalhar com oxigênio puro ou perto dele. O oxigênio rapidamente combina com outras substâncias e, algumas vezes, causa uma violenta e explosiva mistura. É extremamente importante manter uma distância entre o oxigênio puro e os produtos à base de petróleo. Quando combinados, esses dois elementos podem resultar em uma explosão. Há uma grande variedade de inspeção e de práticas de manutenção que precisam ser seguidas para garantir a segurança do técnico e da aeronave. A manutenção deverá ser feita ao ar livre.

Primeiramente, antes que qualquer serviço seja realizado no sistema, o extintor de incêndio deverá estar próximo ao técnico. É importante isolar a área do trabalho, sinalizar com um aviso de **NÃO FUMAR** e garantir que todas as ferramentas e equipamentos de serviço estejam limpos, além de evitar testes nos componentes do sistema elétrico.

Uma boa prática para a segurança no manuseio do oxigênio é o uso de ferramentas exclusivas para se trabalhar no sistema. O cilindro com o gás deverá ser estocado em um ambiente ao ar livre ventilado e longe de produtos à base de petróleo e fontes de calor. Não se deve usar lubrificantes, selos, produtos de limpeza, dentre outros, a menos que seja especificamente

aprovado para o uso no sistema de oxigênio. Nas Figuras 111, 112, 113 e 114, há algumas precauções que devem ser adotadas no manuseio de oxigênio nas aeronaves.

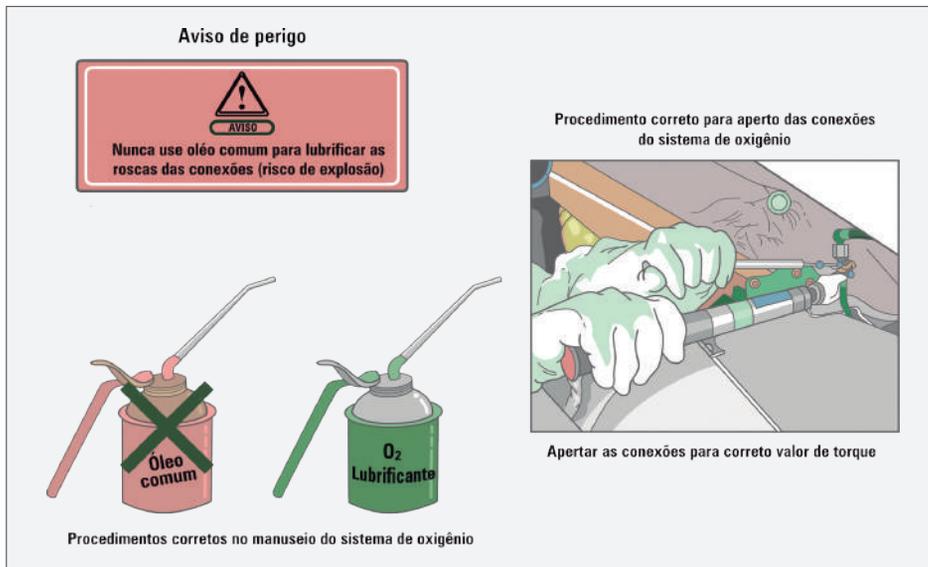


Figura 111 - Procedimentos corretos no manuseio do sistema de oxigênio



Figura 112 - Oxigênio somente é usado para abastecimento

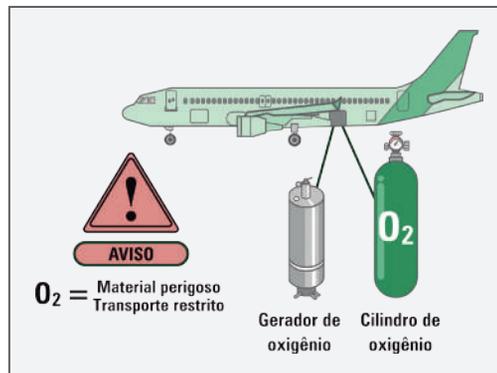


Figura 113 - Indicação de material considerado perigoso



Figura 114 - Manuseio no mau tempo

## Resumindo

O sistema de oxigênio das aeronaves é subdividido em três sistemas: o de *cockpit*, o dos passageiros e o portátil.

O oxigênio para o *cockpit* é armazenado na forma de gás em cilindros, chamados também de garrafas de oxigênio. O tipo de fluxo que é liberado do cilindro para as máscaras de oxigênio da cabine de comando se divide em dois tipos: o de fluxo contínuo e o por demanda. O de fluxo contínuo é liberado durante a respiração, na inalação e na expiração. Já no por demanda, o oxigênio somente é liberado durante a inspiração. Em algumas aeronaves da classe de executivo, sobretudo jatos de pequeno porte, o sistema armazenado na garrafa de oxigênio fornece suprimento para os passageiros e para o *cockpit*.

A manutenção do sistema requer a substituição da garrafa quando a pressão de oxigênio no seu interior estiver baixa. Em algumas aeronaves, é possível reabastecer o sistema utilizando um cilindro externo que é acoplado a uma conexão na aeronave. Em função da diferença de pressão, o cilindro externo abastece o da aeronave. Destaca-se que é obrigatório observar a temperatura ambiente, pois a pressão muda quando há variação de temperatura.

Em todos os casos, o manuseio do sistema é extremamente perigoso, pois o oxigênio usado é puro e se encontra armazenado a uma pressão de 1.850 psi. Assim, é necessário seguir os procedimentos de manutenção e as recomendações de segurança do manual da aeronave.

O sistema de oxigênio que atende aos passageiros é fornecido por um gerador químico. A reação química é encadeada quando o passageiro puxa firmemente a máscara de oxigênio. O procedimento aciona uma espoleta, que inicia a reação química para formação do oxigênio. A duração de seu fornecimento de oxigênio é de 12 minutos, tempo suficiente para o comandante descer a aeronave até uma altitude menor, onde o processo de respiração possa ser feito naturalmente. No gerador químico, há um indicador que muda a cor de vermelha para preta, sinalizando ao técnico de manutenção que ele foi utilizado.

O sistema portátil de oxigênio também é armazenado com alta pressão na forma de gás em cilindros. Sua função é de caráter emergencial, sendo também utilizado em atendimentos de primeiros socorros. O sistema portátil inclui um dispositivo chamado *protective breathing equipment* (PBE), ou equipamento protetor de respiração (EPR), cuja função é permitir ao tripulante alcançar o extintor de incêndio e utilizá-lo em casos de fogo.

No interior do sistema portátil, há um gerador químico de oxigênio que é ativado similarmente ao instalado no sistema de oxigênio dos passageiros. O gerador químico garante o fornecimento de oxigênio por um tempo mínimo de 15 minutos, deixando o usuário livre da fumaça e dos agentes tóxicos para que ele possa tomar as medidas de combate ao fogo. O PBE é armazenado a vácuo e o equipamento é colocado em uma maleta onde possui um indicador que avisará se o lacre do vácuo foi violado por meio da mudança de cor.

# Unidade 8

## Soldagem

A soldagem é o processo de união de materiais, principalmente metais, pela aplicação de pressão ou por fusão, com ou sem o uso de material de adição. Pode ser utilizada na fabricação de peças metálicas, na recuperação de peças, na aplicação de revestimentos sobre superfícies metálicas e para corte. O produto resultante da operação de soldagem é a solda, a junta formada.

A soldagem é muito utilizada na fabricação e no reparo de aeronaves. O trem de pouso, os tanques de combustível e o montante do motor são bons exemplos de peças fabricadas por esse processo. Em razão de sua versatilidade, é também muito utilizada no reparo de partes estruturais e revestimentos de aeronaves.

As juntas formadas oferecem rigidez e alta resistência quando bem executadas, boa estética, baixo peso e relativa simplicidade operacional, minimizando os custos de treinamento de mão de obra. Assim, é indispensável que o mecânico de aeronaves, com habilitação em célula, conheça as técnicas empregadas na soldagem.

Nesta unidade, nos capítulos iniciais serão estudadas as principais técnicas de união de metais por fusão, a tecnologia mais utilizada na manutenção aeronáutica. Serão apresentados, na sequência, os elementos da soldagem a gás, por arco elétrico e alguns tipos de soldagem por resistência elétrica. No capítulo seis, o objeto de estudo será os tipos de junta e as posições de soldagem.

A complexidade da tarefa de soldagem está em grande parte na escolha do tipo de metodologia que deve ser empregado para cada liga metálica, tema do capítulo sete.

Por fim, nos capítulos oito, nove e dez, serão estudados as juntas de peças tubulares, alguns tópicos de segurança e os novos processos de soldagem disponíveis no mercado, respectivamente.



# Capítulo 1

## União dos metais

A união de metais é o procedimento capaz de unificar partes de um mesmo metal ou metais distintos, conferindo ao produto final resistência mecânica. A tecnologia de união dos metais foi aperfeiçoada durante a 1ª Guerra Mundial, mas ela já era empregada desde a antiguidade.

De acordo com Modenesi, Marques e Santos (2012):

Embora a soldagem, na sua forma atual, seja basicamente um processo recente, com menos de 150 anos de aplicação, alguns processos, tais como a brasagem e a soldagem por forjamento, têm sido utilizados desde épocas remotas. Existe, por exemplo, no Museu do Louvre, um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e que foi fabricado na Pérsia por volta de 4000 a.C. (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012, p. 2).

Durante a Idade Média, foram desenvolvidas muitas técnicas de união de metais para a fabricação de armas e armaduras. Com o surgimento do alto forno nos séculos XIV e XV, a fundição passou a ser a principal tecnologia empregada na fabricação de peças metálicas. A soldagem ocupou um papel secundário nesse período, retomando papel de destaque no século XIX. Desde então vem sendo aperfeiçoada, podendo ser empregada em tarefas menos complexas, como as de serralheria, até em tarefas altamente tecnológicas, como a indústria aeroespacial.

### 1.1 Terminologia empregada na soldagem

A terminologia de soldagem é bastante extensa, motivo pelo qual é essencial que se trate, primeiramente, desse tema. Em relação às juntas e à posição de soldagem, serão apresentados os principais termos técnicos empregados na soldagem de manutenção aeronáutica.

Junta é a região onde duas ou mais partes da peça são unidas pela operação de soldagem. Os principais tipos de junta são topo, ângulo, canto (quina), aresta e sobreposta, ilustrados nas figuras a seguir.

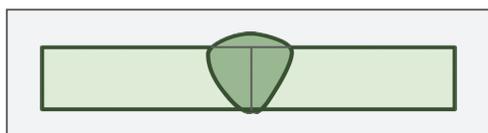


Figura 1.A - Tipo de junta: topo



Figura 1.B - Tipo de junta: aresta

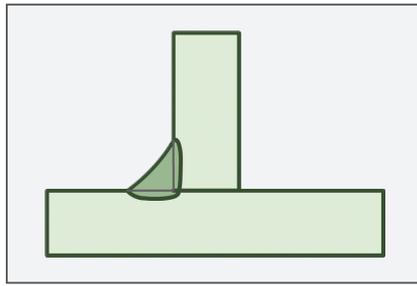


Figura 1.C - Tipo de junta: ângulo

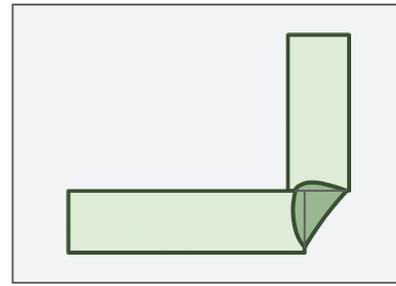


Figura 1.D - Tipo de junta: canto

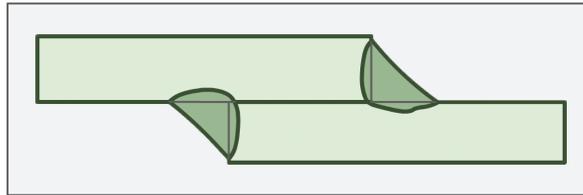


Figura 1.E - Tipo de junta: sobreposta

Para realizar a solda, é necessário preparar as bordas das juntas de modo a facilitar o acesso e a permitir que o calor atinja toda região da solda. A maneira mais utilizada é o corte de aberturas ou sulcos na superfície das peças que serão unidas. O termo técnico para esses cortes é **chanfro**.

Os chanfros possuem os seguintes elementos:

- encosto ou nariz (**S**) - parte não chanfrada de um componente da junta;
- abertura, folga ou fresta (**f**) - menor distância entre as peças a soldar;
- ângulo do chanfro ( $\alpha$ ) - ângulo de abertura da junta;
- ângulo do bisel ( $\beta$ ) - corte enviesado na aresta da peça;
- raio do chanfro (**r**) - raio de curvatura do chanfro.

Esses elementos estão representados nas Figuras 2.A e 2.B

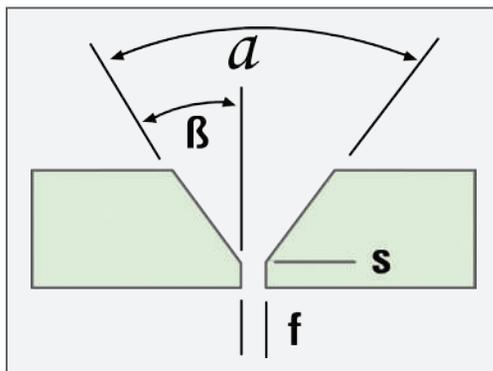


Figura 2.A - Elementos do chanfro de junta de topo

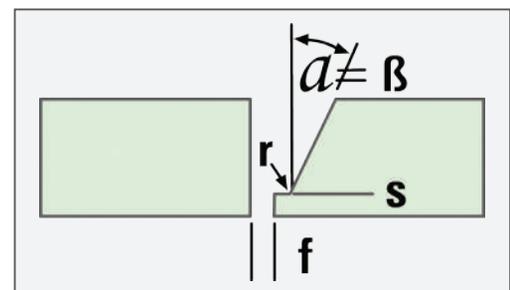


Figura 2.B - Outros elementos do chanfro

O tipo de chanfro escolhido depende da espessura da peça, do tipo de material, do processo de soldagem, do tipo de junta e do acesso à região a ser soldada.



**Chanfro:** corte diagonal na extremidade de objetos para formar uma borda com ângulos.

**Bisel:** corte enviesado na aresta de uma peça.

Podem-se observar os principais tipos de chanfros em junta de topo nas figuras a seguir.

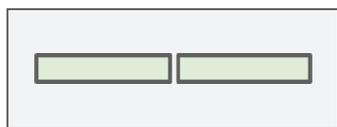


Figura 3.A - Chanfro reto

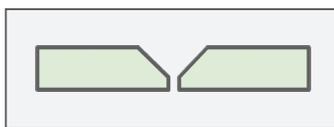


Figura 3.B - Chanfro em V

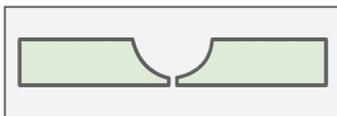


Figura 3.C - Chanfro em U

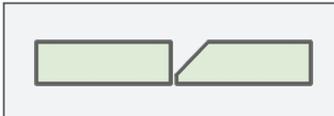


Figura 3.D - Chanfro em meio V

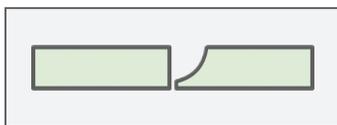


Figura 3.E - Chanfro em J

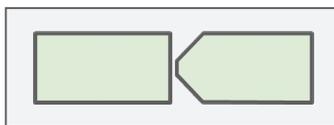


Figura 3.F - Chanfro em K

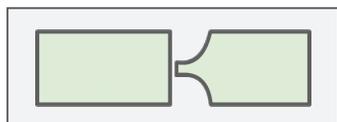


Figura 3.G - Chanfro em duplo J

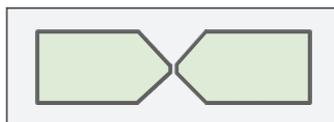


Figura 3.H - Chanfro em duplo V ou X

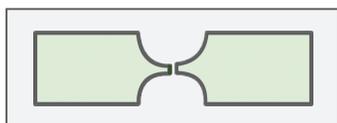


Figura 3.I - Chanfro em duplo U ou X

### Dimensões da solda

Outros termos técnicos importantes estão relacionados às dimensões da solda. Nas Figuras 4.A e 4.B, podem-se observar as representações da largura, da face, da margem da solda, da penetração da raiz e da junta, do reforço, da convexidade, da garganta e da perna da solda.

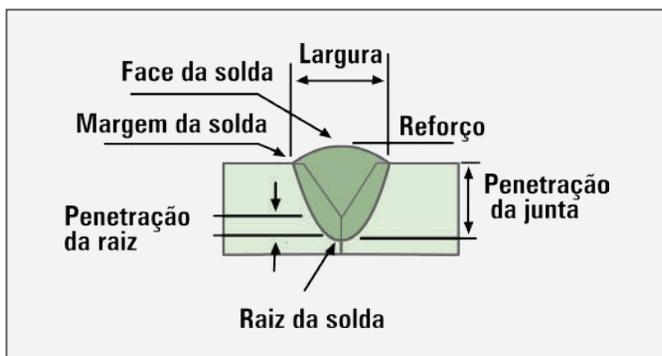


Figura 4.A - Dimensões da solda

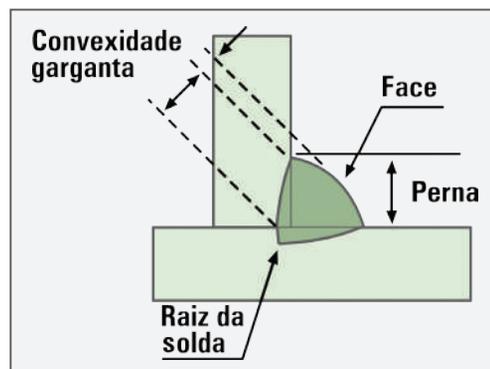


Figura 4.B - Dimensões da solda

Em relação à penetração da solda, ela pode atravessar toda a espessura de uma das peças da junta ou apenas parte dela. As soldas de penetração total são mais difíceis de serem realizadas, no entanto, apresentam melhor comportamento mecânico.

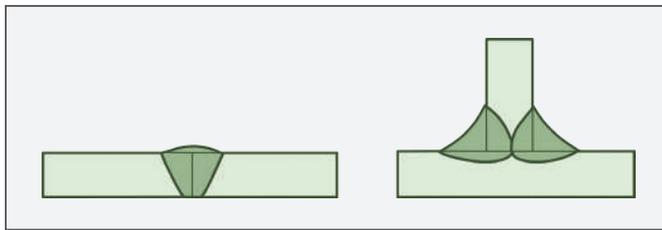


Figura 5.A - Penetração total da solda

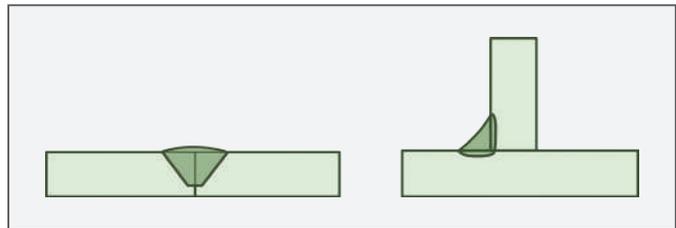


Figura 5.B - Penetração parcial da solda

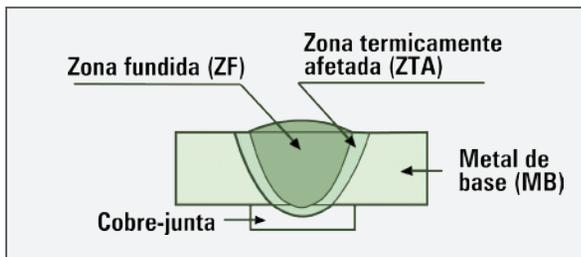


Figura 6 - Zonas afetadas termicamente pelas soldas

As áreas afetadas pelo calor em uma solda podem ser separadas em seções. É possível observar na Figura 6 duas zonas distintas. A zona termicamente afetada (ZTA) é a região depois da solda que tem suas propriedades alteradas devido ao calor. A região onde ocorre a solda propriamente dita é chamada de zona fundida (ZF) e é composta pelo metal base acrescentado do metal de adição. Em alguns casos, é necessário utilizar um suporte para evitar o vazamento do material fundido. Esse suporte recebe o nome de cobre-junta e pode ser removido no final da soldagem.

## 1.2 Formação da junta soldada

Ainda conforme Modenesi, Marques e Santos (2012), os métodos de união dos metais podem ser divididos em duas grandes categorias: os baseados no aparecimento de forças mecânicas macroscópicas entre partes unidas e os que se utilizam de forças microscópicas (interatômicas ou intermoleculares).

No primeiro caso, a união da junta é dada pelas forças de atrito entre as superfícies e pela resistência ao cisalhamento no caso de rebiteagem e parafusagem. No segundo caso, a união é obtida pela aproximação das moléculas dos metais envolvidos até uma distância suficientemente pequena para ocorrer ligações químicas entre os átomos e moléculas.

As ligas metálicas são formadas por cadeias de moléculas dispostas em uma estrutura cristalina. As moléculas são formadas por átomos ligados entre si: quanto menor a distância, maior será a interação entre átomos/moléculas. Supondo a possibilidade de diminuir a distância entre as moléculas até o ponto em que os átomos comecem a interagir, formando uma ligação permanente, ocorrerá uma solda fria, ilustrada na Figura 7.

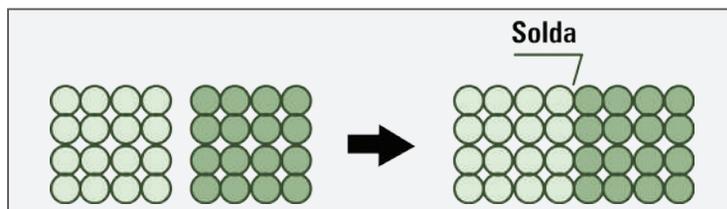


Figura 7 - Soldagem pela aproximação das superfícies da peça

Na prática, isso não acontece porque a **rugosidade** da superfície dos materiais impede a aproximação até esse nível de interação. Além disso, existem camadas de óxidos, graxas, fuligens e outros contaminantes que dificultam o contato real entre as superfícies. Para superar esses obstáculos, duas técnicas são utilizadas: processo de soldagem por pressão e processo de soldagem por fusão.

O processo de soldagem por pressão consiste na aplicação de elevadas pressões nos materiais em contato. A pressão causa uma deformação plástica no material, permitindo a aproximação dos átomos até a distância onde a interação acontece. Na Figura 8, pode-se observar um esquema que ilustra esse fenômeno. Podem-se citar, como exemplo, os processos de soldagem por ultrassom, fricção, forjamento, difusão, explosão, entre outros. Na Figura 8, inicialmente as partes do material estão separadas; mas após a aplicar pressão, ocorre a união.

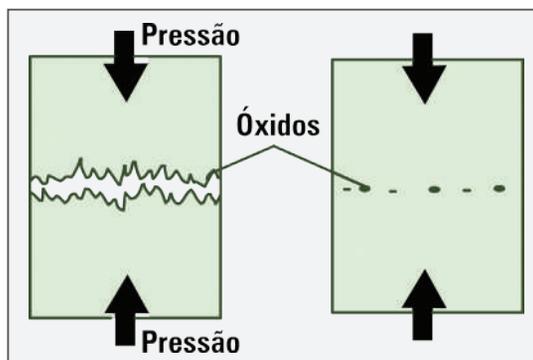


Figura 8 - Esquema de soldagem por pressão

O processo de soldagem por fusão é mais comum, com grande campo de aplicação, principalmente, na manutenção aeronáutica. Ele consiste em aplicar calor nas juntas das peças e material de adição, quando for o caso, para fundi-las. Essa ação produz uma ligação permanente depois de solidificadas na temperatura ambiente, como mostrado na Figura 9.

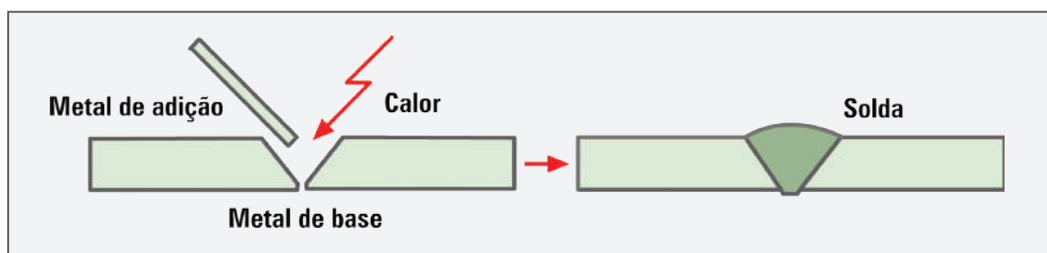


Figura 9 - Esquema de soldagem por fusão



**Rugosidade:** saliências e reentrâncias apresentadas na superfície da peça.

Os tipos de processo de soldagem por fusão são variados, por esse motivo, são separados em subgrupos. Uma classificação possível pode ser observada na Tabela 1, que está de acordo com o tipo de fonte de energia usada para fundir as peças. O foco desta unidade são os processos mais utilizados na manutenção aeronáutica, como oxiacetilênica, arco elétrico, soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG), soldagem a arco metálico com gás inerte (MIG) e soldagem a arco metálico com gás ativo (MAG).

Tabela 1 - Classificação dos processos de soldagem pela fonte de energia

Processo	Fonte de calor	Tipo de corrente e polaridade	Agente protetor ou de corte	Outras características	Aplicações
Soldagem por eletroescória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou alternada	Escória	Automatizada/mecânizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, espessura $\geq 50$ mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao arco submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada eletrodo+	Escória e gases gerados	Automatizada/mecânizada ou semiautomática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, espessura $\geq 10$ mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com eletrodos revestido	Arco elétrico	Contínua ou alternada eletrodo+ ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo.	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com arame tubular	Arco elétrico	Contínua eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o $\text{CO}_2$	O fluxo está contido dentro de um arame de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático.	Soldagem de aços carbono com espessura $\geq 1$ mm. Soldagem de chapas.
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua eletrodo +	Argônio ou hélio, argônio + $\text{O}_2$ , argônio + $\text{CO}_2$ , $\text{CO}_2$	Automatizada/mecânizada ou semiautomática. O arame é sólido.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura $\geq 1$ mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição.
Soldagem a plasma	Arco elétrico	Contínua eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constricto por um bocal.	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz.

Processo	Fonte de calor	Tipo de corrente e polaridade	Agente protetor ou de corte	Outras características	Aplicações
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada eletrodo -	Argônio, hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz de soldas em tubulações
Soldagem por feixe eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua alta tensão peça +	Vácuo	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizados em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a laser	Feixe de luz		Argônio ou hélio	Como acima.	Como acima. Corte de materiais não metálicos.
Soldagem a gás	Chama oxiacetilênica		Gás (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O)	Manual. Arame adicionado separadamente.	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro.

Fonte: MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012, p. 14.

### 1.3 Expansão e contração de metais

Quando a temperatura varia, a matéria sofre expansão e contração. Na soldagem por fusão, uma grande quantidade de calor é transmitida para uma pequena área de metal em um curto intervalo de tempo; logo, acontece dilatação térmica chegando ao ponto de fusão, em que ocorre a mudança de fase. Finalizado o procedimento, o metal esfria sofrendo contração.

Algumas tensões internas residuais permanecem na junta soldada devido às deformações plásticas e elásticas causadas pelo aquecimento e resfriamento não uniforme da superfície, finalizando, assim, o processo de soldagem. Essa situação pode provocar mudança de forma e dimensões da peça, com o aparecimento de distorções. As distorções são facilmente observadas, enquanto as tensões residuais são mais sutis, responsáveis por problemas como falhas por fadiga, trincas, mudança do comportamento teórico do metal frente às solicitações de esforços, tendência à fratura e favorecimento ao ataque corrosivo.

A distribuição de tensões residuais em uma peça soldada pode ser afetada por uma série de fatores, incluindo as propriedades do metal base frente à variação de temperatura, à ligação com o outro componente, à geometria da junta soldada, entre outros.

Algumas medidas podem ser tomadas para o controle das tensões residuais. O nível de tensão na junta pode ser diminuído quando é reduzido a quantidade de calor fornecido à junta. Da mesma forma, pode-se reduzir a quantidade de metal depositado, diminuindo o ângulo do chanfro ou evitando depósito de material em excesso. Utilizar material de adição com menor

resistência mecânica favorece o alívio de tensões residuais, assim como redução dos vínculos externos. Em suma, cada tecnologia empregada na soldagem possui medidas que, quando adotadas, são capazes de minimizar os efeitos danosos da expansão e contração ocasionadas pelo aporte de calor.

## **Resumindo**

A tecnologia de união de metais não é algo moderno, povos antigos já possuíam técnicas que permitiam unir partes de um mesmo metal ou de metais diferentes. No século XIX, a evolução da ciência permitiu ampliar as possibilidades de realizar soldas, proporcionando a expansão de seu emprego na indústria. Na atualidade, a junção de metais pode ser dividida em dois grandes grupos: soldagem por pressão e por fusão.

Na fabricação e no reparo de itens aeronáuticos, o método mais empregado é por fusão, principalmente por oxigás. Todo metal sofre alteração de suas dimensões com a variação da temperatura; no caso da solda, isso provoca distorções e tensões internas indesejáveis. O mecânico de manutenção de aeronaves deve dominar as técnicas de soldagem a fim de selecionar a melhor tecnologia para cada ocasião, sempre focando como resultado final uma solda íntegra e resistente.

# Capítulo 2

## Soldagem oxiacetilênica

A soldagem oxiacetilênica é um processo de união de metais por fusão. As bordas das peças de metal são aquecidas até o ponto de fusão por uma chama de alta temperatura, resultante da queima de um gás especial. É possível utilizar material de adição (varetas de metal) para esse método de soldagem. Os chanfros do metal base e o material de adição, quando presentes, são derretidos para formar uma união, sem a utilização de pressão, comportando-se como um material único após o resfriamento.

O gás acetileno é o mais utilizado pelo seu baixo custo associado à alta temperatura da chama. Outros gases podem ser utilizados, como butano, propano, metano, etileno, hidrogênio, juntamente com oxigênio.

### 2.1 Equipamento para soldagem a oxiacetileno

Os equipamentos utilizados para realizar a solda são simples, podendo ser do tipo estacionário ou portátil. Eles são compostos por cilindro para gás acetileno, cilindro para gás oxigênio, regulador de pressão de oxigênio e de acetileno, manômetros, conexões, maçarico de soldagem, mangueiras de cores diferentes para cada gás, conexões para o regulador e conexões para o maçarico.

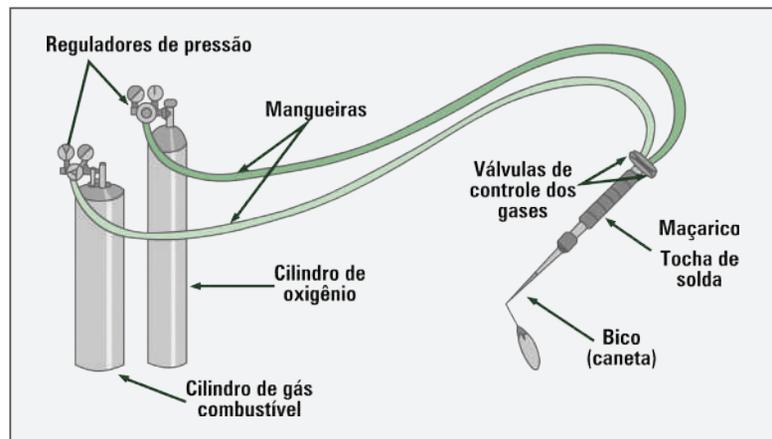


Figura 10 - Equipamento de solda oxiacetileno

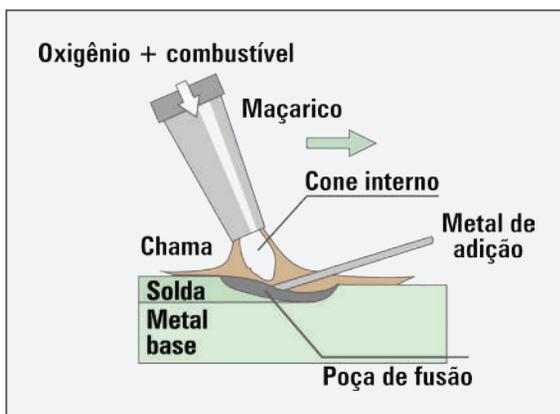


Figura 11 - Soldagem oxiacetilênica

Segundo o Instituto de Aviação Civil (2012), a solda oxiacetilênica é o principal método utilizado para soldar partes de aeronaves constituídas de aço-cromo-molibdênio ou aço-carbono. A Figura 11 ilustra a realização deste tipo de solda.

A soldagem oxiacetilênica apresenta como vantagens:

- equipamento simples e versátil;
- pode ser utilizada para chapas finas;
- não necessita de energia elétrica;
- pode realizar soldas em todas as posições.

As principais desvantagens são:

- chama produzida - pouco concentrada, afetando termicamente grandes áreas do metal. Requer grande habilidade do profissional para realizar a solda;
- gás acetileno - por ser muito inflamável, deve ser manuseado com extrema cautela para evitar acidentes.

Conforme Neris (2012), alguns cuidados devem ser tomados no manuseio do equipamento de solda oxiacetileno. Tais cuidados estão apontados na Tabela 2.

Tabela 2 - Cuidados com o equipamento de solda oxiacetileno

Oxigênio	Acetileno
<ul style="list-style-type: none"><li>• deve-se evitar o contato do oxigênio com qualquer contaminante;</li><li>• o cilindro não pode sofrer impacto;</li><li>• não usar o cilindro deitado;</li><li>• o cilindro deve ser transportado com seu capacete de proteção;</li><li>• os cilindros não podem ser elevados ou transportados utilizando cabos de aço ou eletroímã;</li><li>• utilizar mangueira verde ou preta para distribuição e conexões com rosca à direita.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• não transportar ou utilizar o cilindro deitado (aguardar de 36 a 48 horas para estabilização);</li><li>• o cilindro não pode sofrer impacto;</li><li>• não utilizar canalização de cobre (formação de acetileno de cobre, explosivo);</li><li>• consumo máximo de acetileno: 1.000 litros/hora;</li><li>• não usar até a pressão zero;</li><li>• utilizar mangueira vermelha para distribuição e conexões com rosca à esquerda.</li></ul>

Fonte: NERIS, 2012, p. 12.

### 2.1.1 Cilindro de acetileno

Os cilindros do acetileno são fabricados em liga de aço sem emendas, pintados com uma cor característica e o nome do gás é estampado na lateral. Para garantir segurança, a pressão de armazenamento não deve ultrapassar 18 kgf/cm<sup>2</sup> (17,6 bar). Esse tipo de cilindro possui dispositivos de segurança para evitar explosões em caso de incêndio. Os dispositivos são, normalmente, fusíveis que derretem permitindo o vazamento do gás e aliviando a pressão interna do cilindro. Os furos dos fusíveis são mínimos para evitar que a chama penetre no cilindro.

Devido à instabilidade do gás, os cilindros são abastecidos com uma massa porosa e acetona para dissolver o gás. A substância porosa tem a função de dividir a mistura e evitar a desintegração do gás, fator que aumenta muito o risco de explosão. Algumas das substâncias porosas empregadas são pedra-pomes, argila, carvão vegetal, amianto. Elas ocupam no máximo 1/5 do volume total do cilindro.

Para evitar o arrasto da acetona para a chama, a pressão de vazão por hora não pode ultrapassar 1/7 do volume do cilindro. Para não ocorrer a perda do material de enchimento, os cilindros de acetileno não devem ser totalmente esvaziados.

### 2.1.2 Cilindro de oxigênio

O oxigênio é um gás capaz de ser armazenado sob pressão extremamente alta, mas sem oferecer perigo. De acordo com Neris (2012), a distribuição do oxigênio para soldagem é realizada por meio de cilindros de aço sem costura, com a pressão de 150 kgf/cm<sup>2</sup> (147,1 bar), ou seja, 7.000 litros de gás comprimidos em cilindros de 46 litros, aproximadamente.

Pode-se utilizar oxigênio líquido em **tanques criogênicos** para instalação de alto consumo. Os cilindros de oxigênio são feitos de um só pedaço de aço, moldado enquanto estiver quente. Esses tubos de aço-carbono ou aço-cromo-molibdênio, sem costura, ainda recebem cuidados de tratamento térmico para lhes garantir robustez e resistência.

A espessura da parede dos tanques deve ser suficientemente forte para resistir à pressão normal de abastecimento da ordem de 1m<sup>3</sup> a 10m<sup>3</sup>. Devem, ainda, passar por teste hidrostático, com pressão superior ao de uso para garantir a confiabilidade.

O cilindro é dotado de um sistema de segurança que permite liberar o gás vagarosamente quando uma temperatura ou pressão crítica é alcançada. Os encaixes de mangueiras e válvulas de oxigênio não devem ser lubrificados com óleo ou graxa, ou manuseados com as mãos sujas. O oxigênio jamais deverá entrar em contato com esses contaminantes, pois, na presença de oxigênio puro, essas substâncias tornam-se altamente inflamáveis. Manchas de graxa na roupa podem se inflamar ou explodir ao contato com um jato de oxigênio puro.

### 2.1.3 Mangueiras de soldagem

A canalização de distribuição dos gases pode ser feita por mangueiras flexíveis ou tubulação rígida. A tubulação rígida de acetileno não pode ser feita de cobre, em certas condições, o cobre em contato com o acetileno pode formar um composto altamente explosivo. Normalmente, são utilizados tubos de aço preto ou galvanizado como tubulação para o acetileno. A canalização rígida de oxigênio pode ser feita com tubos de cobre para alta pressão, e tubos de aço preto e galvanizado para pressões inferiores a 10 Kgf/cm<sup>2</sup>.

A canalização flexível é realizada com mangueiras de borracha reforçada por fios de *nylon*. São fortes, não porosas e leves, fabricadas especialmente para soldagem e corte. A principal função desse tipo de canalização é ligar o maçarico aos reguladores, conduzindo o gás até o maçarico para ser queimado.

O tamanho da mangueira é designado pelo diâmetro interno e número de camadas de tecidos. Para maçaricos leves, são utilizadas as de diâmetro interno de 1/8 a 1/4 da polegada (3,17 a 6,35 mm) com uma ou duas camadas de tecido. No caso de soldagem pesada ou corte, o diâmetro interno será de 1/4 a 5/16 da polegada (3,17 a 7,94 mm), com três a cinco camadas de



**Tanques criogênicos:**  
tanques destinados a guardar substância com temperaturas muito baixas, menores que -150 °C.

tecido. As camadas de tecido são intercaladas com camadas de borracha quimicamente tratada para remover o enxofre, a fim de afastar qualquer possibilidade de combustão espontânea.

A mangueira de cor vermelha é usada para fazer ligação com os cilindros de acetileno. A mangueira de cor verde (ou preta) é usada para a ligação dos cilindros de oxigênio. As conexões são fixadas nas extremidades das mangueiras com rosca para a direita, no caso do oxigênio, e rosca para a esquerda, no caso do acetileno.

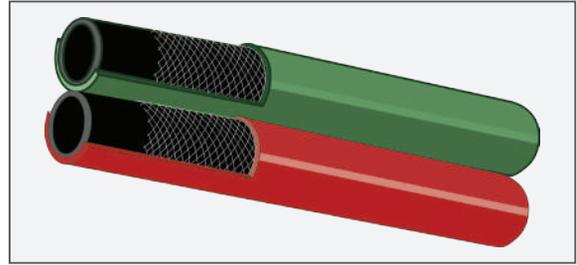


Figura 12 - Mangueiras para gases

### 2.1.4 Reguladores de pressão

A finalidade dos reguladores de pressão é reduzir a pressão e controlar o fluxo de gás, fornecendo gás com vazão uniforme e constante para o maçarico. Os reguladores de oxigênio e acetilenos são do mesmo tipo, a diferença é que os reguladores de pressão para oxigênio são fabricados com peças mais robustas para suportar pressões muito superiores. Para evitar a troca de mangueiras e possíveis acidentes, as roscas dos reguladores são diferentes para os dois tipos de gás. Assim como no caso das mangueiras, o regulador de oxigênio possui rosca direita e o regulador de acetileno possui rosca esquerda.

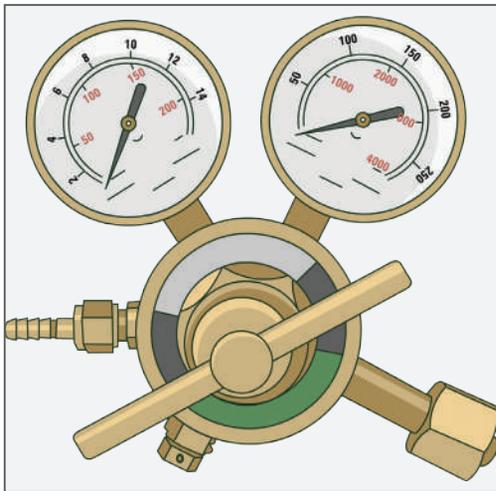


Figura 13 - Regulador de pressão

Na maioria dos equipamentos portáteis de solda oxiacetilênica, o regulador é composto por válvula de segurança e dois manômetros. O primeiro manômetro é para alta pressão, e indica a pressão do cilindro de gás. O segundo manômetro, de baixa pressão, indica a pressão de trabalho na saída que leva o gás para o maçarico pela mangueira. No caso de instalações fixas, é necessário apenas o manômetro de baixa pressão para ambos os gases com a finalidade de regular a pressão de trabalho.

Observa-se, na Figura 13, um regulador típico com manômetros e conexões.

O parafuso na frente do regulador tem a finalidade de ajustar a pressão de trabalho. Quando o parafuso é girado totalmente para a esquerda, fecha a saída do gás do cilindro. Esse procedimento deve ser adotado antes de abrir a válvula que permite a saída do gás do cilindro, para evitar danificar o mecanismo. As alterações na pressão de trabalho podem ser realizadas ajustando-se o parafuso até que a pressão desejada seja mostrada no manômetro de trabalho.

Antes do início do trabalho de solda, é recomendado que todas as ligações sejam verificadas para evitar vazamentos de gás. Esse vazamento pode ser facilmente localizado aplicando-se uma solução de água e sabão em todas as conexões, onde existir vazamento, uma bolha de sabão indicará sua existência.

A operação do regulador de pressão, montagem e desmontagem é uma operação delicada e somente deve ser realizada por pessoal especializado.

### 2.1.5 Maçarico para soldagem

O equipamento utilizado para misturar os gases responsáveis pelos diversos tipos de chamas, utilizadas no processo de soldagem, é conhecido como maçarico. O tipo de maçarico e sua regulagem são determinantes para a obtenção de bons resultados de solda. Ele possui uma válvula para acetileno e outra para oxigênio, a fim de regular não somente o tamanho da chama (capacidade de aquecimento), como também as proporções certas de cada gás. Um exemplo de maçarico de solda oxiacetilena é mostrado na Figura 14.

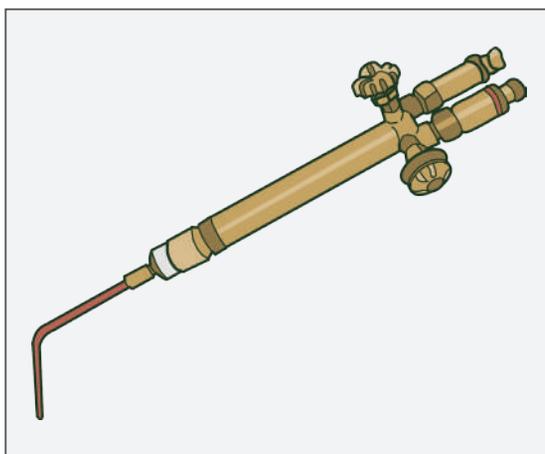


Figura 14 - Maçarico de solda oxiacetilena

Um maçarico de boa qualidade deve ser capaz de dosar corretamente a mistura de gás para formar o tipo de chama desejada. Deve ter formato de boa ergonomia e ser leve para evitar a fadiga de quem o manuseia. O dispositivo que controla a vazão do gás, e conseqüentemente o tipo da chama, é posicionado no cabo do maçarico ao alcance da mão do operador.

Segundo Modenesi, Marques e Santos (2012), os maçaricos podem ser classificados:

- a) quanto ao serviço - corte e solda.
- b) modo de funcionamento - baixa, média e alta pressão, detalhados a seguir:
  - maçarico de baixa pressão - utilizado quando o oxigênio é fornecido sob alta pressão e o acetileno sob baixa pressão;
  - maçarico de média pressão - utilizado quando o oxigênio é fornecido sob pressão elevada e o acetileno sob pressão média, variando de  $0,007 \text{ Kg/cm}^2$  ( $1 \text{ Lb/pol}^2$ ) a  $2 \text{ Kg/cm}^2$  ( $30 \text{ Lb/pol}^2$ ). É conhecido como maçarico de pressão balanceado quando a pressão dos dois gases é a mesma;

- maçarico de alta pressão - utilizado quando ambos os gases são fornecidos sob alta pressão, acima de  $2 \text{ Kg/cm}^2$  ( $30 \text{ Lb/pol}^2$ ). Os gases são misturados em um compartimento chamado de câmara de mistura.

### 2.1.6 Bicos de maçarico

A função do bico do maçarico é controlar o fluxo final dos gases. O critério de escolha do tipo de bico deve levar em consideração a pressão do gás, o material que será soldado, a posição de soldagem e a experiência do soldador para determinar o tipo e tamanho corretos do bico.

A quantidade de calor aplicada ao trabalho de soldagem dependerá do tamanho do bico. Pequenos bicos podem não produzir calor suficiente para atingir camadas mais profundas do material, bicos muito grandes, por seu turno, podem produzir calor excessivo, gerando furos no material.

Como o diâmetro do orifício do bico também influencia na quantidade de calor produzido, os fabricantes adotam critérios próprios para classificação dos bicos. É muito importante escolher corretamente o tamanho e o diâmetro do bico para a realização de uma solda de boa qualidade.

Os bicos são fabricados em ligas de cobre com capacidade de resistir a temperaturas elevadas sem sofrer desgaste excessivo. É comum ocorrer, com a utilização, o acúmulo de carbono e de partículas de escória nos bicos, responsáveis por entupimentos que ocasionam chamas distorcidas ou partidas. Para evitar esse defeito, deve-se realizar a manutenção e a limpeza do bico com limpadores específicos para essa finalidade, de modo a não danificar a dimensão do orifício de saída do gás.

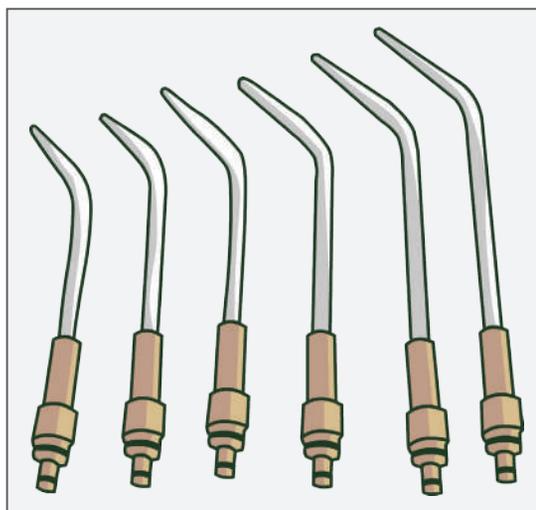


Figura 15 - Bicos de solda oxiacetilênicos

## 2.2 Consumíveis na soldagem oxiacetilênica

Muitos autores classificam como consumível, na soldagem oxiacetilênica, apenas o material de adição, ou seja, as varetas utilizadas como enchimento. Os gases acetileno e oxigênio, igualmente, serão consumidos no processo de soldagem. O calor necessário para fundir o metal é fornecido pela reação química de queima dos gases. Por esse motivo, serão apresentados nesta unidade como consumíveis também.

### 2.2.1 Gás acetileno

O acetileno é um gás incolor inflamável obtido da reação da água sobre o carbureto de cálcio. O gás é produto de uma reação reversível, portanto, existe a possibilidade de se dissociar au-

mentando bastante o risco de explosão. Deve-se tomar muito cuidado no manuseio. O cheiro forte do gás serve de alerta para qualquer vazamento, podendo ser identificado mesmo se ele estiver diluído no ar.

A queima de uma mistura de acetileno e oxigênio na proporção correta produz uma chama azulada que atinge altas temperaturas. Em baixas pressões e temperatura ambiente, o acetileno é bastante estável. Quando comprimido em cilindros, ele se torna perigosamente instável.

Para minimizar o risco de acidentes, os fabricantes colocam nos cilindros de acetileno uma mistura porosa de carvão vegetal, cimento, amianto e acetona líquida, criando, assim, condições favoráveis de armazenamento. Em consonância com Neris (2012):

A acetona líquida é retida no interior do cilindro em uma massa porosa (carvão vegetal, cimento, amianto e terra infusória). Nestas condições, consegue-se armazenar até 11 kg de gás em pressões da ordem de até 18 kgf/cm<sup>2</sup> (17,6 bar) com bastante segurança, pois a acetona consegue dissolver 575 vezes seu próprio volume para cada unidade atmosférica. O acetileno é um gás que apresenta certa instabilidade sob pressões elevadas e corre o risco de se dissociar, gerando uma grande liberação de calor e podendo explodir; desta forma, deve-se tomar todo o cuidado para que a sua pressão na rede de distribuição não ultrapasse 1,5 bar (NERIS, 2012, p. 11).

### 2.2.2 Gás oxigênio

É um gás inodoro, insípido e incolor, encontrado em abundância na natureza. Na indústria, pode ser obtido por liquefação e destilação do ar, eletrólise da água ou reação química.

Os processos mais usados são a liquefação e a destilação. O ar é inicialmente purificado, expandido e comprimido várias vezes, e depois resfriado para se transformar em líquido. O produto final é o oxigênio de alta pureza.

A temperatura que o gás oxigênio passa para o estado líquido é -118,574 °C. Quando o oxigênio é mantido nessa temperatura, e ao mesmo tempo, sob pressão de 50,43 bar, os estados líquido e gasoso coexistem. Dessa forma, é definida como temperatura e pressão críticas do oxigênio -118,574 °C e 50,43 bar, respectivamente.

No cilindro, o gás é mantido no estado líquido sob pressão elevada. O oxigênio é vaporizado na saída dos tanques e enviado por tubulação até o ponto de utilização. Ele também pode ser fornecido por pequena usina geradora.

### 2.2.3 Varetas de enchimento

Varetas são fabricadas com ligas metálicas especialmente preparadas para serem acrescentadas na poça de fusão. Elas são utilizadas como material de enchimento no processo de soldagem. A principal finalidade é preencher as folgas entre as superfícies unidas. O material adicionado deve ser da mesma natureza do material base, para garantir as propriedades físicas e químicas da liga metálica soldada. No mercado, é possível encontrar metais de adição com diferentes composições químicas para soldagem de materiais ferrosos e não ferrosos.

Deve-se utilizar vareta com diâmetro adequado à espessura do material que será soldado. Ela é encontrada com dimensões de 1,6 a 10 mm de diâmetro (1/6" a 3/8"), 610 mm ou 914 mm (24" ou 36") de comprimento. O material deve ser de boa qualidade, além de inspecionado para minimizar os riscos de apresentar porosidade excessiva ou contaminações.

No caso de reparos, é possível utilizar varetas com materiais diferentes do material base com a finalidade de modificar alguma característica da junta para evitar que a falha aconteça novamente.

## 2.3 Chama

A chama é formada no bico do maçarico. Ela é definida como a zona onde se processa a reação química entre os gases com o aparecimento de luz e calor. As variáveis que influenciam o tipo de chama são o tamanho e a forma longitudinal do orifício do bico e também as pressões de acetileno e oxigênio, responsáveis pela proporção de mistura.

Na proporção de 2,5 volumes de oxigênio para 1 volume de acetileno, acontece a queima completa do acetileno no ar. A chama é produzida por duas reações: primária e secundária.

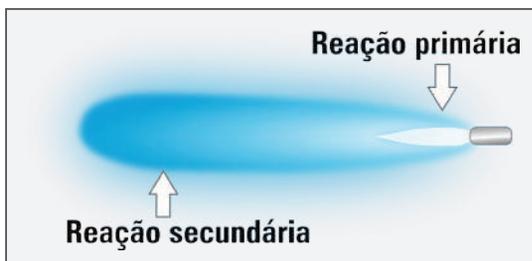


Figura 16 - Chama oxiacetilênica

Na Figura 16, observa-se que a chama é composta por dois cones principais. No cone interno, ocorre a reação primária, com maior temperatura, resultado da queima dos gases acetileno e oxigênio, fornecidos pelo cilindro. No cone externo, ocorre a reação secundária, igualmente conhecida como envoltório, resultado da queima do monóxido de carbono e hidrogênio provenientes da reação primária na presença do oxigênio do ar.

Variando a proporção de acetileno e oxigênio, produzem-se chamas distintas, com temperaturas diferentes. Existem três tipos: neutra, redutora ou carburante e oxidante. A diferença entre elas pode ser observada pela intensidade e coloração da luz.

### a) Chama neutra ( $r=1$ )

Quando o maçarico é alimentado com volumes iguais de oxigênio e acetileno, o resultado é uma chama neutra, ilustrada na Figura 17.A.

O cone é branco e brilhante, podendo atingir temperaturas da ordem de 3.100 °C. Essa chama é utilizada, na maioria dos casos, em soldagem e aquecimento.

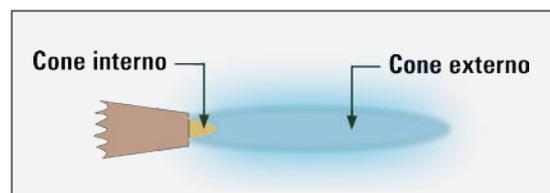


Figura 17.A - Chama neutra

### b) Chama redutora ( $r < 1$ )

É o tipo de chama que ocorre quando a proporção de acetileno é maior. Nesse caso aparece um cone

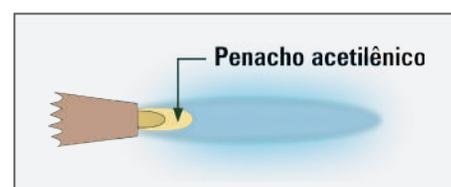


Figura 17.B - Chama redutora

intermediário onde ocorre a queima do excesso de acetileno, penacho acetilênico que cresce com aumento do acetilênico, pode atingir a temperatura de 3.020 °C, mostrada na Figura 17.B.

É uma chama com grande teor de carbono, utilizada para soldagem de aços. Ela tem a finalidade de aumentar o percentual de carbono na zona de soldagem e diminuir a temperatura de fusão. Essa chama é utilizada na soldagem de ferros fundidos, alumínio e magnésio.

c) Chama oxidante ( $r > 1$ )

Quando o oxigênio é fornecido em maior proporção, o resultado é uma chama oxidante. Isso encurta o cone da zona de combustão primária, permitindo que a zona de combustão secundária fique maior e mais brilhante, chegando a uma temperatura de 3.150 °C. A chama oxidante, ilustrada na Figura 17.C, é utilizada principalmente para ligas que contenha zinco em sua composição, como o latão.

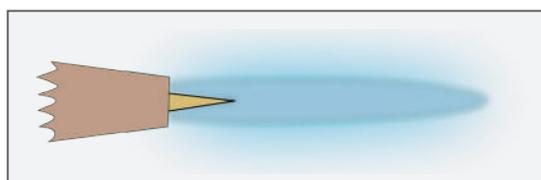


Figura 17.C - Chama oxidante

O fator ( $r$ ) é igual ao volume de oxigênio dividido pelo volume de acetileno. Assim:

$$r = \frac{O_2}{C_2H_2} \begin{cases} r = 1 \text{ Chama neutra} \\ r < 1 \text{ Chama redutora} \\ r > 1 \text{ Chama oxidante} \end{cases}$$

Inicialmente, deve-se abrir somente o registro que permite a vazão de acetileno, a chama deve ser acesa com um acendedor de isqueiro. O resultado é uma chama amarela com muita fuligem, apresentada na Figura 17.D. Na sequência, será aberto o registro que permite a vazão de oxigênio na proporção desejada, formando os três tipos de chamas apresentadas anteriormente.



Figura 17.D - Chama produzida pela queima do acetileno na presença do ar

Não é recomendado acender o maçarico com fósforos, pois, devido ao seu pequeno comprimento, os dedos ficam muito próximos da tocha. O gás acumulado antes da ignição pode envolver a mão e provocar queimaduras graves.

## 2.4 Soldagem de metais ferrosos e não ferrosos

As ligas metálicas ferrosas mais utilizadas em revestimentos e estrutura de aeronaves são aço e aço inox. Já as ligas metálicas não ferrosas mais utilizadas são alumínio, magnésio e titânio. É possível utilizar o processo de soldagem oxiacetilênica para essas ligas, por isso é importante a técnica de soldagem na formação do mecânico de aeronaves com habilitação em célula.

Serão apresentadas a seguir as principais características da solda de oxiacetileno para essas ligas metálicas.

### 2.4.1 Ligas de aço

A solda oxiacetilênica é mais utilizada para soldar aços com baixo teor de carbono. Quanto maior for o teor de carbono no aço, mais restritivas serão as condições que permitem a soldagem. As principais variáveis para a soldagem de ligas de aço são teor de carbono e ductilidade. O tratamento térmico da liga de aço também influencia na soldabilidade, principalmente para ligas de aço níquel-cromo resistentes a altas temperaturas.

Para se reduzir a inclusão de impurezas durante o processo de soldagem oxiacetilênica, é recomendado, segundo o Instituto de Aviação Civil (2002):

- manter uma chama exatamente neutra para a maioria dos aços, e um pequeno excesso de acetileno para ligas com alto teor de níquel ou cromo, tal como o aço inoxidável;
- preservar uma chama suave e controlar a poça;
- conservar uma chama suficiente para penetrar no metal e manipulá-lo de forma que a poça de fusão seja protegida do ar pelo envelope externo da chama;
- manter a ponta quente da vareta de enchimento dentro da poça de fusão ou dentro do envelope da chama.

A preparação das peças é muito importante no processo de soldagem. As bordas devem ser limpas e preparadas em função do tipo de junta. Para alguns casos, será necessário realizar um preaquecimento. As peças de aeronaves devem estar totalmente livres de sujeira, graxa, óleos, camada de pintura ou revestimentos metálicos para serem corretamente soldadas.

#### a) Ligas de cromo-molibdênio

Para as ligas de cromo-molibdênio, é possível utilizar praticamente as mesmas técnicas utilizadas no aço-carbono, a grande diferença será a necessidade de realizar um preaquecimento na área ao redor da soldagem para evitar rachaduras.

#### b) Ligas de aço inox

O aço inox pode ser soldado utilizando os mesmos procedimentos do aço carbono. Em relação aos itens aeronáuticos, alguns cuidados devem ser tomados para atingir resultados satisfatórios:

Somente o aço inoxidável que não for usado em membros estruturais de aeronaves pode ser soldado satisfatoriamente; sendo ele utilizado em membros estruturais, é trabalhado a frio ou laminado a frio; se aquecido, perde parte da sua resistência. Aço inoxidável não estrutural é obtido em forma de tubos ou folhas, e geralmente é aplicado em coletores de exaustão, chaminés ou tubulações. O oxigênio se combina muito rapidamente com este material quando derretido, e deve-se ter muito cuidado para que isto não ocorra (BRASIL, 2002, p. 14).

O coeficiente de dilatação linear do aço inox é alto, assim, a vareta de enchimento deve ser do mesmo material base para evitar deformações irregulares causadas pela variação de temperatura. As chapas finas devem ser ponteadas para evitar o empenamento e deformação durante a soldagem.

### c) Ligas de alumínio

Conforme o Instituto de Aviação Civil (2002), as ligas de alumínio soldável usadas na construção aeronáutica são as 1100, 3003, 4043 e 5052. As ligas 6053, 6061 e 6151 também podem ser soldadas, porém, uma vez que elas recebem tratamento térmico, a soldagem somente será permitida se a peça puder sofrer novo tratamento térmico.

Para reduzir as tensões causadas no processo de soldagem, as peças devem ser preaquecidas devido ao alto coeficiente de dilatação linear do alumínio. A temperatura de preaquecimento não deve exceder o ponto de fusão do alumínio, visto que o calor pode derreter parte dele e queimar o metal. No caso de chapas finas, o processo de preaquecimento pode ser realizado passando o maçarico três ou quatro vezes rapidamente na chapa.

Finalizada a soldagem, os resíduos devem ser removidos usando escova ou água quente. Uma solução diluída a 10% de ácido sulfúrico pode ser usada no lugar da água quente. Para finalizar, a solução deverá ser enxaguada com água fria.

O tipo de chama mais recomendado para soldar alumínio é a neutra. Em alguns casos, pode-se utilizar chama ligeiramente carburante, desde que o excesso de acetileno não seja muito grande para não enfraquecer a junta. A regulagem do maçarico deve proporcionar uma chama branda. A utilização de uma chama forte dificulta o controle do metal fundido, ocasionando a formação de furos no metal.

No processo de soldagem oxiacetilênica das ligas de alumínio, as juntas devem começar a derreter antes de adicionar a vareta de enchimento. O ponto de fusão do alumínio é baixo em comparação a outras ligas metálicas soldáveis. A condução do calor é rápida e, próximo do ponto de fusão, ocorre uma pequena mudança na coloração do metal e sua plasticidade é aumentada.

O profissional soldador deve desenvolver a habilidade de derreter o material evitando formar buracos, isso ocorre por se posicionar a chama na distância correta da peça, inclinando a 45° a vareta. O movimento deve ser constante e uniforme, evitando queimar o metal e possíveis furos.

A vareta de enchimento deve ser mergulhada na poça de fusão para ser derretida. Na sequência, a vareta é erguida e o movimento do maçarico progride seguindo o procedimento normal de soldagem. Durante o processo, a vareta deve permanecer no envelope externo da chama até ser adicionado novamente na poça de fusão.

#### d) Ligas de magnésio

Muitas peças de aeronaves são fabricadas em ligas de magnésio devido à sua leveza ser aliada à resistência. Por isso, a soldagem de magnésio é tão importante. Alguns fatores devem ser observados antes de realizar a soldagem de ligas de magnésio.

O magnésio é muito utilizado como membro estrutural em aeronaves, nesses casos, geralmente, recebe tratamento térmico. A área soldada nunca fica com a mesma resistência da liga original. As regiões próximas à área soldada são afetadas pelo calor, enfraquecendo o metal. Em linhas gerais, esses são os locais onde ocorrem as falhas após a soldagem. É muito importante realizar o monitoramento periódico dessas regiões.

Existem produtos destinados à eliminação de contaminações e impurezas nas áreas soldadas, além de removerem a camada de óxido formada na superfície. Esses produtos são chamados de fluxo de solda ou fundentes. No caso do magnésio, devem-se utilizar os fluxos de solda durante a soldagem.

É importante remover completamente o fluxo de solda após o término da soldagem para evitar o ataque corrosivo.

O magnésio não pode ser soldado a outros metais. No caso de solda de magnésio com peças de espessuras distintas, é recomendado preaquecer a região de maior espessura. Quando se utilizar vareta de enchimento, ela deve ser do mesmo material da base.

Existem duas técnicas recomendadas para realizar a soldagem de magnésio utilizando material de adição. Na primeira, a vareta é mantida na poça de fusão todo tempo. Na segunda, a vareta é mergulhada na poça de fusão e derretida; na sequência, é erguida e o movimento do maçarico continua à medida que a soldagem progride. É importante manter a vareta sempre dentro do envelope externo da chama. Ao final da soldagem, a peça deve ser completamente limpa e encaminhada para tratamento químico e posterior pintura para evitar a corrosão.

#### e) Soldagem de titânio

A técnica mais recomendada para soldar titânio é a soldagem arco voltaico. Quando o titânio é aquecido até seu ponto de fusão, ele absorve o oxigênio e o nitrogênio da atmosfera. Esses elementos, mesmo em percentual muito baixo, enfraquecem a junta soldada, fazendo com que sua resistência seja muito inferior a necessária. Dessa forma, o oxigênio presente na soldagem oxiacetilênica contamina o titânio, inviabilizando essa tecnologia de soldagem nesse caso.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que a soldagem oxiacetilênica é uma técnica de união de metais por fusão e é o principal método utilizado na união de metais na fabricação e reparos de peças de aeronaves. O aquecimento do metal é realizado por uma chama resultante da queima do oxigênio e acetileno. O equipamento utilizado pode ser estacionário ou móvel. Ele é composto por cilindro de oxigênio, cilindro de acetileno, reguladores de pressão, mangueira, maçaricos e conexões. O gás acetileno possui baixo custo e produz uma chama de alta temperatura.

Pode ser armazenado em cilindros, sob condições especiais, e transportado até o local desejado. O gás oxigênio é mantido em cilindros sob alta pressão na forma líquida. Os reguladores de pressão são responsáveis por abaixar a pressão de armazenamento até níveis trabalháveis, sendo transportado para o maçarico por mangueiras resistentes. O maçarico é a peça responsável por dosar a mistura de oxigênio e acetileno e fornecer a vazão desejada pelo soldador. No bico do maçarico, ocorre a reação química de queima dos gases com a liberação de luz e calor. A regulagem da chama varia para cada caso. As chamas mais usuais são as carburante, oxidantes e neutras.



## Capítulo 3

# Soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido

A soldagem é realizada por fusão mediante o calor de um arco elétrico criado e sustentado entre a peça que se deseja soldar e a ponta de um eletrodo metálico revestido, também conhecida como técnica manual de soldagem. Neste processo, o arco elétrico produz uma intensidade de calor que chega perto de 5.600 °C, responsável por fundir o metal da peça, a alma ou núcleo do eletrodo e o revestimento. Durante a fundição, gases são produzidos com a finalidade de proteger o metal de solda de contaminantes no ar atmosférico enquanto ocorre a solidificação.

Essa técnica de soldagem também é conhecida como *shielded metal arc welding* (SMAW), em português, soldagem a arco metálico revestido. É muito comum e bastante utilizada em construção de aço e em fabricação industrial devido à sua versatilidade e ao fato de suas ferramentas e equipamentos serem simples. A principal utilidade é soldar ferro e aço, incluindo o aço inoxidável, podendo, igualmente, soldar ligas de níquel, alumínio e cobre, todas utilizadas na indústria aeronáutica.

### 3.1 Arco elétrico

O arco elétrico é uma descarga de eletricidade em meio gasoso provocada por uma grande diferença de potencial. Quando ocorre um raio, forma-se um arco elétrico entre a nuvem e o solo. Os gases atmosféricos são normalmente isolantes, assim, para ocorrer uma descarga elétrica na atmosfera, eles devem estar ionizados.



Figura 18 - Arco elétrico sendo formado

A ionização é um processo químico no qual moléculas neutras ganham ou perdem elétrons. Isso permite que alguns elétrons escapem da ação eletromagnética das moléculas e circulem livremente. Quando ocorre a ionização de um gás, ele deixa de ser um meio isolante e passa a ser condutor, criando as condições favoráveis para ocorrer descargas elétricas como raios.

O fenômeno que ocorre na soldagem é justamente esse. O gás ou a mistura de gases utilizados nos processos de soldagem são ionizados pela diferença de potencial entre a peça e o eletrodo. Isso permite que ocorra uma grande descarga de eletricidade, gerando luz e intenso calor; o último é responsável por fundir o metal.

As técnicas de soldagem por fusão – soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG), soldagem a arco metálico com gás inerte (MIG) e soldagem a arco metálico com gás ativo (MAG) - utilizam a energia térmica gerada pelo arco elétrico para fundir a liga metálica.

No caso da soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido, a energia térmica gerada é controlada pela diferença de potencial fornecido pelo equipamento e pela distância do eletrodo da peça. O eletrodo vai derretendo devido ao calor e é adicionado à poça de fusão juntamente com o metal base.

### 3.2 Características

Em virtude da versatilidade e da simplicidade dos equipamentos, a soldagem por arco elétrico é um dos processos de soldagem mais utilizados na manutenção de aeronaves. Na Figura 19, vê-se o esquema que representa a soldagem com eletrodo revestido.

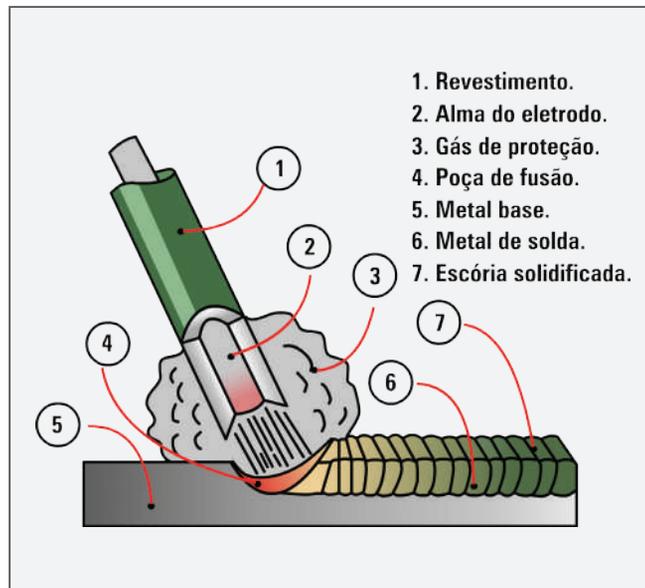


Figura 19 - Diagrama de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



**Escória:** resíduo proveniente da fusão de certas matérias.

A principal utilidade deste tipo de solda é a soldagem de aços de baixa concentração de carbono ou baixa liga. Entretanto, podem-se soldar vários metais não ferrosos, utilizando este método. A grande desvantagem é que essa metodologia de soldagem produz **escória**.

O eletrodo é aproximado do metal e, logo em seguida, afastado, fazendo, dessa forma, com que a diferença de potencial vença a resistência do ar, surgindo o arco elétrico. Com o objetivo de conservar o arco estável entre a peça e o eletrodo, este precisa ser manipulado em uma razão constante de avanço. Deve ser conservada sempre a mesma distância entre o metal e o eletrodo de acordo com que este último vai derretendo.

A soldagem por arco elétrico é um método de soldagem por fusão sem pressão. Devido ao intenso calor do arco, uma parte da peça a ser soldada sofre um aumento da temperatura, chegando ao ponto de fusão quase instantaneamente. De forma concomitante, há também o derretimento da ponta do eletrodo revestido, onde pequenos globos de gotas derretidas, do eletrodo revestido, passam por meio do arco para a peça base.

A potência do arco desloca os glóbulos do metal fundido diretamente para a cavidade formada na peça, fazendo com que o metal de enchimento seja depositado e unido à peça que está sendo soldada.

A fim de que uma quantidade comedida do metal de enchimento possa ser aplicada na peça base para produzir um cordão de solda, o eletrodo revestido deve ser movido pela extensão da junta em direção à peça. No momento da formação do arco, a temperatura do material chega a 3.600 °C no ponto de soldagem. Essa intensidade de calor é concentrada entre um ponto da soldagem e a ponta do eletrodo, criando uma cavidade de metal fundido, usualmente chamada de cratera. A Figura 20 mostra o esquema completo de uma soldagem por arco elétrico.

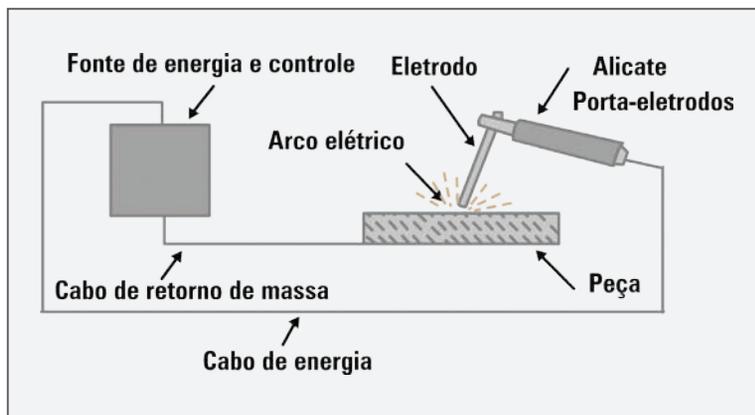


Figura 20 - Esquema de soldagem por arco elétrico

### 3.3 Equipamentos

Existem dois equipamentos fundamentais para realizar uma soldagem com eletrodos revestidos, conhecidos como tipos de fonte de energia transformador e retificador, ilustrado na Figura 21.

O transformador fornece uma corrente elétrica alternada, ou seja, o sentido da corrente varia com o tempo. Isso significa que a corrente elétrica muda periodicamente seus valores e sua polaridade. Dessa forma, há um intervalo de corrente positivo e um negativo. Como resultado, ocorre uma instabilidade do arco elétrico.

O retificador transforma a corrente alternada em contínua, fornecendo corrente elétrica continuamente. A corrente elétrica é constante e percorre um só sentido, saindo do polo negativo e indo para o polo positivo.

Quando o cabo do porta-eletrodo é ligado no terminal negativo, tem-se uma polaridade direta ou negativa.



Figura 21 - Máquina de solda (transformador/retificador)

### 3.3.1 Equipamentos e acessórios

Existem os equipamentos secundários ou acessórios, que são escolhidos levando em consideração a aplicação, o tipo, o revestimento e o fator de trabalho a ser adotado.

O porta-eletrodo é um suporte que tem a finalidade de segurar o eletrodo revestido e transferir a energia para a peça, possibilitando ser movimentado para realizar a soldagem. Há vários modelos disponíveis no mercado, escolhidos em função da intensidade de uma corrente elétrica a ser utilizada. Todos os porta-eletrodos devem ser isolados para garantir a segurança do soldador. A estrutura de fixação possui riscos que permitem utilização de eletrodos de diversos diâmetros em várias angulações. A Figura 22 mostra alguns exemplos de porta-eletrodos.

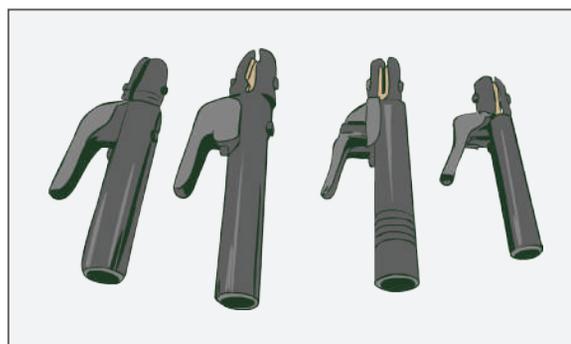


Figura 22 - Porta-eletrodos

Outros acessórios importantes são os cabos de soldagem, que têm a função de conduzir a corrente elétrica do transformado/retificador ao porta-eletrodo. Existe também o cabo de retorno, cuja função é fechar o circuito elétrico, transportando a corrente do metal base de volta ao transformador/retificador. Para que seja feita a melhor escolha do diâmetro do cabo de soldagem, devem-se respeitar a intensidade da corrente elétrica do circuito e o comprimento total do cabo. Quanto maior for a intensidade da corrente elétrica, maior será a seção transversal do cabo.

A utilização de cabos fora dos padrões necessários para a realização do serviço pode originar um superaquecimento, tanto nos cabos quanto no transformado/retificador; além disso, ocasionará perda de energia, prejudicando a qualidade da soldagem.

Na Figura 23.A, tem-se o conjunto eletrodo com o cabo de soldagem; na Figura 23.B, apresenta-se a garra de aterramento com o cabo de retorno.

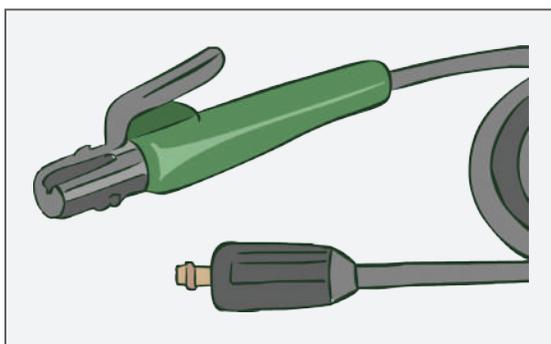


Figura 23.A - Cabo de soldagem unido ao porta-eletrodo

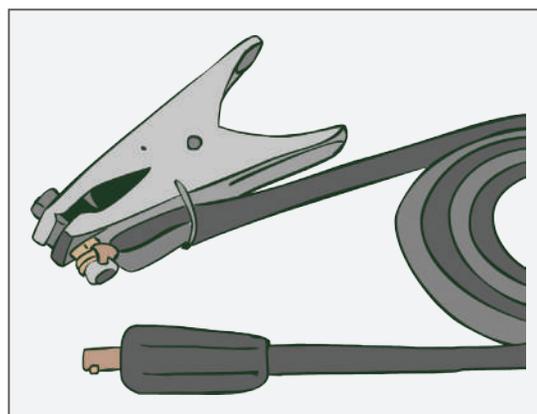


Figura 23.B - Cabo de soldagem unido à garra de aterramento

A picadeira, mostrada na Figura 24.A, é uma peça usada para fazer remoção de escórias resultantes da soldagem.



Figura 24.A - Picadeira

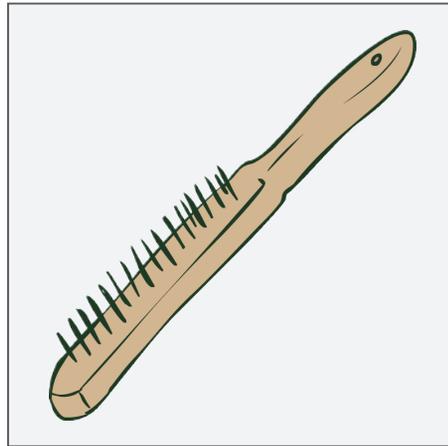


Figura 24.B - Escova de aço

Em alguns casos, é necessária a limpeza final do cordão com uma escova de aço, ilustrada na Figura 24.B. Após a remoção da escória, utiliza-se martelete pneumático.

### 3.3.2 Tipos de eletrodos revestidos

Os eletrodos revestidos são consumíveis nesse tipo de soldagem. Eles são compostos por duas partes distintas: a alma, ou núcleo metálico, e o revestimento. Podem ser encontrados com diâmetro que varia de 1,6 a 6 mm e seus comprimentos variam entre 300 e 700 mm.

A alma é constituída de liga metálica e pode ou não ter composição química igual ao do metal base. O revestimento pode completar a composição criando condições necessárias à soldagem.

O eletrodo cumpre várias funções na soldagem por eletrodo revestido. Ele estabiliza o arco por meio da liberação de gases pouco ionizáveis, protege a solda da ação da atmosfera pela liberação de gases de proteção e pela formação de escória. Esta, por sua vez, também ajuda a diminuir a velocidade de resfriamento do cordão de solda.

Os fatores que devem ser levados em conta na seleção do tipo de eletrodo são a liga metálica do material base, a posição de soldagem, o tipo de fonte de energia, a espessura da chapa, a taxa de deposição, entre outros.

A intensidade da corrente elétrica influencia na escolha do tipo de eletrodo. Existe uma faixa de corrente mínima e máxima possível para cada diâmetro. O profissional deve buscar informações junto ao fabricante para ajustar os parâmetros corretos conforme o tipo de soldagem realizada. O diâmetro também influencia na taxa de deposição de material. Quanto maior o diâmetro, mais material é depositado em menos tempo. Logo, a escolha do tipo e diâmetro corretos ajuda no aumento da produtividade.

A Figura 25 ilustra vários eletrodos revestidos, em que é possível ver a alma exposta e o revestimento.

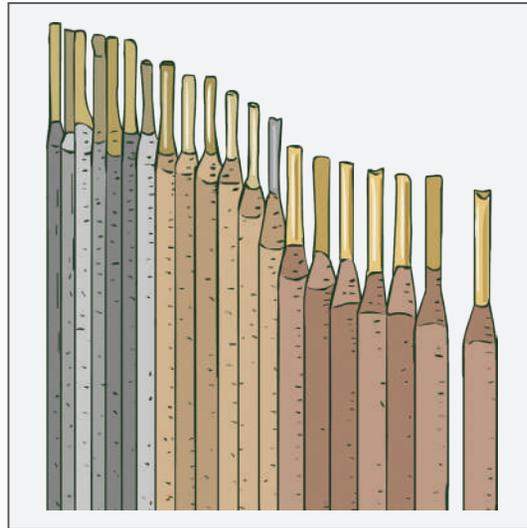


Figura 25 - Eletrodos revestidos

### 3.4 Aplicação

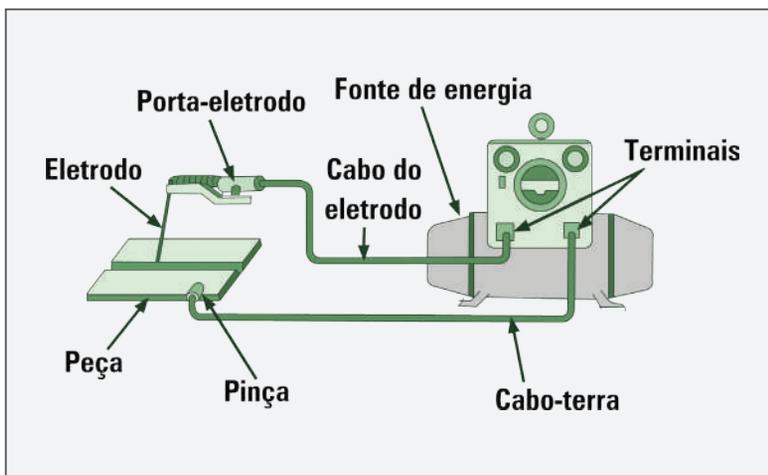


Figura 26 - Circuito de soldagem por arco elétrico

Dentre os processos de soldagem, um dos mais utilizados na manutenção de aeronaves é o processo por arco metálico com eletrodo revestido.

O circuito de soldagem (Figura 26) é formado por uma máquina de solda, um transformador/retificador (fonte de energia), dois cabos (um para a garra do eletrodo e outro para o aterramento), um porta-eletrodo, um eletrodo e uma peça para a atividade de solda.

No exato momento que o eletrodo toca a peça e fecha o circuito, a corrente flui e a soldagem é iniciada. O próximo passo

é retirar o eletrodo do metal, formando um espaço de ar entre eles. Se esse procedimento for feito da maneira correta, a corrente romperá a resistência do ar e saltará do metal para o eletrodo, formando um arco elétrico constante.

Certificar a disponibilidade do material necessário é o primeiro passo para preparar uma soldagem por arco elétrico; em seguida, deve-se verificar se as condições da máquina de solda são boas e se estão corretamente conectadas à energia elétrica.

No aterramento, deve-se ter um cuidado maior; se for mal feito, pode gerar um arco flutuante que não será possível controlar. Neste caso, o risco de ocorrer um acidente se eleva. Sendo assim, o soldador deve fazer um bom aterramento.

O eletrodo deverá ser conectado de forma perpendicular à garra do porta-eletrodo, por meio da ponta sem revestimento. Como ilustrado na Figura 19, o eletrodo revestido tem uma das pontas sem o revestimento, cujo objetivo é manter um bom contato elétrico. O soldador deve tomar cuidado ao segurar o porta-eletrodo para evitar contatos acidentais com a bancada ou as peças, tais contatos poderão produzir pontos de soldas indesejados.

Pensando em segurança, o soldador deve sempre fazer um *checklist* com as perguntas descritas a seguir:

- a máquina de solda está sem problemas?
- todos os contatos foram apropriadamente feitos?
- o aterramento está adequado?
- o eletrodo foi escolhido de maneira correta quanto ao tamanho e ao tipo?
- o eletrodo está conectado de maneira correta no porta-eletrodo?
- o profissional está devidamente equipado com roupas protetoras adequadas e equipamentos de proteção individual em boas condições?
- a peça metálica a ser soldada foi devidamente preparada e limpa?
- a máquina de solda e o eletrodo estão devidamente polarizados?
- quanto ao ajuste da corrente elétrica, está de acordo para gerar o arco?

A maior dificuldade dos iniciantes em solda é o afastamento do eletrodo em relação à peça de maneira rápida. Quando o afastamento não ocorre no tempo correto, sucede o congelamento devido à alta amperagem que caminha através do eletrodo, fechando o circuito da solda e derretendo o eletrodo antes de ser afastado.

Existem duas técnicas similares para produzir o arco. Uma é por meio de um toque vertical, apresentado na Figura 27. O soldador executa um toque sutil e rápido, movimentando apenas o punho, e eleva o eletrodo a uma distância de 3 a 5 mm ( $1/8''$  a  $3/16''$ ) da peça.

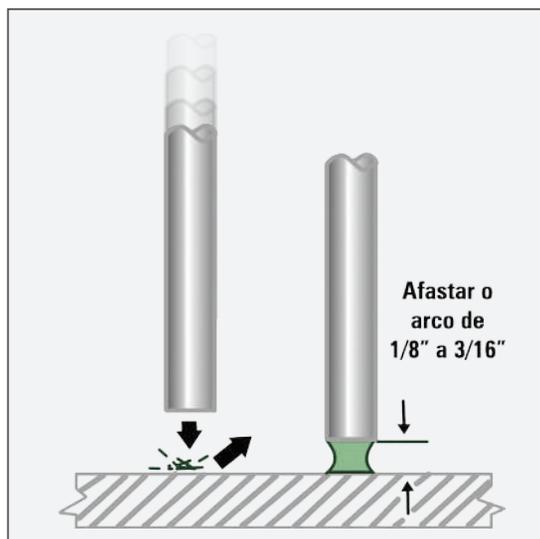


Figura 27 - Técnica para produzir arco por toque

A outra é conhecida como um risco em que o soldador forma um ângulo na perpendicular com a peça, e, com um movimento de punho, abaixa o eletrodo até ficar próximo da peça.

Em seguida, com um risco ágil, arranha a peça com a ponta do eletrodo. Essa ação é mostrada na Figura 28.

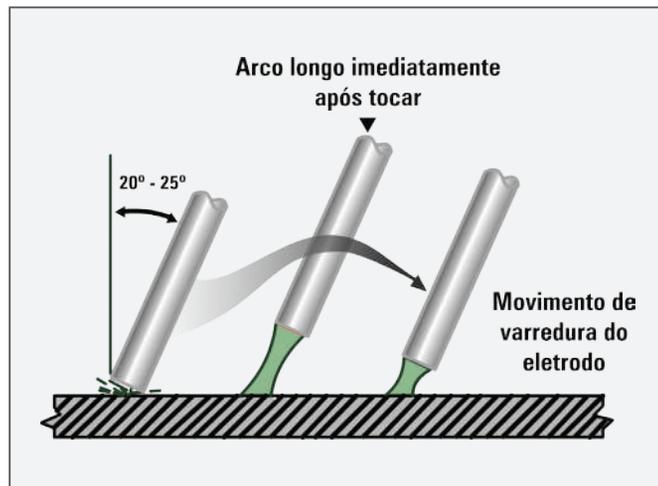


Figura 28 - Técnica para produzir arco por risco

Com o intuito de evitar a formação de gotas de tamanho maior do que o desejado, prevenindo o defeito de congelamento, o soldador utiliza um arco excessivamente longo após o toque.



Figura 29 - Inclinação do eletrodo

O movimento do eletrodo sobre a peça deve manter uma velocidade constante tanto no caminho da solda quanto na descida por causa do consumo de sua alma, a finalidade é formar um cordão uniforme.

Um cordão volumoso resultando em sobreposição, sem fusão nas bordas, ocorrerá devido a uma razão de avanço com velocidade pequena. Caso essa razão tenha uma velocidade alta, o cordão terá uma largura fina com pouca fusão na peça. Para que não ocorram esses defeitos, o soldador deve manter uma velocidade de avanço constante e correta, garantindo uma fusão satisfatória. Tal velocidade será adquirida com a prática.

Conforme a Figura 29, deve ser conservado um ângulo que varia de 20° a 25° do eletrodo em relação à perpendicular da peça durante a soldagem.

Se, durante uma soldagem, o soldador interromper o arco, uma cratera surgirá. A interrupção do arco pode ocorrer alimentando o eletrodo muito devagar ou muito rápido, ou para realizar a substituição do eletrodo.

Ao retornar à atividade de soldagem, esta não deve reiniciar na cratera do cordão anterior, e sim na sequência da cratera. Assim que o arco começar a se formar novamente, move-se o eletrodo

para cima da cratera, a partir daí pode-se continuar a soldagem da peça como se desejou no início. A Figura 30 ilustra o procedimento de reinício da soldagem.

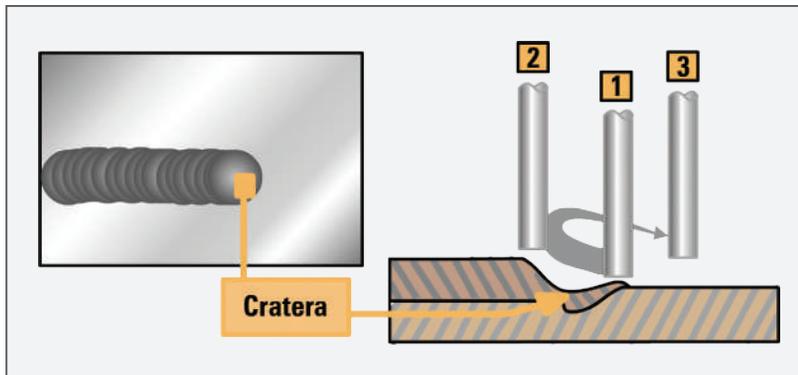


Figura 30 - Cratera

É importante fazer a remoção das partículas de escória ao redor da cratera antes de reiniciar o processo de soldagem, dessa forma, previne-se que a escória não fique alojada na solda.

## Resumindo

A soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido é um processo manual de soldagem, que realiza a solda mediante o calor produzido por um arco elétrico criado entre o metal a ser soldado e a ponta de um eletrodo revestido, que funde o metal, o núcleo do eletrodo e o revestimento. Sua utilidade é focada em aços de baixa concentração de carbono ou baixa liga, podendo, ainda, soldar vários metais não ferrosos, como ligas de alumínio e níquel.

Dentre os equipamentos necessários a realizar esse tipo de soldagem, o transformador e o retificador são fundamentais, pois são as fontes de energia. Tendo também os acessórios que serão escolhidos dependendo do resultado desejado. Ao tocar a peça com o eletrodo, e afastando por uma distância pequena, tem-se o início da soldagem.



# Capítulo 4

## Soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG)

Soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG) é um processo de soldagem por fusão em que o calor é fornecido por um arco elétrico formado entre o eletrodo de tungstênio não consumível e o metal base. A poça de fusão é protegida da contaminação por um gás inerte ou mistura de gases.

O gás ou mistura de gases é classificado como inerte porque não reage com os materiais. Ele é expelido por um bocal junto ao eletrodo, cuja função é proteger e transmitir corrente elétrica quando ionizado e auxiliar no resfriamento do eletrodo. A soldagem pode ser realizada com ou sem material de adição.

### 4.1 Características

A sigla TIG vem da abreviação de *tungsten inert gas* (gás tungstênio inerte). O eletrodo é constituído de tungstênio, que não deve ser consumido na soldagem, isso evita defeitos e descontinuidades no cordão de solda. Essa técnica de soldagem também é conhecida como *gas tungsten arc welding* (GTAW), em português, soldagem a arco com gás tungstênio.

Esse processo de soldagem, desenvolvido na década de 1940, foi muito utilizado para soldar ligas não ferrosas, com destaque para alumínio, magnésio, titânio e aços inoxidáveis. A soldagem TIG, ilustrada na Figura 31, por ser utilizada em muitas ligas metálicas de espessuras variadas, formando juntas com excelente acabamento na raiz. Por essa razão, é muito empregada na indústria aeroespacial.

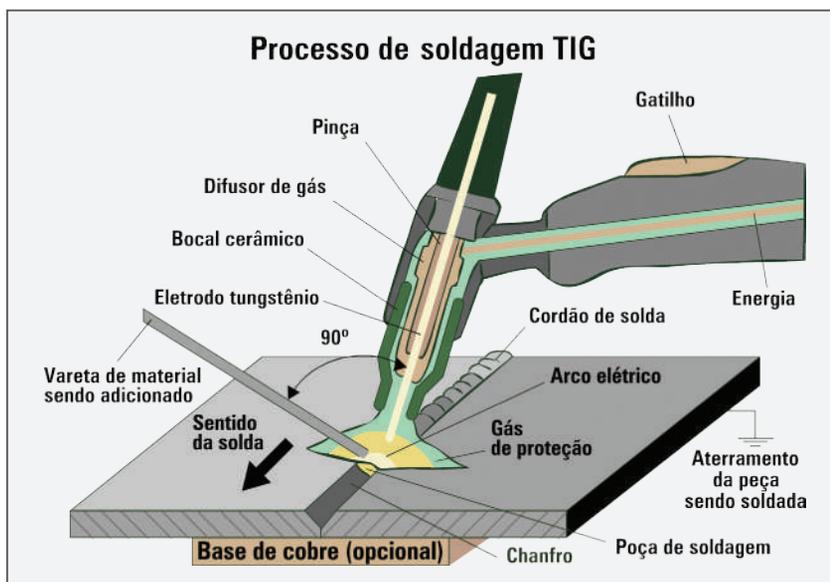


Figura 31 - Esquema de soldagem TIG



**Inerte:** é algo que não reage.

**Fumos:** minúsculas partículas formadas a partir de vapores e gases que se desprendem das peças em fusão.

A soldagem TIG é um processo que possibilita o controle independente da fonte de calor e material de adição. Isso permite que o soldador pondere a quantidade de energia fornecida à peça, facilitando a execução de soldas em todas as posições.

O gás utilizado para a proteção é **inerte**, protege a peça contra a oxidação causada pela atmosfera, não reage com o metal fundido, não produz escória e **fumos**. Logo, não é necessário remover a escória entre os passes. Esses fatores permitem que o soldador tenha excelente visibilidade no trabalho de soldagem.

A soldagem TIG pode ser feita manualmente, mecanicamente ou automatizada, a manual requer muito treinamento do soldador. As principais vantagens da metodologia TIG são possibilitar a formação de soldas de ótima qualidade, produzir poça de fusão calma, unir variadas ligas metálicas e controlar a fonte de calor minimizando a zona termicamente afetada (ZTA) e as distorções.

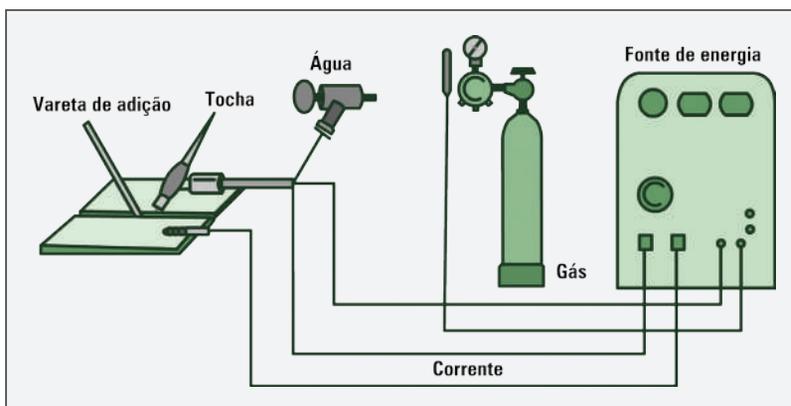
As desvantagens são a baixa taxa de deposição, intensa emissão de radiação ultravioleta, impossibilidade de realizar soldas em locais com corrente de ar e inclusão de tungstênio na solda.

## 4.2 Equipamentos

O processo de soldagem TIG é muito popular no Brasil. Os equipamentos são relativamente simples e podem ser encontrados facilmente em todas as regiões do País.

Os equipamentos mais comuns utilizados no processo de soldagem TIG são:

- fonte de energia elétrica - o equipamento será um transformador, no caso de corrente elétrica alternada, ou um retificador ou gerador, no caso de corrente contínua;
- tocha com suporte para eletrodo;
- eletrodo para abertura do arco;
- fonte de gás - pode ser um cilindro ou vários cilindros no caso de rede de distribuição;
- unidade de circulação de água para refrigeração da tocha;
- cabo de condução para o gás de proteção;



- cabo para o sistema de energia;
- cabo para o sistema de refrigeração;
- vareta de adição (opcional).

Na Figura 32, visualiza-se o esquema de montagem dos equipamentos utilizados na soldagem TIG.

Figura 32 - Equipamento básico para soldagem TIG

### 4.2.1 Fonte de energia

O equipamento utilizado como fonte de energia para a soldagem TIG pode ser um transformador, para corrente alternada (CA), ou um retificador, para corrente contínua (CC). O mais utilizado é aquele que faz as duas funções ao mesmo tempo. No mercado, pode-se encontrar uma variedade de modelos com essas características.

É possível, outrossim, utilizar um equipamento para fornecer energia no processo de soldagem de arco elétrico com eletrodo revestido. Quando o aparelho é utilizado como transformador (CA), ele precisará ser composto de algumas partes:

- transformador monofásico ou trifásico - transforma a corrente e a tensão da rede em corrente e tensão utilizada na soldagem;
- gerador de alta frequência - gera impulsos de alta frequência e tensão para ignição do arco elétrico;
- compensador - usado para compensar a variação de corrente que pode surgir na soldagem;
- válvula magnética de gás protetor - responsável pela abertura e fechamento eletromagnético do fornecimento de gás;
- unidades de comando - liga e desliga a corrente de soldagem, controla a intensidade da corrente, o fornecimento de gás e regula o condensador de filtragem.

No caso de ser utilizado como retificador (CC) para soldagem TIG, o aparelho deve ser equipado ainda com um retificador. Esse componente transforma a corrente alternada monofásica ou trifásica da rede em corrente contínua (CC) de trabalho.

A corrente contínua é mais apropriada para realizar a soldagem de aços inox, aço-carbono, titânio e cobre. No caso da fonte de corrente alternada, ela é mais empregada na soldagem de alumínio, latão, magnésio e bronze. Esses equipamentos são capazes de ajustar a corrente em uma extensa faixa de atuação que vai de 5 A (ampere), no caso de soldagem de chapas finas, a 500 A, para peças de grande porte. A Figura 33 mostra um exemplo de fonte de energia utilizado para soldagem TIG.

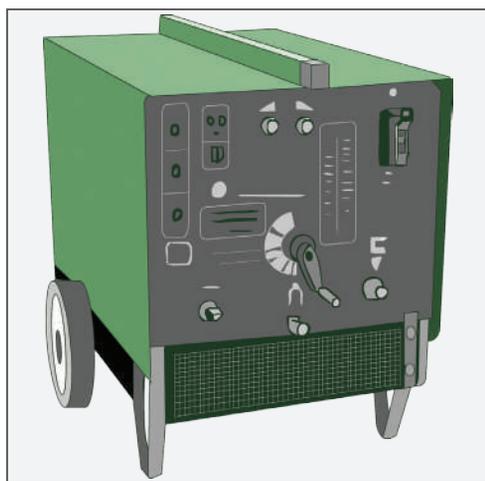


Figura 33 - Transformador e retificador para soldagem TIG

## 4.2.2 Tocha de soldagem

Tocha de soldagem é o elemento responsável por conduzir a corrente e o gás inerte para a zona de soldagem. Sua extremidade é revestida com material isolante para proteger o soldador. Ela

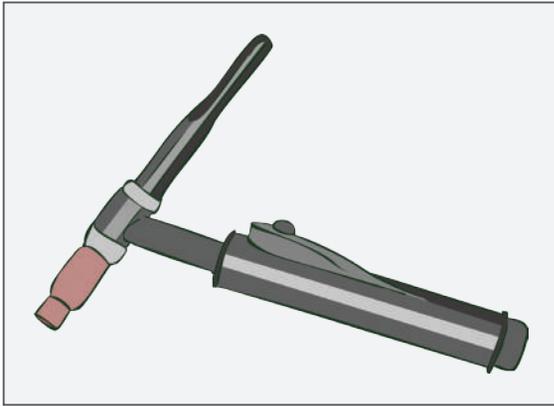


Figura 34 - Tocha de soldagem TIG

possui uma pinça para segurar o eletrodo de tungstênio e um bocal cerâmico ou metálico responsável por conduzir o fluxo de gás. As dimensões do bocal variam de acordo com o tipo de junta e a espessura do metal. Essa tocha é apresentada na Figura 34.

A tocha deve ser resfriada durante a soldagem. No caso de correntes até 150 A, o próprio gás resfria a tocha, no caso de correntes entre 150 e 500 A, será necessário um sistema de resfriamento por água corrente. A água utilizada no resfriamento deve ser limpa para não ocasionar entupimentos e causar acidentes. Em alguns casos é necessário instalar filtros no sistema.

Para evitar a contaminação da poça de fusão com tungstênio, o arco elétrico deve ser aberto antes de ocorrer o toque do eletrodo com a peça. O dispositivo mais utilizado para formar um arco inicial (arco piloto) é um **ignitor**, que providencia um sinal de alta frequência e tensão (5 KH e 5 KV).



**Ignitor:** componente que tem a função de produzir descarga inicial para dar partida em equipamentos elétricos.

**Termiônico:** efeito termiônico é o aumento do fluxo de elétrons que saem de um metal, devido ao aumento de temperatura.

## 4.3 Consumíveis

Os consumíveis da soldagem TIG são, basicamente, gás de proteção, varetas e arames de adição. Apesar de o eletrodo não entrar na composição da solda, ou seja, é não consumível, há um desgaste ao longo do tempo, fazendo com que ele seja substituído constantemente.

A seguir, será analisado como os eletrodos, o gás de proteção e o metal de adição atuam.

### 4.3.1 Eletrodos

O eletrodo é fabricado com tungstênio puro (99%) ou com outras ligas, como as de zircônio ou tório. Possui alto ponto de fusão, da ordem de 3.400 °C. O tungstênio é **termiônico**, ou seja, possui facilidade de emitir elétrons, favorecendo a estabilidade do arco.

A função do eletrodo é conduzir a corrente elétrica até o arco, variando-a conforme a composição química, o diâmetro do eletrodo e o tipo de corrente de soldagem (CA/CC).

A classificação mais utilizada para eletrodos é feita pela *American Welding Society* (AWS). O primeiro dígito corresponde ao eletrodo (**E**), na sequência, aparece o wolfrâmio (**W**, para tungstênio), seguido do elemento químico que compõe a liga, ou (**P**) quando é puro e a porcentagem desse elemento.

Exemplo:

### EW Th-1

Em que:

- **EW** - eletrodo de tungstênio;
- **Th** - tório;
- **1** - com 1% de pureza.

Os eletrodos são selecionados para o trabalho em função do material que será soldado, da espessura da peça, do número de passes necessário, do tipo de junta e dos demais parâmetros de soldagem. Os mais utilizados são **EWP**, **EW Th**, **EW Ce**, **EW La**, **EW Zr** entre outros.

## 4.3.2 Gás de proteção

A principal função dos gases na soldagem TIG é proteger a poça de fusão de contaminações provenientes da atmosfera. O gás serve também para transferir corrente elétrica quando ionizado e resfriar o sistema.

Ele deve possuir pureza de 99,99% com baixo teor de umidade, os mais utilizados são argônio, hélio e a mistura dos dois. A escolha do tipo de gás depende de variáveis como o material que se pretende soldar, a espessura da peça e a posição de soldagem.

O tipo de gás influencia na velocidade de soldagem e nas características do arco formado. As variáveis mais importantes em relação ao gás são a densidade, o calor específico e a energia mínima de ionização.

Podem-se apontar algumas vantagens do uso dos gases de proteção argônio e hélio. São elas:

#### a) Argônio

- arco com menor tensão e maior corrente (estável);
- penetração reduzida, favorável para soldagem manual de chapas finas;
- menor custo e maior disponibilidade;
- menor taxa de vazão para uma boa proteção;
- facilidade de abertura do arco.

#### b) Hélio

- maior transferência de calor para peça, possibilitando soldar metais com alta condutividade térmica e grande espessura;
- maior velocidade de soldagem.

### 4.3.3 Metal de adição



Figura 35.A - Vareta de solda TIG

A função do metal de adição é diminuir as fissuras e participar do cordão de solda. A composição das varetas deve ser igual ou similar à do metal base. A seleção do diâmetro das varetas e arames dependerá da espessura da peça soldada. Os fornecedores disponibilizam catálogos com essas informações detalhadas. Um exemplo de arame de solda TIG é mostrado na Figura 35.B.

O material de adição utilizado na soldagem TIG é encontrado normalmente em varetas de comprimento de 1 m. É utilizado em soldagem manual e bobinas de arames de pequena espessura, variando entre 0,5 e 5 mm para soldagem mecanizada. O tipo de liga metálica das varetas é variado e sua classificação é feita pela AWS, conforme as propriedades químicas e mecânicas do metal de adição.

Um exemplo de vareta de solda TIG é mostrada na Figura 35.A.

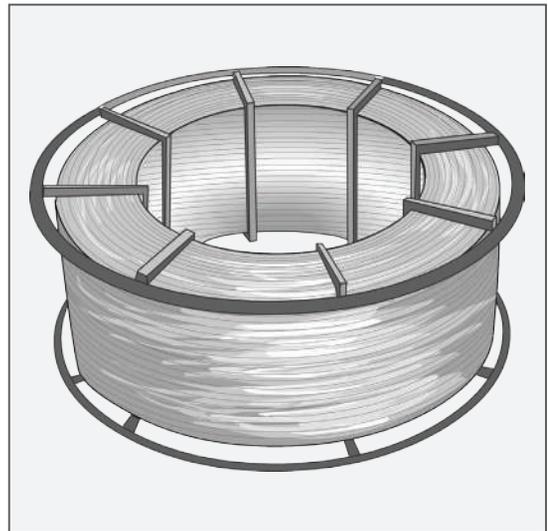


Figura 35.B - Arame de solda TIG

## 4.4 Aplicação

A soldagem TIG pode ser utilizada para unir praticamente todos os metais, com destaque para zircônio, titânio, ligas de alumínio, magnésio, níquel e aços inoxidáveis. Esse processo pode ser utilizado para todas as posições de soldagem e tipos de junta. Produz um resultado de qualidade para pequenas espessuras de chapas inferiores a 10 mm. A solda formada é de ótima qualidade e isenta de escória, por esse motivo, é muito empregada na manutenção de aeronaves.

A qualidade do cordão de solda depende dos parâmetros de soldagem: para cada tipo de trabalho, será necessário ajustar os parâmetros de forma correta. As variáveis serão o comprimento do arco, a velocidade de soldagem, a corrente de soldagem e a vazão do gás, detalhadas a seguir.

- a) Comprimento do arco - distância entre o metal base e a ponta do eletrodo. Quanto maior o arco, maior será o cordão de solda. Para aumentar a distância do arco, é necessário aumentar também a tensão para uma mesma corrente e mesmo gás de proteção. Arcos muito curtos ou longos não produzem cordões de solda íntegros, mas favorecem o aparecimento de descontinuidades, **mordeduras** e porosidades.
- b) Velocidade de soldagem - esta variável influencia a penetração da poça de fusão e a largura do cordão de solda na peça. Se a velocidade de soldagem for muito alta, ocorrerá melhora na produtividade, mas apresentará a tendência de formar falhas como falta de penetração e mordedura. O soldador deve ser capaz de ajustar a velocidade de soldagem de forma a maximizar a produtividade com o mínimo de falhas.
- c) Corrente da soldagem - a intensidade da corrente está relacionada à vazão de gás: quanto maior a corrente, maior vazão será necessária. Na Tabela 3, visualizam-se as vazões iniciais de gás sugeridas, para diversas intensidades de corrente e materiais. Esses valores devem ser ajustados dependendo da condição de operação.



**Mordeduras:** descontinuidade da solda formada por uma reentrância aguda provocada pela fonte de calor do arco entre os passes de solda e o metal base.

Tabela 3 - Vazão de argônio em função da corrente de soldagem no processo TIG

Material	Vazão do gás (l/min) para correntes (A) de					
	100	150	200	250	300	350
Aços de carbono e inoxidável	5	6	7	8	9	9
Alumínio e suas ligas	5	7	8	10	11	12
Titânio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas	9	11	12	14	15	16

Fonte: MACHADO, 2007, p. 178.

- d) Vazão do gás - o ajuste da pressão do gás é responsável por impedir a contaminação da poça de fusão pelos gases presentes na atmosfera. Uma vazão muito pequena não impede a contaminação, enquanto uma vazão muito alta forma fluxo de gás turbulento. O ajuste da vazão é uma tarefa que deve levar em conta o tipo de gás, o tamanho do arco pretendido, tipo de tocha e de junta, diâmetro da peça, posição de soldagem, tipo de metal que será soldado e tamanho da poça de fusão.

Na sequência, serão detalhadas as etapas do processo de soldagem TIG.

- preparação da peça - nessa etapa, todos os contaminantes deverão ser removidos por meio de decapagem, lixamento, escovamento e limpeza;
- o gás deverá ser aberto para eliminar o ar da mangueira e da tocha;
- deve-se formar uma cortina de gás protegendo a região antes da abertura do arco;
- o arco será aberto utilizando ignitor de alta frequência;
- nesse momento, a poça de fusão é formada;
- o metal de adição deve ser adicionado à poça de fusão quando for o caso;
- finalizando a solda, deve-se interromper a corrente para extinguir o arco;
- realiza-se o resfriamento da poça de fusão e eletrodo com o gás inerte;
- efetua-se o fechamento do fluxo de gás.

A tocha de fusão deve permanecer a uma distância entre 1,5 e 2,5 mm, perpendicular à superfície soldada quando não se utilizar material de adição. Essa etapa está ilustrada na Figura 36.

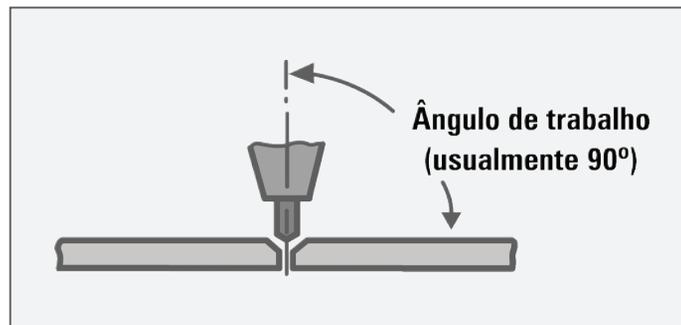


Figura 36 - Posição da tocha para a soldagem plana

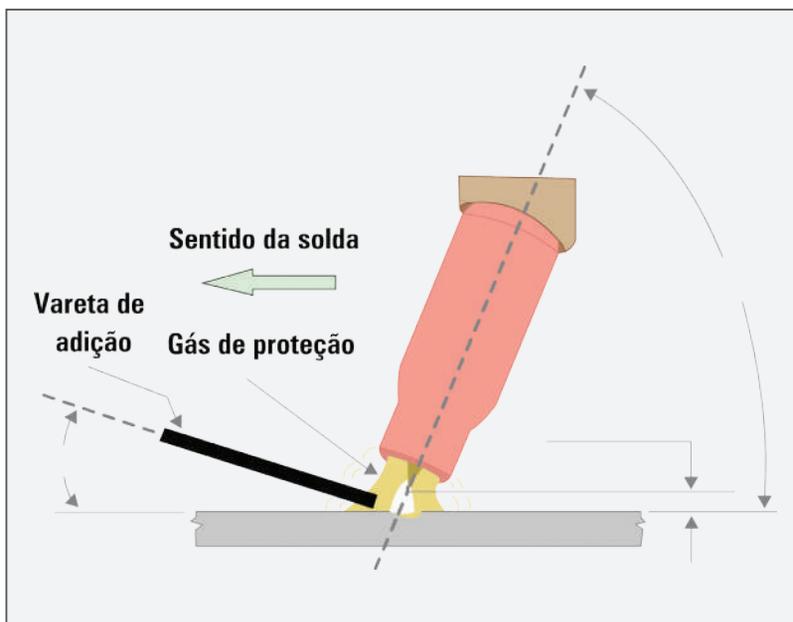


Figura 37 - Posição da tocha e vareta de adição para a soldagem plana

Quando se utiliza material de adição à vareta, forma-se um ângulo de 15° a 20° com a superfície a ser soldada. O arco deverá ser inclinado 60° a 75° com a superfície da peça, na posição plana, mostrado na Figura 37. A bitola da vareta depende da quantidade de material depositado.

## Resumindo

Foi apresentado que a soldagem TIG é uma técnica de fusão com arco elétrico que emprega um eletrodo de tungstênio não consumível e gás inerte de proteção, podendo ou não utilizar material de adição. Também é conhecida como GTAW (soldagem a arco com gás tungstênio). Os equipamentos mais comuns utilizados para esse processo de soldagem são fonte de energia, pode ser retificador ou transformador, tocha, eletrodo, fonte de gás, unidade de resfriamento e eletrodos.

É muito utilizada para soldar ligas de alumínio, magnésio, titânio e aços inoxidáveis. Apresenta ótimos resultados para pequenas espessuras. A solda formada é isenta de escória, com boa aparência, quando bem executada. Essas características justificam o grande emprego dessa soldagem na indústria aeroespacial.

## Capítulo 5

### Soldagem a arco com proteção gasosa e eletrodo consumível (MIG/MAG)

A soldagem a arco elétrico com proteção gasosa e eletrodo consumível (MIG/MAG) pode ser considerada como uma evolução do processo de soldagem por eletrodo revestido. É uma técnica empregada para grandes volumes de trabalho, podendo ser realizada em diversas posições.

A soldagem MIG/MAG é utilizada na fabricação e manutenção de partes de aeronaves. Neste capítulo, serão apresentadas as diferenças entre soldagem MIG/MAG, as vantagens e desvantagens de cada método, os equipamentos e os parâmetros de soldagem. Tudo para capacitar o profissional na escolha da melhor metodologia de trabalho e maximizar os resultados.

#### 5.1 Características

Os processos de soldagem MIG/MAG podem ser definidos como a união de metais por fusão que utilizam o calor de um arco elétrico formado entre a poça de fusão e um eletrodo consumível. A proteção da poça de fusão é realizada por um gás, inerte ou ativo, ou mistura de gases. A grande diferença da soldagem *tungsten inert gas* (TIG) é que, nesse caso, o eletrodo é consumível e será derretido na poça de fusão, fazendo parte do cordão de solda formado.

A sigla internacional para essa técnica é GMAW, de *gas metal arc welding*, em português, soldagem a arco com proteção gasosa e eletrodo consumível. Na soldagem TIG, é empregado eletrodo não consumível e gás inerte. A única diferença para a soldagem de *metal inert gas* (MIG) é o eletrodo consumível, pois o gás de proteção também é inerte. Para a soldagem de *metal active gas* (MAG), além de se utilizar eletrodos consumíveis, o gás é ativo e suas propriedades influenciam na composição química final da solda.

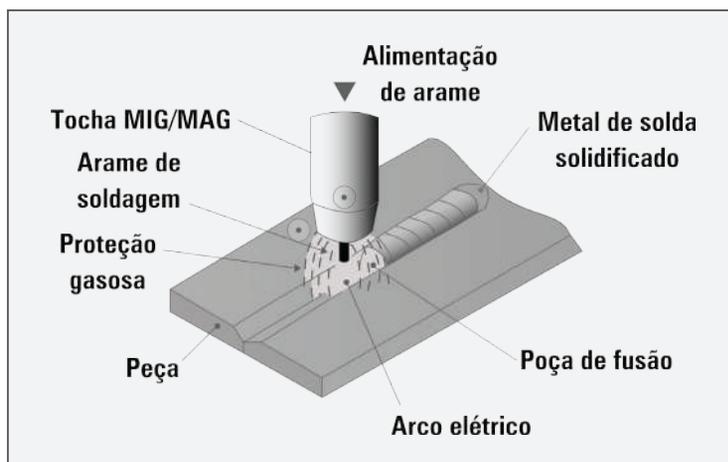


Figura 38 - Elementos básicos da soldagem MIG/MAG

Inicialmente, no final da década de 1940, foi desenvolvida a soldagem MIG, utilizada para alumínio. Com a evolução das técnicas, outros materiais começaram a ser empregados, com destaque para gases reativos, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e mistura de gases. Isso levou à aceitação formal, posteriormente, do termo GMAW.

A soldagem GMAW funciona com corrente contínua. Quando o arame é o polo positivo, chama-se de configuração com polaridade reversa, mais utilizada atualmente. Quando o arame assume a posição de polo negativo, é dito polaridade direta, pouco utilizada devido à transferência irregular de metal de adição ao cordão de solda. O intervalo de corrente mais usual para essa técnica é de 50 a 600 A, com tensões que variam de 15 a 32 V. O arco elétrico é formado por uma fonte de tensão constante, já o arame é fornecido por um conjunto de roletes com velocidade uniforme.

A soldagem MIG/MAG pode ser empregada em praticamente todas as ligas metálicas utilizadas na fabricação de aeronaves. É recomendada para materiais com maior espessura, sem restrição de posição de soldagem. Quando se utiliza a combinação correta de equipamentos, arames e gás de proteção, o resultado são soldas com ótima qualidade e baixo custo.

A Tabela 4 mostra as vantagens da soldagem GMAW, em comparação ao eletrodo revestido e TIG, e as desvantagens do processo MIG/MAG.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da solda MIG/MAG

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• a soldagem pode ser executada em todas as posições;</li> <li>• não produz escória;</li> <li>• alta taxa de deposição do metal de solda;</li> <li>• maior velocidade de execução de soldas, de cerca da metade do tempo, se comparado ao eletrodo revestido;</li> <li>• pouco defeito de distorção e tensão residual;</li> <li>• não existem perdas de pontas como no eletrodo revestido;</li> <li>• exige menor habilidade do soldador que o processo de eletrodo revestido;</li> <li>• a penetração de calor é mais uniforme, quando comparado ao processo de eletrodo revestido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• devido à velocidade superior de resfriamento, e por não haver escória, possui maior tendência ao aparecimento de trincas;</li> <li>• assim como a TIG, deve ser protegida de correntes de ar;</li> <li>• produz soldas com alto nível de respingos;</li> <li>• a geometria da tocha dificulta o acesso a juntas complexas;</li> <li>• grande emissão de raios ultravioletas;</li> <li>• o equipamento é menos portátil que o utilizado no processo de eletrodo revestido e possui maior custo;</li> <li>• grande sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação.</li> </ul>



**Globular:** o que tem ou adquiriu forma de globo.

**Aerossol:** suspensão de partículas sólidas ou líquidas no meio gasoso.

### Modos de transferência de metal

O metal do arame é transferido para a poça de fusão por três maneiras distintas: curto-circuito, globular e aerossol, ilustradas na Figura 39. As variantes são a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, a tensão e o gás de proteção.

A transferência de metal por curto-circuito ocorre quando o arame toca a poça de fusão, cerca de 20 a 200 vezes por segundo. Os diâmetros dos arames utilizados são da ordem de 0,8 a 1,2 mm. A tensão e a corrente de soldagem devem ser baixas. É recomendada para pequenas

espessuras em qualquer posição e para grandes espessuras na posição sobrecabeça por produzir menos respingos.

Quando a corrente e a tensão são aumentadas acima dos valores utilizados na transferência por curto-circuito, ocorre uma mudança na forma como o metal é transferido. O arame é derretido formando gotas com raio médio maior que o diâmetro do arame e são transferidas para a peça por gravidade, ilustrada na Figura 39 (globular). Essa forma não é recomendada por provocar muitos respingos.

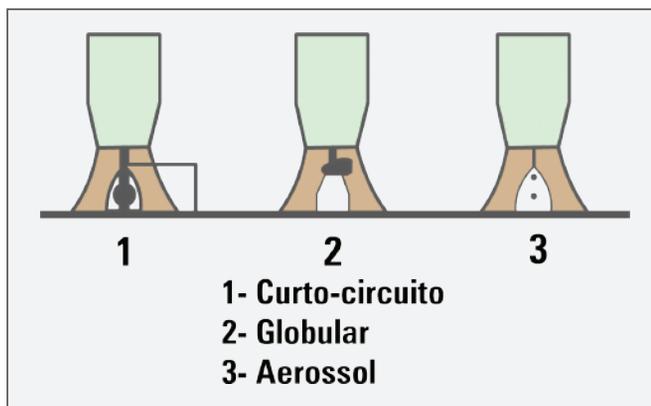


Figura 39 - Transferência de metal solda MIG/MAG

Quando a tensão e a corrente aumentam ainda mais, ocorre a formação de um arco em aerossol, no qual o metal fundido é transferido para as peças na forma de minúsculas gotas. A corrente mínima necessária para dar início a esse fenômeno é conhecida como corrente de transição.

Na Tabela 5, observam-se as correntes de transição para os principais arames e diâmetros utilizados na manutenção aeronáutica.

Tabela 5 - Corrente de transição em função do diâmetro do arame e gás de proteção

Tipo de arame	Diâmetro do arame		Gás de proteção	Corrente mínima de aerossol (A)
	pol. (")	mm		
Aço-carbono	0,03	0,76	98% (Ar) / 2% (O <sub>2</sub> )	150
	0,035	0,89		165
	0,045	1,1		220
	0,052	1,3		240
	0,062	1,6		275
Aço inoxidável	0,035	0,89	98% (Ar) / 1% (O <sub>2</sub> )	170
	0,045	1,1		225
	0,062	1,6		285
Alumínio	0,03	0,76	Argônio	95
	0,046	1,19		135
	0,062	1,6		180
Cobre desoxidado	0,035	0,89	Argônio	180
	0,045	1,1		210
	0,062	1,6		310
Bronze ao silício	0,035	0,89	Argônio	165
	0,045	1,1		205
	0,062	1,6		270

Fonte: ESAB, 2005, p. 6.

A soldagem por aerossol produz alta taxa de deposição de material, formando grande poça de fusão. É recomendada para grandes espessuras para soldagem na posição plana.

## 5.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados na soldagem MIG/MAG podem ser semiautomáticos, quando a alimentação do eletrodo ocorre mecanicamente; ou automáticos, quando a soldagem ocorre sem a interferência do soldador. Os equipamentos utilizados na soldagem MIG/MAG permitem maior produtividade, mas com custos de aquisição e manutenção superiores aos dos eletrodos revestidos.

O conjunto básico do equipamento é semelhante ao utilizado para TIG, sendo composto pelas seguintes partes:

- fonte de energia elétrica;
- unidade de alimentação do arame com bobina;
- tocha de soldagem com seus cabos;
- fonte de gás de proteção com regulador de pressão;
- arame eletrodo para abertura do arco;
- sistema de refrigeração a água, quando necessário.

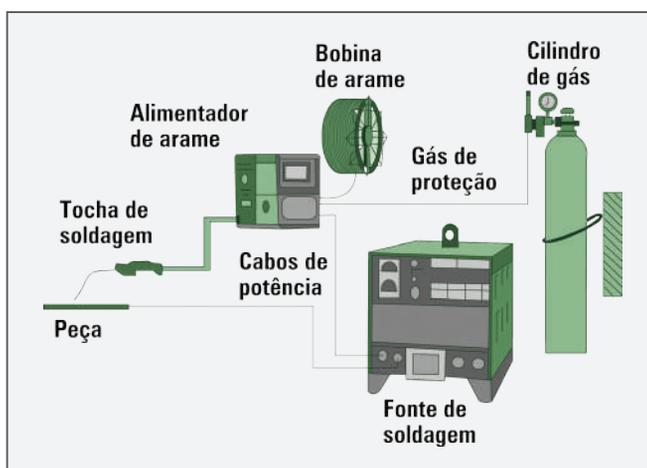


Figura 40 - Equipamentos básicos da soldagem MIG/MAG

### 5.2.1 Fonte de energia

O equipamento utilizado como fonte de energia pode ser do tipo transformador/retificador ou gerador, ambos capazes de fornecer corrente contínua ou corrente contínua pulsada. A tensão de saída varia de 18 a 50 V. Pode-se observar na Figura 41 um modelo básico de fonte de energia para soldagem MIG/MAG.

O equipamento pode manter o potencial constante, o comprimento do arco fica inalterado ou a corrente constante, proporcionando velocidade de fusão do arame uniforme.

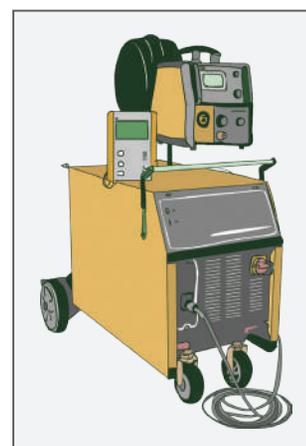


Figura 41 - Fonte de energia para soldagem MIG/MAG

## 5.2.2 Sistema alimentador do eletrodo

O sistema de alimentação de eletrodos consiste em um conjunto de roletes que movimentam o eletrodo com velocidade proporcional à corrente de soldagem. Geralmente, é acionado por motor de corrente contínua independente.

Esse alimentador está apresentado na Figura 42.

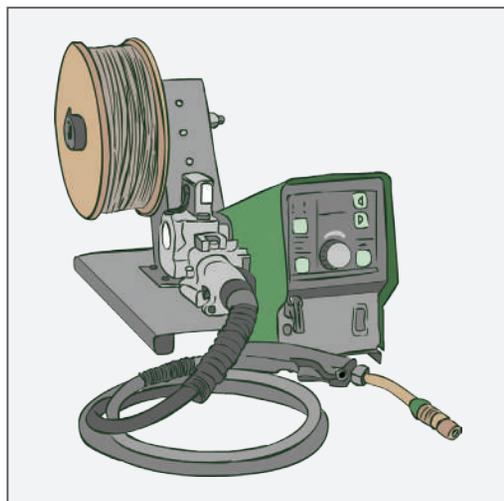


Figura 42 - Alimentador de eletrodo

## 5.2.3 Tocha de soldagem

A tocha de soldagem é o equipamento utilizado para produzir o arco elétrico. Ela conduz o eletrodo com o objetivo de alinhar o arco e a junta a ser soldada, envolve o arco e a poça de fusão com o gás de proteção e fornece a corrente de soldagem ao eletrodo.

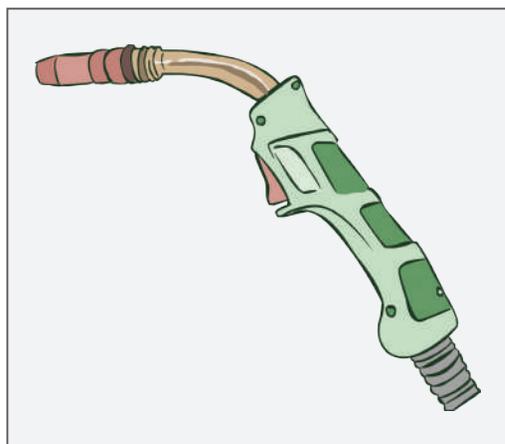


Figura 43.A - Tocha para soldagem MIG/MAG

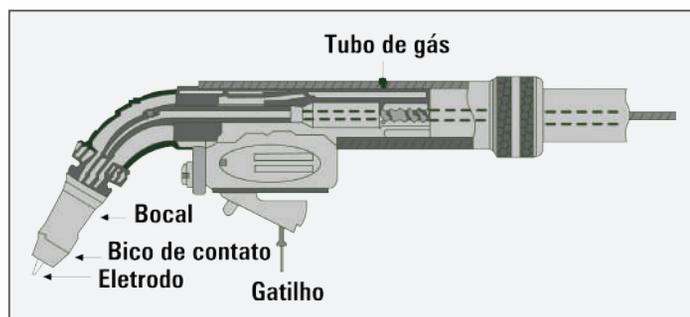


Figura 43.B - Esquema da tocha MIG/MAG

A tocha de soldagem, ilustrada na Figura 44.A, resume-se em:

- bico de contato - feito de cobre, seu diâmetro interno é um pouco maior que o diâmetro do eletrodo. Tem como função energizar o arame. O bico pode ser repostado quando necessário;
- bocal - direciona o fluxo de gás. É produzido em material cerâmico ou cobre;
- gatilho - tem como função acionar o sistema. Essa ação iniciará o circuito, demandando o fluxo de gás e o alimentador do arame;
- eletrodo - material de adição, é derretido e adicionado na solda;
- tubo de gás - conduz o gás para o bocal.

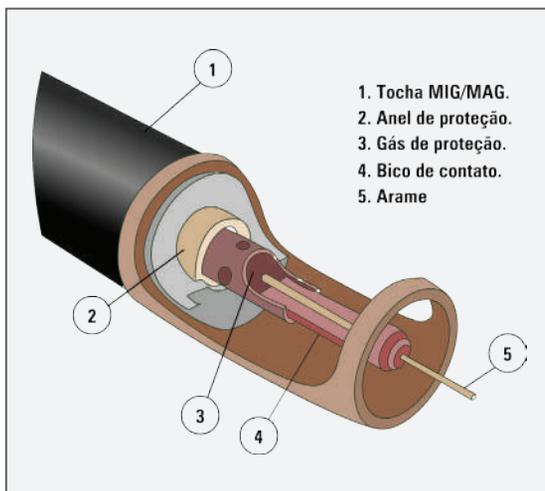


Figura 44.A - Ponta da tocha MIG/MAG

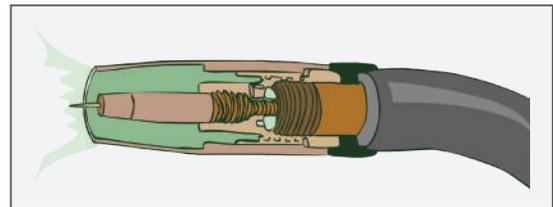


Figura 44.B - Imagem cortada do bico da tocha MIG/MAG

A refrigeração da tocha de soldagem pode ocorrer por intermédio da água ou pelo próprio gás de proteção que conduz. A água será utilizada quando houver correntes acima de 220 A.

## 5.3 Consumíveis

Os consumíveis, na terminologia de soldagem, podem ser definidos como todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda, consumidos no processo de soldagem. Os utilizados na técnica MIG/MAG são o arame eletrodo (metal de adição) e o gás de proteção.

### 5.3.1 Arame eletrodo

A escolha do material de adição, também chamado de eletrodo ou arame, é um fator muito importante na soldagem MIG/MAG. Ele em conjunto com o gás de proteção serão os responsáveis por fornecer o material que formará a junta. As propriedades físicas e químicas das juntas dependem desses dois elementos, especialmente do material de adição por ser mais representativo em porcentagem de massa na composição final.

Os fatores que mais influenciam na escolha do eletrodo são a composição química do metal de base, as propriedades mecânicas deste metal, o gás de proteção empregado e o tipo de junta.

Os arames disponíveis no mercado nacional seguem a classificação da *American Welding Society* (AWS), responsável por definir dureza, composição química e dimensões dos arames. Eles são fabricados para obter o máximo de eficiência em função do metal base e gás de proteção. É possível observar na Tabela 6 a classificação da AWS para as principais ligas soldáveis utilizadas em aeronaves.

Tabela 6 - Especificação para as classes de ligas soldadas

Especificação	Consumíveis
AWS A 5.7	Arames de cobre e suas ligas
AWS A 5.9	Arames de aço inoxidável
AWS A 5.10	Arames de alumínio e suas ligas
AWS A 5.14	Arames de níquel e suas ligas
AWS A 5.15	Arames para soldagem de ferro fundido
AWS A 5.16	Arames de titânio e suas ligas
AWS A 5.18	Arames de aço-carbono com pó metálico interno
AWS A 5.19	Arames de magnésio
AWS A 5.20	Arames tubulares de aço-carbono com fluxo
AWS A 5.21	Arames para revestimentos
AWS A 5.22	Arames tubulares para soldagem de aço inoxidável
AWS A 5.24	Arames para a soldagem de zircônio
AWS A 5.28	Arames de aços de baixa liga

Fonte: FOGAGNOLO, 2011, p. 39

As normas AWS adotam o formato de especificação ER.XXX.Y-ZZ para arames utilizados em processos de soldagem TIG, MIG, MAG.

Em que:

- ER - letras usadas sempre juntas aplicáveis em processos de soldagem TIG, MIG, MAG e arco submerso;
- XXX - resistência à tração mínima do metal depositado em 10<sup>3</sup> psi;
- Y - pode ser S para arame sólido, T para arame tubular e C para arames indicados;
- ZZ - classe de composição química do arame e outras características.

Podem-se observar, na Tabela 7, os requisitos químicos e as designações para todos os arames de aço doce cobertos pela especificação AWS A 5.18.

Tabela 7 - Designação e composição química de arames de aço doce

AWS	C	Mn	Si	S	P	Mo	Outros
ER70S-2	0,07	0,90 - 1,40	0,40 - 0,70	≤0,035	≤0,025	-	0,05 - 0,15 Ti 0,02 - 0,12 Zr 0,05 - 0,15 Al
ER70S-3	0,06 - 0,15	0,90 - 1,40	0,45 - 0,75	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-4	0,07 - 0,15	1,00 - 1,50	0,65 - 0,85	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-5	0,07 - 0,19	0,90 - 1,40	0,30 - 0,60	≤0,035	≤0,025	-	0,50 - 0,90 Al
ER70S-6	0,07 - 0,15	1,40 - 1,80	0,80 - 1,15	≤0,035	≤0,025	-	
ER70S-7	0,07 - 0,15	1,50 - 2,00	0,50 - 0,80	≤0,035	≤0,025	-	
ER80S-D2	0,07 - 0,12	1,60 - 2,10	0,50 - 0,80	≤0,035	≤0,025	0,40 - 0,60	
ER70S-G	Não especificado - requisitos a serem acordados entre o cliente e o fornecedor.						

Fonte: ESAB, 2005, p. 24.

### 5.3.2 Gás de proteção

A primeira finalidade do gás de proteção é expulsar o ar da atmosfera da região da solda para evitar contaminação por ( $N_2$ ), ( $O_2$ ) e ( $H_2O$ ), prejudiciais ao resultado final. Os gases inertes mais utilizados são argônio (**Ar**), hélio (**He**) ou a mistura dos dois. Eles são empregados para soldar metais reativos como titânio, magnésio e alumínio.

Os gases ativos, além de protegerem a região da poça de fusão, entram na composição final do cordão de solda. Os mais utilizados são o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) com adições de oxigênio (**O**) e argônio (**Ar**), usados para soldar ligas de aço-carbono.

As vantagens do uso de gases ativos são baixo custo, grande velocidade de soldagem, estabilidade do arco, maior velocidade de penetração e diminuição das falhas no cordão de solda formado.

## 5.4 Aplicação

Os processos de soldagem MIG/MAG podem ser utilizados para várias espessuras de ligas metálicas ferrosas e não ferrosas. As principais são alumínio, magnésio, titânio, níquel e aços inox, usados em estruturas e revestimentos de aeronaves.

A metodologia é indicada na fabricação e manutenção de partes estruturais, na recuperação de peças desgastadas e no recobrimento de superfícies metálicas possíveis de serem realizadas em todas as posições.

Os parâmetros importantes na soldagem MIG/MAG são a corrente de soldagem, a extensão do eletrodo, a tensão de soldagem e a velocidade de soldagem. Eles são responsáveis por definir a qualidade da solda e devem ser registrados para permitir reprodutibilidade.

Conforme a ESAB (2005), a discussão técnica da soldagem MIG/MAG passa pela manipulação da tocha. Na Tabela 8, visualizam-se a correlação das variáveis de soldagem e as modificações produzidas.

Tabela 8 - Ajuste nos parâmetros e nas técnicas de soldagem MIG/MAG

Variáveis de soldagem para modificar	Modificações desejadas							
	Penetração		Taxa de deposição		Área de seção reta do cordão		Largura do cordão	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼
Corrente e vel. alim. arame	▲	▼	▲	▼	▲	▼	+	+
Tensão	+	+	*	*	*	*	▲	▼
Velocidade de soldagem	+	+	*	*	▼	▲	▼	▲
Extensão do eletrodo	▼	▲	▲	▼	▲	▼	▲	▼
Diâmetro do arame	▼	▲	▼	▲	*	*	+	+
Gás de proteção %CO <sub>2</sub>	▲	▼	*	*	*	*	*	*
Ângulo da tocha	puxando a 25°	empurrando	*	*	*	*	puxando	empurrando
* sem efeito		+ pequeno efeito		▲ aumento		▼ diminuição		

Fonte: ESAB, 2005, p. 40.

Esta tabela serve como um guia de recomendações. Os soldadores devem desenvolver suas próprias técnicas para adequar e melhorar suas habilidades à medida que se tornam mais experientes na soldagem MIG/MAG.

As etapas do processo de soldagem MIG/MAG são:

- preparação das superfícies;
- toque do eletrodo na peça para a abertura do arco;
- início da soldagem pela aproximação da tocha na peça;
- acionamento do gatilho para início do fluxo de gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldagem;
- formação da poça de fusão;
- produção do cordão de solda pelo deslocamento da tocha da com velocidade uniforme;
- liberação do gatilho para interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo de gás e a conseqüente extinção do arco.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que a soldagem MIG/MAG é uma técnica de união de metais por fusão com eletrodo consumível, gás inerte (MIG) e gás ativo (MAG). É uma metodologia empregada em praticamente todas as ligas metálicas, especialmente as de maior espessura e com alta taxa de deposição. O eletrodo é derretido na poça de fusão, tornando-se parte integral da solda.

Na MIG, o gás tem a função de proteger a região soldada de contaminações, enquanto na MAG o gás é ativo, participando da composição química final da junta.

Essa técnica produz um cordão de solda isento de escória, com ótimas propriedades físicas e químicas. É utilizada na fabricação e manutenção de partes de aeronaves, na recuperação de peças desgastadas e no revestimento de superfícies metálicas. Todas as metodologias de soldagem apresentadas nesta unidade possuem vantagens e desvantagens. Antes de realizar qualquer procedimento de manutenção em aeronaves, é importante analisar as variáveis e desenvolver um plano de ação.

# Capítulo 6

## Tipos de junta e posições de soldagem

Os métodos empregados na soldagem possuem características diferenciadas de qualidade, custo e eficiência. A escolha do melhor método ocorre em função de muitos fatores, como a exigência de resistência da junta, os equipamentos disponíveis, o tipo e a espessura do material que será soldado, a habilidade do soldador e o processo de soldagem escolhido.

Para isso, o profissional deve conhecer os diferentes tipos de junta e as posições de soldagem para empregar as técnicas que possibilitem obter o melhor resultado com o mínimo de custo, tanto de mão de obra quanto de materiais.

### 6.1 Tipos de junta

A junta é o local onde ocorre a união dos materiais. Ela é composta pela fusão das partes das peças soldadas e o material de adição. A seguir, serão estudados os tipos de junta de topo, ângulo em T, aresta, ângulo em quina e sobreposta.

#### 6.1.1 Juntas de topo

A junta de topo é feita quando o material é posicionado borda a borda sem sobreposição. Podem-se visualizar alguns tipos de junta de topo nas figuras que se seguem.

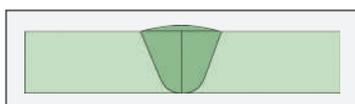


Figura 45.A - Junta em I

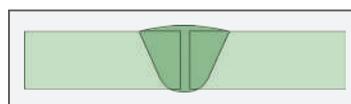


Figura 45.B - Junta em I com fresta

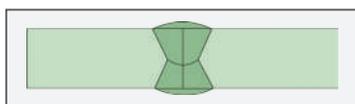


Figura 45.C - Junta em I em ambos os lados

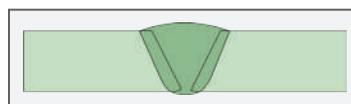


Figura 45.D - Junta em V

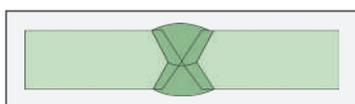


Figura 45.E - Junta duplo em V ou X

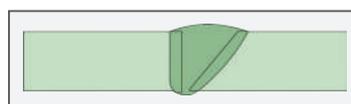


Figura 45.F - Junta em 1/2 V

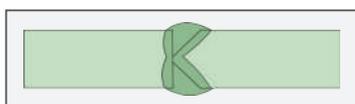


Figura 45.G - Junta em K

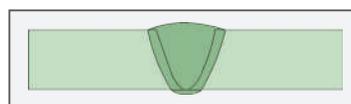


Figura 45.H - Junta em U



**Flange:** pequena dobra na extremidade de chapas.

A junta de topo com flange pode ser usada para soldar chapas finas, a altura do flange dever ser igual a espessura do material. Para chapas mais grossas, é recomendado realizar chanfros em V ou X para melhorar a penetração do calor e também utilizar varetas de enchimento.

### 6.1.2 Junta de ângulo em T

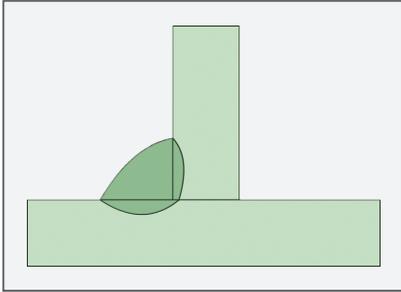


Figura 46.A - Junta de ângulo em T: filete

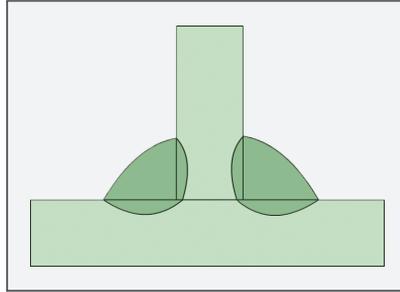


Figura 46.B - Junta de ângulo em T: filete duplo

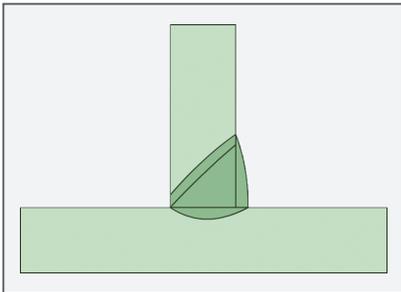


Figura 46.C - Junta de ângulo em T: 1/2 V

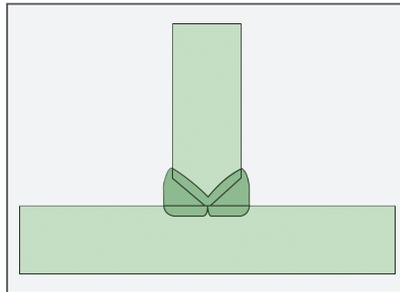


Figura 46.D - Junta de ângulo em T: tipo K

Junta de ângulo em T são juntas formadas pela união das extremidades de uma peça com a superfície de outra. Esse tipo de junta é muito utilizado em estruturas tubulares de aeronaves. Pode ser usada na maioria das espessuras de chapas de aeronaves, sendo necessário chanfrar as chapas de maior espessura.

Em seguida, apresentam-se, na sequência de figuras, alguns tipos de junta de ângulo em T.

### 6.1.3 Junta de aresta

São juntas utilizadas para unir peças de chapa de metal com menor solicitação de esforços. As bordas das chapas são dobradas e, posteriormente, é soldada a face externa da emenda formada pelas duas chapas.

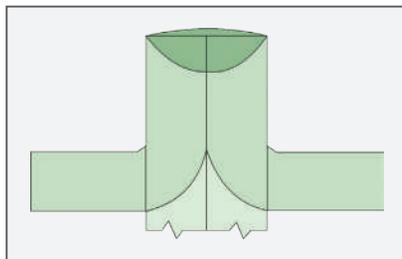


Figura 47.A - Junta de aresta tipo I

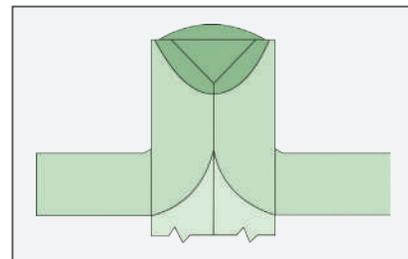


Figura 47.A - Junta de aresta tipo V

### 6.1.4 Junta de ângulo em quina

Tipo de junta formada pela solda da borda de duas peças, dando origem a uma quina, como ilustra a Figura 48.A. Quando a junta necessitar de grande resistência, deverá ser realizado um reforço na parte interna da quina, conforme a Figura 48.B. Por fim, na Figura 48.C, pode-se observar uma junta de quina formada por uma solda de filete sem utilizar chanfros.

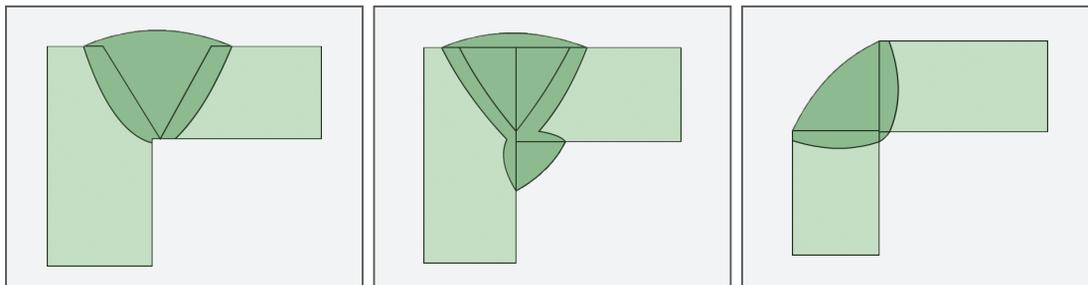


Figura 48.A - Junta de ângulo em quina: tipo V

Figura 48.B - Junta de ângulo em quina: tipo V e filete

Figura 48.C - Junta de ângulo em quina: tipo filete

### 6.1.5 Junta sobreposta

É a junta formada pela sobreposição de dois cordões de solda. É mais resistente que a junta de topo; no entanto, necessita do dobro da quantidade de solda. É pouco utilizada em estruturas de aeronaves por possuir baixa resistência à dobragem e a esforços de cisalhamento.

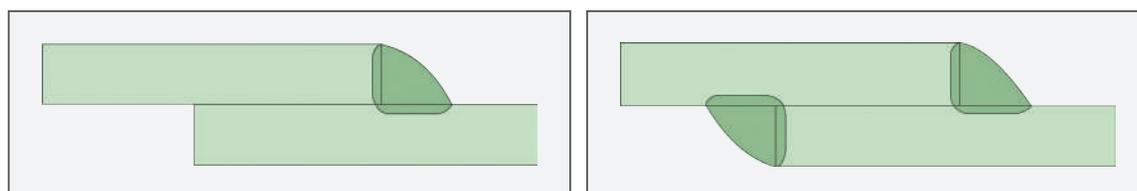


Figura 49.A - Tipo de junta sobreposta: filete

Figura 49.B - Tipo de junta sobreposta: filete duplo

## 6.2 Posições de soldagem

As quatro posições gerais utilizadas na soldagem são chata ou plana, horizontal, vertical e sobrecabeça.

A posição mais fácil de ser trabalhada é a chata, visto que nela a poça de fusão é melhor controlada. Assim, sempre que possível, dá-se preferência a ela em relação às demais posições. A posição chata pode ser trabalhada quando houver a possibilidade de posicionar o material na horizontal ou em ângulos menores que  $45^\circ$ , podendo a soldagem ser realizada para frente ou para trás.

Quando a junta forma uma linha paralela ao solo, deve-se preferir a posição horizontal. A chama deve ser inclinada para cima em ângulos de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ . Assim como na posição chata, a soldagem pode ser feita para frente ou para trás. A vareta de enchimento ficará posicionada

no topo da poça para evitar escorrimento do metal derretido.

Caso as juntas corram verticalmente em ângulos superiores a 45°, recomenda-se a posição vertical. A poça deve ser bem controlada e movida para cima usando a soldagem para frente. O bico deve permanecer em ângulos que variam de 45° a 60°, e a vareta será adicionada por cima em frente à chama.

Quando a junção estiver correndo na horizontal e o material for soldado pela face inferior, a posição recomendada será a sobrecabeça. Nesse caso, é importante evitar formar uma grande poça de metal derretido para não ocorrer pingos. A vareta deverá ser usada para controlar a poça de fusão. É possível observar nas figuras subsequentes algumas posições de soldagem.

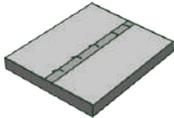
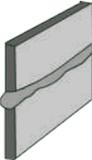
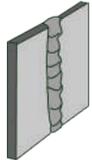
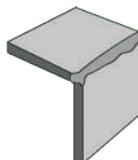
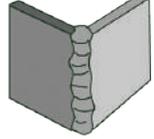
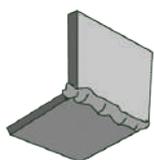
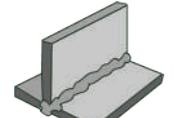
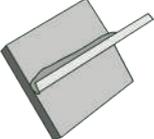
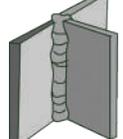
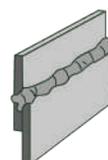
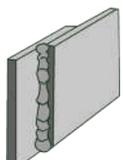
	Chata	Horizontal	Vertical	Sobrecabeça
Topo				
Quina				
"T"				
Sobreposta				

Figura 50.A - Posições de soldagem

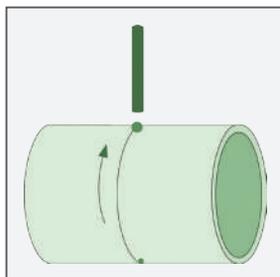


Figura 50.B - Posições de soldagem para tubos: plana

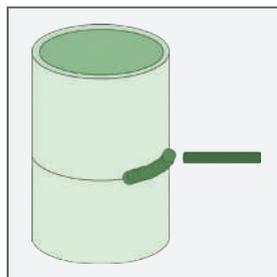


Figura 50.C - Posições de soldagem para tubos: horizontal

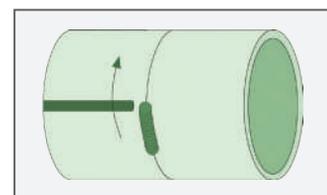


Figura 50.D - Posições de soldagem para tubos: circunferencial

## Resumindo

Neste capítulo, foram apresentados os principais tipos de junta: topo, ângulo em T, aresta, quina e sobreposta. Dependendo da espessura do material, as bordas deverão ser chanfradas antes da solda para permitir maior penetração do calor. Existem muitos tipos de chanfros cuja utilização depende das condições de trabalho.

Adicionalmente, viu-se que a solda pode ter penetração parcial ou total. Áreas que ficam fora da poça de fusão também são afetadas termicamente e mudam suas propriedades físicas iniciais. Existem quatro posições básicas de soldagem: chata, vertical, horizontal e sobrecabeça, mas, entre elas, a chata deve ser a posição preferencial, quando possível. O soldador deve dominar as variáveis do processo de soldagem para empregar a melhor técnica, maximizando os resultados.



# Capítulo 7

## Soldabilidade de metais não ferrosos

A soldabilidade é a capacidade de o metal ser soldado sob condições controladas, garantindo um serviço adequado. Também pode ser entendida como a facilidade que uma solda de boa qualidade pode ser produzida, resultando em uma junta com características semelhantes ao material base.

Os principais fatores que afetam a soldabilidade de uma estrutura são a composição química da liga metálica e a condição metalúrgica do metal. Cada tipo de metal exige um nível de cuidado para se obter uma solda de boa qualidade. Por isso, é importante para o mecânico de manutenção de aeronaves conhecer a soldabilidade das ligas metálicas não ferrosas mais utilizadas na composição estrutural e no revestimento de aeronaves. As ligas estudadas nessa unidade são as mesmas apresentadas no componente curricular “Revestimento de aeronaves” deste mesmo livro; no entanto, o foco está nas variáveis que influenciam a soldabilidade.

### Ligas metálicas utilizadas na aviação

Materiais de baixa soldabilidade impõem condições muito restritivas para a formação de soldas livres de anomalias. Já os materiais com alta soldabilidade exigem poucos cuidados no processo de soldagem e formam juntas com propriedades adequadas para a aplicação a que se destinam.

Muitos autores concordam que o conceito de soldabilidade depende de três fatores principais:

- construtivo - relaciona-se à concepção mecânica do conjunto soldado (forma, dimensões, grau de restrições, entre outros fatores);
- operatório - relaciona-se aos detalhes de fabricação e montagem, às características do equipamento de soldagem, à capacidade de mão de obra e à tecnologia operacional empregada;
- metalúrgico - relaciona-se à composição química das ligas metálicas. Depende das espessuras envolvidas, do ciclo térmico, das transformações de fase e das aplicações específicas.

A seguir, apresentam-se as características de soldabilidade das ligas de alumínio, de magnésio, de titânio e de cobre.

### Alumínio

O alumínio é o metal mais utilizado na composição das aeronaves. Ele é empregado na forma de ligas metálicas e apresenta ótima relação peso/resistência. As ligas de alumínio podem ser divididas em grupos: ligas trabalháveis, ligas fundidas e ligas não trabalháveis. As mais utilizadas na aviação são as ligas trabalháveis. Essas ligas são obtidas por transformações mecânicas a frio ou a quente de um tarugo ou placa, produzido pela solidificação do metal líquido.

As ligas de alumínio trabalháveis podem ser divididas em não tratáveis termicamente (1xxx,



**Tarugo:** objeto sólido utilizado como matéria-prima para laminação, pode ser encontrado em diversas formas.

3xxx, 4xxx, 5xxx) e tratáveis termicamente (2xxx, 6xxx e 7xxx). Na Tabela 9, pode-se observar a classificação das ligas trabalháveis, segundo a *Aluminum Association* (AA), em português, Associação do Alumínio.

Tabela 9 - Designação das ligas de alumínio trabalháveis por grupo

Liga	Elemento químico de maior porcentagem depois do alumínio
1xxx	Alumínio com 99,0% de pureza
2xxx	Cobre
3xxx	Manganês
4xxx	Silício
5xxx	Magnésio
6xxx	Magnésio e silício
7xxx	Zinco
8xxx	Outros elementos

Segundo essa classificação, por exemplo, no grupo 1xxx, o primeiro dígito é utilizado para identificar o tipo da liga. O segundo grupo indica o controle sobre impurezas e os dois últimos grupos assinalam a porcentagem de alumínio puro. Então, na liga 1295 tem-se 99,95% de alumínio puro com dois controles sobre impurezas individuais.

O alumínio e suas ligas possuem significativas diferenças em suas propriedades físicas e químicas em relação ao aço. O alumínio tem quatro principais propriedades que influenciam a soldabilidade em comparação ao aço, quais sejam:

- elevada afinidade pelo oxigênio;
- elevada condutividade térmica;
- elevado coeficiente de expansão térmica;
- baixo ponto de fusão (660 °C).

O alumínio reage facilmente com o oxigênio, formando uma fina camada de óxido na superfície da liga com ponto de fusão muito superior à do alumínio puro, na ordem de 2.000 °C. Essa camada atrapalha a interação entre o metal base fundido e o metal de adição. A camada de óxido absorve umidade do ar que, juntamente com outras contaminações, favorece o aparecimento de porosidade na junta soldada. A camada de óxido deve ser removida antes da soldagem por processos químicos, como decapagem; mecânicos, como o lixamento; ou, ainda, pela associação dos dois.

Devido à alta condutividade térmica do alumínio, o calor de soldagem é menos efetivo. É recomendável realizar um preaquecimento em suas ligas com temperaturas inferiores a 200 °C para minimizar a ocorrência de superenvelhecimento do metal. Pode ser necessário elevado aporte térmico, especialmente em chapas de grande espessura, para garantir a formação da poça de fusão. Esta poça é solidificada rapidamente, facilitando a soldagem em posições diversas.

O soldador deve ter muito cuidado no ajuste do calor fornecido para a soldagem do alumínio. Como seu ponto de fusão é baixo, existe o risco de exceder na fusão, provocando buracos nas juntas.

Certos autores classificam os seguintes fatores como os principais problemas da soldabilidade do alumínio e suas ligas: porosidade formada pelo hidrogênio ( $H_2$ ), formação de trincas a alta temperatura e perda da resistência mecânica na ZTA do metal base. Os processos mais usados para a soldagem do alumínio são os de arco elétrico. Outros processos, igualmente, podem ser utilizados, tais quais eletrodos revestidos, plasma, soldagem a gás e por resistência.

## Magnésio

O magnésio possui condutividade e coeficiente de expansão térmica similares aos do alumínio, porém, tem baixa elasticidade. Essa combinação favorece a ocorrência de altos níveis de distorções na região termicamente afetada, sendo necessário realizar tratamentos de alívio de tensão.

O magnésio necessita de menor aporte térmico para fundir, possui baixo ponto de ebulição e alta pressão de vapor. Essas características podem provocar perda de material ou gerar bolhas nas áreas na poça de fusão, resultando em juntas com muita porosidade.

As ligas de magnésio são muito sensíveis à variação da composição química em relação à soldabilidade. Uma pequena mudança na composição já representa grande variação. Por exemplo, a adição de 10% de alumínio melhora a soldabilidade, enquanto a adição de 1% de zinco induz a formação de trincas. As ligas de magnésio contendo **tório** formam soldas de melhor desempenho.

É muito importante avaliar corretamente a liga que se pretende soldar e buscar na literatura as técnicas mais recomendadas para cada caso. As tecnologias empregadas nas ligas de magnésio são as mesmas das ligas de alumínio.

## Titânio

As ligas de titânio possuem boa soldabilidade porque não são sensíveis ao tratamento térmico, formando juntas com propriedades equivalentes às do material base. É recomendado que a poça de fusão não entre em contato com gases reativos, como oxigênio e nitrogênio. Para evitar o contato com o ar, deve-se utilizar fluxo de gás inerte para a soldagem de arco ou câmara de vácuo para a soldagem por feixe de elétrons.

Antes da soldagem, a liga de titânio deve ser completamente limpa. Não é recomendado utilizar água da torneira para enxaguar o titânio. Os processos mais utilizados para esta soldagem são a arco, a laser e a fluxo de elétrons.

## Cobre

O cobre pode ser combinado com outros elementos químicos, dando origem a diversas ligas. As propriedades que influenciam a sua soldabilidade são coeficiente de expansão térmica elevado, alta condutividade, tendência a se fragilizar em altas temperaturas, ponto de fusão relativamente baixo, baixa viscosidade do metal fundido e grande condutividade elétrica.

Com uma elevada condutividade térmica, o cobre necessita de preaquecimento maior que o alumínio, em torno de 400 °C. O alto coeficiente de expansão térmica do cobre é responsável por causar problemas de distorção nas peças durante o resfriamento.



**Tório:** elemento químico de símbolo Th e de número atômico igual a 90.

A soldagem pode causar problemas de fissuração a quente em algumas ligas de cobre. Devido ao arranjo interno dos átomos, as ligas de cobre que contêm arsênio, bismuto, estanho, selênio e chumbo tendem a perder **ductilidade** por causa das altas temperaturas do processo de soldagem

Ligas de cobre e zinco não devem ser soldadas a arco. Pode ocorrer a vaporização do zinco na poça de fusão devido à elevada temperatura.



**Ductilidade:** propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura.

Os processos mais usados para a soldagem do cobre e suas ligas são os *tungsten inert gas* (TIG) e *metal inert gas* (MIG)/*metal active gas* (MAG), sendo estes últimos mais utilizados para a soldagem de peças de maior espessura.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que o conceito de soldabilidade está relacionado à capacidade de unir metais por solda, formando juntas com boas qualidades mecânicas. Materiais com boa soldabilidade podem ser unidos sem muitas restrições operacionais, o resultado será uma junta coesa e resistente. Os principais fatores que influenciam a soldabilidade dos metais são o construtivo, operacional e metalúrgico.

As ligas ferrosas, no geral, apresentam boa soldabilidade, enquanto as ligas metálicas não ferrosas necessitam de alguns cuidados especiais. As principais ligas utilizadas na construção de aeronaves são as do segundo tipo, com destaques para as ligas de alumínio em razão da boa relação peso/resistência. Quando necessário, devem-se realizar soldas nas peças das aeronaves. Para isso, tem-se de consultar o manual de manutenção para identificar corretamente o tipo de liga e os procedimentos recomendados pelo fabricante.

# Capítulo 8

## Soldagem de peças tubulares de aço

Muitas partes estruturais de aeronaves são construídas com peças tubulares de liga metálica. Alguns exemplos são berço do motor, trem de pouso, montantes da asa e cauda. Essas partes estão sujeitas a grandes esforços, tais como compressão, tração e cisalhamento.

É importante dedicar especial atenção ao tipo e à qualidade de solda realizada nesses pontos. Elas devem ser de ótima qualidade, dentro dos parâmetros estipulados pelo fabricante. Antes de qualquer procedimento de manutenção em aeronaves, será necessário consultar o manual técnico do fabricante. Os procedimentos descritos servem como recomendações gerais, aplicadas na grande maioria dos casos.

### 8.1 Reparos de peças tubulares

Os tubos de aço podem ser emendados ou reparados em suas juntas ao longo do comprimento. O alinhamento das emendas deve ser realizado com muito cuidado para evitar distorções. É comum ocorrerem **mossas** em estruturas tubulares de aeronaves. Elas podem ser reparadas soldando-se material de mesma composição e espessura da tubulação original na área danificada e nos tubos adjacentes para reforçar a estrutura (Figura 51).

É comum utilizar como reparo chapas de reforço cortadas na forma das tubulações adjacentes com comprimento mínimo de 1,5 multiplicado pelo diâmetro do tubo reparado (Figura 52).

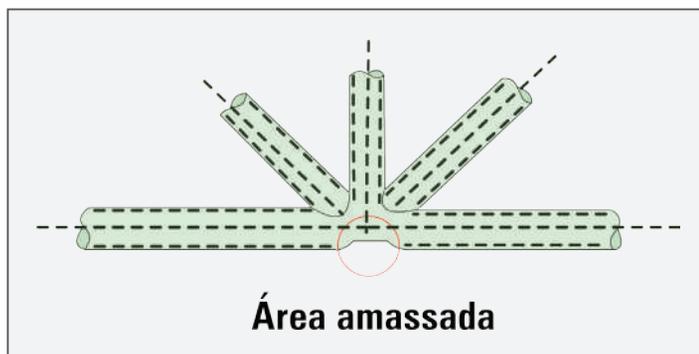


Figura 51 - Mossa na junção de uma estrutura tubular

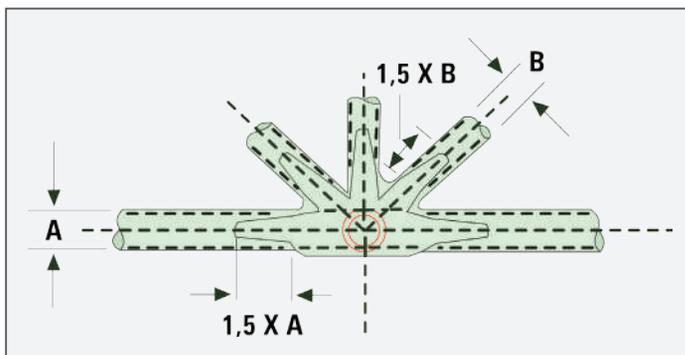


Figura 52 - Posicionamento e dimensões do reparo em estrutura tubular



**Mossas:** é um afundamento no revestimento de uma aeronave.

A chapa de reforço pode ser moldada antes da soldagem ou posicionada no local com alguns pontos de solda, só então aquecida e conformada envolvendo a tubulação. Todas as bordas da chapa de reforço são soldadas nas juntas (Figura 53).

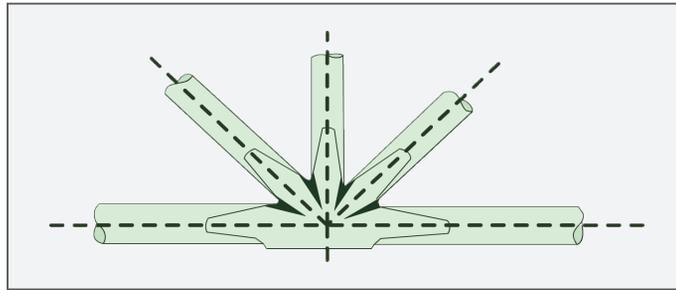
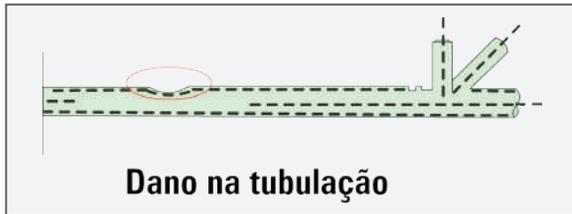


Figura 53 - Reparo pronto em estrutura tubular



**Luva:** seção de tubulação metálica.

### 8.1.1 Reparo com luva soldada



**Dano na tubulação**

Figura 54.A - Tubulação danificada

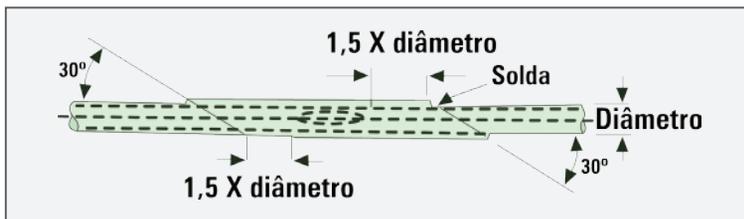


Figura 54.B - Dimensões e posicionamento do reparo

As figuras a seguir ilustram a sequência de procedimentos de reparo utilizando uma luva soldada. Na figura 54.A, observa-se um exemplo de dano.

O primeiro passo para realizar o reparo é selecionar um tubo de mesmo material com diâmetro interno igual (ou muito próximo) ao diâmetro externo do tubo danificado. As extremidades devem ser cortadas formando um ângulo de 30° com o eixo central do tubo. O comprimento da luva deve ser igual ou superior ao comprimento do dano multiplicado por 1,5 vezes o diâmetro do tubo de cada lado (Figura 54.B).

O tubo de reforço deverá ser cortado na metade no sentido do comprimento e posicionado no local do dano (Figura 54.C).

#### Reforço

A soldagem deve ser realizada, primeiramente, na emenda do tubo de reforço e, na sequência, nas extremidades. Não é recomendado realizar reparos com luvas parafusadas em aeronaves.

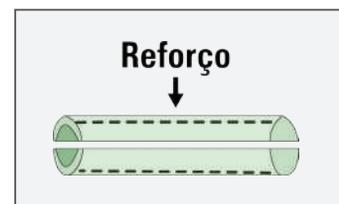


Figura 54.C - Tubo de reparo

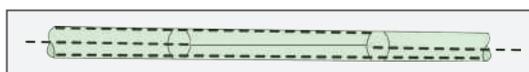


Figura 54.D - Solda realizada

### 8.1.2 Reparo por remendo soldado

Outra metodologia empregada para pequenas moissas ou furos é o reparo por remendo de mesmo material soldado. As dimensões do reparo devem seguir as proporções ilustradas na Figura 55.

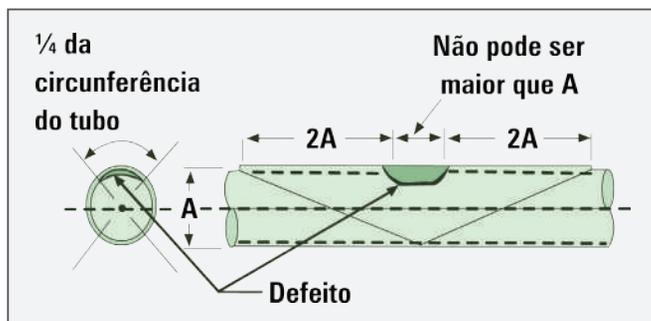


Figura 55 - Dimensões do reparo por remendo soldado

Segundo o Instituto da Aviação Civil (2002), esse tipo de reparo não pode ser realizado quando a profundidade das moissas ultrapassar 1/10 do diâmetro do tubo e 1/4 da circunferência do tubo. Esse reparo não é recomendado para rachaduras associadas às moissas ou cantos vivos e a tubos com deformações que impeçam de ser substancialmente reforçados sem rachar.

### 8.1.3 Emenda de tubulações por meio de luva interna

Para danos que exijam a substituição de parte do tubo estrutural, é recomendado reparo com luva interna. O procedimento é semelhante ao realizado com luva externa. Deve-se utilizar tubulação de mesma liga do material original e com diâmetro externo igual ao diâmetro interno do tubo original. É realizado um corte formando um ângulo de 30° com a horizontal no tubo danificado removendo a parte prejudicada.

A luva deve ter dimensões mínimas, conforme mostra a Figura 56. Ela é posicionada dentro do tubo e realiza-se a solda na junta.

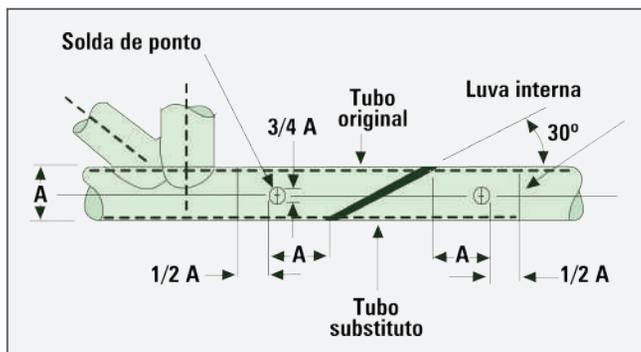


Figura 56 - Posicionamento e dimensões do reparo com luva interna

É importante deixar uma folga que permita o acesso do soldador para fazer o cordão de solda na emenda do tubo com a superfície da luva em ambos os lados. Para finalizar, é recomendado realizar solda de ponto na posição indicada na figura.

## 8.2 Reparos em estruturas tubulares de aeronaves

Muitas estruturas de aeronaves são fabricadas com tubos, por essa razão, algumas recomendações devem ser seguidas no momento do reparo.

As soldagens realizadas no berço do motor devem ser de excelente qualidade em razão da grande solitação de esforços e do alto nível de vibração. O alinhamento deve ser observado e preservado ao final do reparo. No caso de danos de grandes proporções, todo o conjunto do berço do motor deve ser substituído. Os parâmetros para a substituição são determinados pelos fabricantes.

Existem alguns tipos de trens de pouso que podem ser reparados por soldagem. Nesses casos, as peças que, anteriormente, tenham sofrido tratamento térmico devem ser retratadas ao término do reparo. Isso vale também para reparos em longarinas e tubos das asas.

Apesar de ser mais vantajoso substituir os montantes das asas e caudas, elas podem sofrer reparos por solda sem restrição de método. O importante é monitorar os componentes de fixação durante os primeiros voos para garantir que não foram negativamente afetados pelo reparo.

### Resumindo

Neste capítulo, viu-se que, normalmente, as estruturas construídas de tubos de aços em aeronaves são responsáveis por sustentar partes importantes expostas a grandes esforços, como motor e asas. Sendo assim, os reparos realizados com soldas devem ser de ótima qualidade. O profissional responsável por realizar o reparo deve escolher a melhor metodologia de soldagem, levando em conta a composição química da liga metálica, a espessura da peça e a posição de soldagem.

Alguns tipos de reparos usuais são realizados com chapas metálicas moldadas em volta da estrutura metálica e soldada, luva soldada, remendo soldado e luva interna soldada. Antes de realizar a manutenção corretiva, o técnico deve consultar o manual de reparos estruturais da aeronave, a fim de realizar os procedimentos recomendados pelo fabricante e garantir a confiabilidade necessária.

# Capítulo 9

## Medidas de segurança

Os profissionais que atuam na manutenção aeronáutica estão expostos a riscos de acidentes de trabalho ou doenças profissionais. Isso não é uma exclusividade da manutenção de aeronaves, praticamente toda atividade **laboral** tem algum tipo de risco associado.

Nesse sentido, é importante tomar todas as medidas possíveis para minimizar os riscos de acidentes de trabalho e o desenvolvimento de alguma doença decorrente de atividade profissional.



**Laboral:** relativo ao trabalho.

### 9.1 Prevenção de riscos

As consequências de um acidente de trabalho são péssimas para o trabalhador, mas também causam prejuízos às empresas, pois se tratam de procedimentos que impactam diretamente na produtividade.

No Brasil, as normas regulamentadoras (NR) 9 e 15 consolidam os documentos responsáveis por definir as medidas de proteção e os limites de tolerância, respectivamente, com relação à maioria das substâncias perigosas presentes nos fumos de solda. Todas as NR estão disponíveis no site do Ministério do Trabalho e Emprego.

A norma regulamentadora (NR) 9 assevera que todas as empresas são obrigadas a desenvolver um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA). Além disso, ela estabelece:

[...] a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais (BRASIL, 1994, p. 1).

Todos os profissionais que trabalham com soldagem estão expostos a vários tipos de riscos, especialmente físicos, químicos e de acidentes. Na Tabela 9, podem-se observar os riscos ambientais por grupo e cor associada. As empresas são obrigadas a tomar todas as providências possíveis para evitar os efeitos danosos resultantes das atividades profissionais. Isso inclui a

instalação de equipamentos de proteção coletiva (EPC) e o fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPI).

Tabela 10 - Riscos ambientais

Grupo I: verde riscos físicos	Grupo II: vermelho riscos químicos	Grupo III: marrom riscos biológicos	Grupo IV: amarelo riscos ergonômicos	Grupo V: azul riscos de acidentes
Ruídos	Poeiras	Vírus	Esforço físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibrações	Fumos	Bactérias	Levantamento e transporte manual de peso	Máquinas e equipamentos sem proteção
Radiações ionizantes	Neblinas	Protozoários	Exigência de postura inadequada	Ferramentas inadequadas ou defeituosas
Radiações não ionizantes	Neblinas	Fungos	Controle rígido de produtividade	Iluminação inadequada
Frio	Gases	Parasitas	Imposição de ritmos excessivos	Eletricidade
Calor	Vapores	Bacilos	Trabalhos em turnos diurnos e noturnos	Probabilidade de incêndio ou explosão
Pressões anormais	Substâncias, compostos ou produtos químicos em geral	-	Jornada de trabalho prolongada	Armazenamento inadequado
Umidade	-	-	Monotonia e repetitividade	Animais peçonhentos
-	-	-	Outras situações causadoras de estresse físico e/ou psíquico	Outras situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes

Aos funcionários cabe utilizar corretamente os equipamentos, seguir as determinações de segurança das empresas e colaborar em todos os sentidos no intuito de criar um ambiente de trabalho saudável.

## 9.2 Tipos de risco

Na sequência, serão apresentados os principais tipos de risco e os agentes contaminantes a que os profissionais soldadores estão expostos, os máximos limites de exposição e as medidas de segurança recomendadas.

### 9.2.1 Gases e fumos

Os gases utilizados em soldagem são armazenados em recipientes confinados em alta pressão. Para minimizar os riscos de acidentes, algumas regras devem ser observadas. Os equipamentos

têm de ser manuseados com ferramentas adequadas e por pessoas treinadas. Os cilindros devem ser armazenados em locais apropriados com ventilação e longe de fonte de calor. As válvulas de segurança nunca podem ser removidas e todo equipamento deve passar por manutenções periódicas especificadas em normas técnicas.

Para não ocorrer retorno de chama no maçarico, é recomendado utilizar válvulas de segurança; logo, a pressão de trabalho deve ser ajustada corretamente. Os gases utilizados na soldagem são explosivos sob certas circunstâncias e **asfixiantes** em altas concentrações, podendo, inclusive, levar à morte.

Atualmente, existe grande preocupação com os danos causados à saúde e ao meio ambiente provocados por fumos e gases resultantes da soldagem. Os limites de exposição admitidos pelas normas regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) são baseados em normas internacionais, como, por exemplo, as criadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelos *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) e *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), dos Estados Unidos.

Gases como o óxido de nitrogênio e o ozônio podem ser produzidos pelas técnicas de soldagem por arco elétrico, pela chama, pela decomposição do material de proteção ou por substâncias dos consumíveis. Podem-se observar, na Tabela 11, os gases produzidos em maior proporção por intermédio das principais técnicas de soldagem.

Tabela 11 - Principais gases resultantes da soldagem

Processo de soldagem	Principais gases
TIG (argônio)	Óxido de nitrogênio e ozônio
MIG (argônio)	Óxido de nitrogênio e ozônio
MAG (CO <sub>2</sub> )	Monóxido de carbono e óxido de nitrogênio
Eletrodo revestido	Flúor óxido de nitrogênio
Arame tubular	Flúor monóxido de carbono óxido de nitrogênio
Arco submerso	Flúor monóxido de carbono

Os limites de exposição permitidos são definidos pela média ponderada do tempo (MPT) em oito horas de jornada de trabalho ou pelo limite à exposição para curto tempo, que pode ser entendido como a máxima exposição em até dez minutos. Esses limites são constantemente revisados e a máxima exposição aceita atualmente, conforme o Anexo 11, da NR 15, é:

- ozônio - 0,08 ppm;
- dióxido de nitrogênio - 4,0 ppm;
- óxido nítrico - 25 ppm;
- monóxido de carbono - 39 ppm;
- fosgênio - 0,08 ppm.

Os sintomas causados pela exposição excessiva aos gases variam com a concentração do contaminante. Os mais comuns são irritação no nariz e na garganta, dor de cabeça, fadiga, náuseas,



**Asfixiante:** sufocante; capaz de sufocar; que provoca asfixia, que impossibilita de respirar; que sufoca ou retira o ar por completo.

irritação no olho, bronquite e morte em casos extremos. Para minimizar os efeitos nocivos da exposição, o ambiente da soldagem deve ser ventilado. Em algumas situações, o soldador deverá respirar por máscaras com filtros adequados ao contaminante ou utilizar sistema de respiração por ar mandado.



Figura 57 - Gases e fumos sendo gerados na soldagem

Os fumos são partículas sólidas produzidas por condensação de vapores metálicos, como, por exemplo, fumos de ferro nas operações de soldagem, chumbo em trabalhos com metal para temperatura acima dos 500 °C e outros metais produzidos em operações de fusão.

Os fumos resultantes de operações de soldagem e corte são compostos por partículas com diâmetro médio da ordem de ( $\mu\text{m}$ ). Esses contaminantes são tão pequenos que entram pelo sistema respiratório e depositam-se no pulmão. Partículas de zinco e de cobre podem causar náuseas e irritação respiratória, fluoretos de cromo e bário podem causar envenenamento.

As operações de soldagem apresentam nível de periculosidade definido pela taxa de geração de fumos (TGF) associada ao grau de toxidez dos produtos gerados.

### 9.2.2 Choques elétricos

A grandeza física responsável pela sensação de dor em um choque elétrico é a corrente. Mesmo correntes baixas, como 4 mA (miliampere), já podem causar dor. Em torno de 30 mA, uma pessoa pode perder a consciência e, para correntes acima de 80 mA, muitas vezes o resultado é a morte. Esse acontecimento dependerá da resistência interna do corpo, que varia conforme a pessoa.

Os equipamentos utilizados na soldagem são, geralmente, alimentados por tensões de 220, 380 ou 440 V em corrente alternada. Isso torna imprescindível tomar atitudes de prevenção de acidentes isolando as fontes de potência e o corpo. O operador deve utilizar EPIs, como botas de borracha isolante. O equipamento de solda deve estar corretamente instalado, aterrado e com a manutenção em dia.

### 9.2.3 Radiação

Os processos de soldagem podem produzir ondas eletromagnéticas de comprimento prejudiciais à saúde. Por exemplo, o arco elétrico produz radiação ultravioleta capaz de queimar a pele. A radiação pode causar danos ainda maiores, como câncer, quando a exposição for prolongada.

Por esse motivo, o soldador deve utilizar proteção para o corpo e elmo com visor capaz de impedir a passagem da radiação nociva aos olhos. Existem visores de cristal líquido que são transparentes quando não estão sob o efeito da radiação, mas, quando expostos à radiação de soldagem, escurecem instantaneamente, atingindo um nível de filtragem necessário para proteger o operador.

## 9.3 Equipamentos de proteção

A primeira medida de proteção a ser tomada é evitar o contato com o contaminante. No caso da solda, isso pode ser feito implantando sistemas de solda robóticas operados remotamente. Na maioria das vezes, isso não poderá ser feito na manutenção de aeronaves.

É recomendado instalar equipamentos de proteção coletiva (EPC), pois eles podem diminuir a concentração do contaminante em todo ambiente de trabalho e, ao mesmo tempo, proteger os operadores. É possível observar na Figura 58.A um exemplo de EPC: o braço exaustor suga os fumos para recipientes dotados de filtros onde, posteriormente, recebem tratamento e são descartados corretamente. A Figura 58.B mostra como ocorre o fluxo de exaustão.



Figura 58.A - Braço exaustor de solda

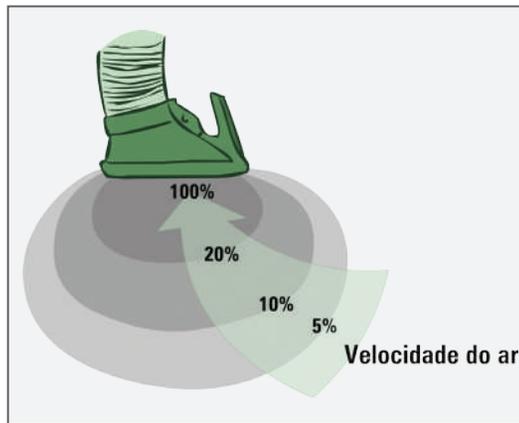


Figura 58.B - Fluxo de exaustão do braço exaustor

A medida de segurança mais empregada na proteção de trabalhadores é a utilização de EPIs, ilustrados na Figura 59.



Figura 59 - EPI recomendado para soldagem

Os recomendados para os serviços de soldagem são:

- elmo de soldagem equipado com filtro de radiação no visor;
- luvas;
- aventais protetores;
- proteção para o braço e tórax;
- polaina;
- botas;
- respiradores com filtros para gases ácidos e vapores orgânicos;
- protetor auricular.

## Resumindo

Neste capítulo, viu-se que, em praticamente toda atividade de manutenção aeronáutica, existe um algum tipo de risco ambiental presente. No tocante às técnicas de soldagem, não é diferente. Os gases inflamáveis utilizados na soldagem oxiacetilênica ficam armazenados em cilindros sob alta pressão, com grande risco de explosão e incêndio. A fusão de metais libera gases tóxicos e fumos, prejudiciais à saúde. Os processos de soldagem podem emitir radiação nociva à pele e aos olhos. Existe o risco de choque elétrico nas soldagens por eletrodo revestido, TIG, MIG/MAG.

As empresas e os funcionários devem colaborar no sentido de criar um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA) eficiente. Como medida de prevenção de acidentes de trabalho ou doenças profissionais, recomenda-se evitar a exposição a contaminantes e a situações de risco prioritariamente. Não havendo essa possibilidade, devem-se utilizar recursos como EPC e EPI, conforme as legislações vigentes, principalmente as normas regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

# Capítulo 10

## Novos processos de soldagem

As técnicas de soldagem apresentadas até o momento evidenciam as principais formas de unir metais na fabricação e manutenção da indústria aeronáutica. No entanto, existem inúmeras metodologias de soldagem disponíveis no mercado e outras sendo desenvolvidas em pesquisas realizadas nas universidades de todo mundo. É impossível realizar uma classificação universalmente aceita.

Alguns autores estimam um número em torno de 70 técnicas de soldagem empregadas na atualidade, esse número aumenta constantemente. Essa estimativa depende de quem realizou a classificação. Dentre essas técnicas de soldagem, existem duas que podem ser classificadas como novas, tendo em vista a tecnologia utilizada. São elas o *laser* e o ultrassom, e o seu emprego na indústria aeroespacial é crescente.

### 10.1 Laser

A sigla *LASER* significa *light amplification by simulated emission of radiation*, ou seja, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. A soldagem a laser é uma técnica que une metais por fusão, em que um feixe de radiação eletromagnética condensado funde o metal permitindo altas velocidades de soldagem com grande penetração. É muito utilizada em peças espessas para produção em larga escala.

O *laser* é um feixe de radiação eletromagnética produzido artificialmente por um equipamento. Possui comprimento de onda bem definido e propagação *colimada*, podendo atingir altas potências.

O equipamento que emite o feixe de *laser* pode ser construído a partir de fontes sólidas, cristais de rubi ou gases como o  $\text{CO}_2$ . O *laser* gasoso é conhecido como sendo de alta potência e é muito empregado no corte e na soldagem de metais.

O equipamento básico de *laser* é composto por fonte de alimentação, meio ativo e cavidade ressonante. A fonte de alimentação fornece energia para excitação dos átomos.

O meio ativo pode ser gás, líquido ou sólido. Ele recebe a energia da fonte de alimentação, é excitado e libera a radiação com comprimento de onda característico. A cavidade ressonante é o equipamento que realiza a amplificação da radiação. Ela ressoa dentro da cavidade, potencializando o efeito até convergir para uma saída de diâmetro muito reduzido, produzindo um feixe condensado e extremamente direcionado.



**Colimada:** propriedade da luz cujos raios são quase paralelos, e, portanto, espalhando-se lentamente à medida que se propagam.

Os parâmetros primários de soldagem são diâmetro do raio incidente, absorção, potência do feixe de radiação, gás de proteção, velocidade de soldagem, distância focal e configuração da junta. Os secundários são penetração, parâmetros físicos e metalúrgicos da liga metálica.

A medida do diâmetro do raio a *laser* fornece a densidade de energia importante para ajuste do equipamento. A absorção indicará quanto do feixe será retido pela peça e quanto será refletido. Isso permite determinar a potência correta para a soldagem. Para certo tipo de potência, a variação da velocidade de soldagem influenciará na penetração. Velocidades muito altas geram penetração insuficiente, enquanto velocidades baixas demais produzem fusão excessiva.

Os gases de proteção servem para remover o plasma formado na fusão ou vaporização do metal. O tipo de gás utilizado interfere na transferência de energia do feixe para a peça. Os gases mais utilizados são o argônio e hélio com os mesmos mecanismos de proteção das soldagens *metal inert gas* (MIG), *metal active gas* (MAG) e *tungsten inert gas* (TIG).

A alta concentração do feixe de radiação permite uma grande variedade de aplicações, com destaque para o corte com precisão e soldagem com altas taxas de produtividade. As vantagens desse processo são:

- energia é fornecida de forma concentrada, diminuindo a área afetada;
- soldas com menos defeitos de distorção;
- não requer material de adição, evitando contaminações;
- possibilidade de realizar soldas em locais de difícil acesso;
- possibilidade de realizar automação do processo;
- possibilidade de soldar espessuras variadas.

A soldagem a *laser* requer um alto nível de automação para guiar o feixe, por isso, muitas vezes é empregado com sistemas robotizados. Isso implica custos elevados e a necessidade de mão de obra especializada. É um processo que se torna viável para produção em larga escala, podendo ser empregado na fabricação de itens aeronáuticos de alta precisão. A Figura 60 ilustra a ação de solda a *laser*.

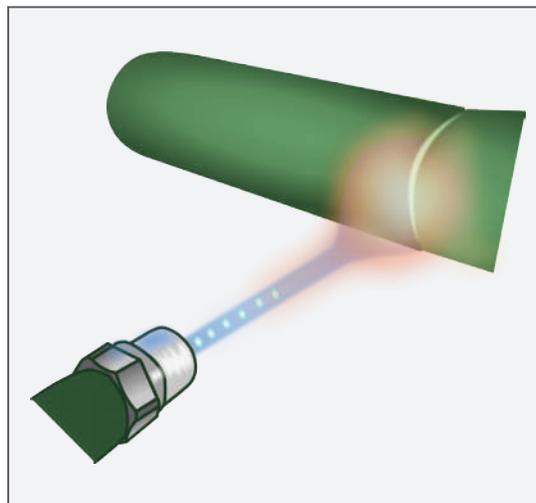


Figura 60 - Solda a *laser*

## 10.2 Ultrassom

A soldagem por ultrassom realiza a união dos materiais pela associação de vibrações mecânicas ultrassônicas com aplicação de pressão. Essa técnica pode ser utilizada para soldar metais, termoplásticos, vidros e materiais cerâmicos. Os metais são soldados no estado sólido sem que ocorra a fusão, enquanto com os termoplásticos ocorre a fusão dos materiais.

Os equipamentos utilizados para realizar a solda ultrassônica, apresentados na Figura 61, são, basicamente, compostos por um sistema de deslocamento de cabeçote de soldagem, um gerador de corrente e um conjunto constituído de transdutor, amplificador e sonotrodo.

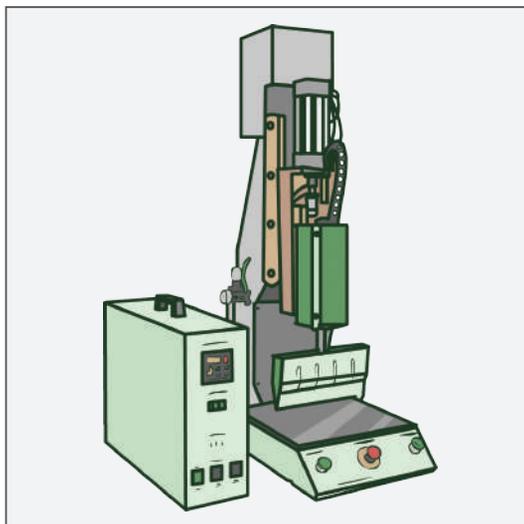


Figura 61 - Equipamento de solda ultrassônica

O cabeçote é responsável por aplicar a pressão nas peças que serão soldadas. O gerador de corrente fornece energia para fazer vibrar o equipamento. O transdutor tem a função de transformar a energia elétrica em energia vibratória. O amplificador aumenta a vibração fornecida pelo transdutor e o sonotrodo transmite a energia mecânica de vibração para a peça. A soldagem de materiais plásticos exige que a pressão varie em torno de 40 a 60 Kgf/cm<sup>2</sup>. Para os metais, o valor fica na faixa de 60 a 120 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Os parâmetros desse processo de soldagem são a pressão aplicada, o tempo de soldagem, a amplitude da onda ultrassônica, o ponto de fusão do material, a geometria e as dimensões da peça.

A soldagem ultrassônica é empregada para unir ligas metálicas resistentes à temperatura, metais diferentes como cobre-alumínio ou níquel-berílio e materiais termoplásticos de vários ramos da indústria. Essa metodologia possui como vantagens a soldagem de chapas pintadas sem tratamento prévio, a inexistência de problemas de deformação devido ao pouco calor envolvido no processo e o fato das juntas formadas entre ligas metálicas distintas serem de alta resistência.

Os materiais termoplásticos podem ser soldados por essa técnica com baixo custo de produção e com grande velocidade. O resultado será juntas limpas e resistentes. A grande desvantagem desse processo é a necessidade de equipamentos automatizados para efetuar a solda. Isso eleva os custos e limita o campo de emprego da técnica de soldagem.



**Transdutor:** dispositivo que transforma um tipo de energia em outro.

**Sonotrodo:** equipamento do sistema de solda por ultrassom que tem a função de transferir a energia vibratória do transdutor para a peça.

## Resumindo

A soldagem a *laser* é realizada por fusão da liga metálica, cuja fonte de calor é um feixe de luz de alta energia. Pode-se realizar soldas com alta velocidade e grande penetração no material. A soldagem por ultrassom associa vibrações com pressão e é utilizada para unir metais, vidros, plásticos e material cerâmico. Os dois processos de soldagem são realizados por equipamentos automatizados.

Os processos de soldagem apresentados têm vantagens e desvantagens, e têm melhor desempenho quando determinadas variáveis são levadas em conta. Os profissionais devem conhecer as principais técnicas de soldagem e suas características para poder avaliar e empregar o processo mais eficiente, para cada tipo de serviço, maximizando os resultados, mas sempre em conformidade com os manuais técnicos.

# Atividades

## Unidade 1

### Revestimento de aeronaves

#### Capítulo 1 - Revestimento metálico

1 A escolha do material utilizado como revestimento de aeronaves é baseada em parâmetros técnicos. Existem duas propriedades do material em que a razão entre ambas é fundamental para um bom revestimento, quais são elas?

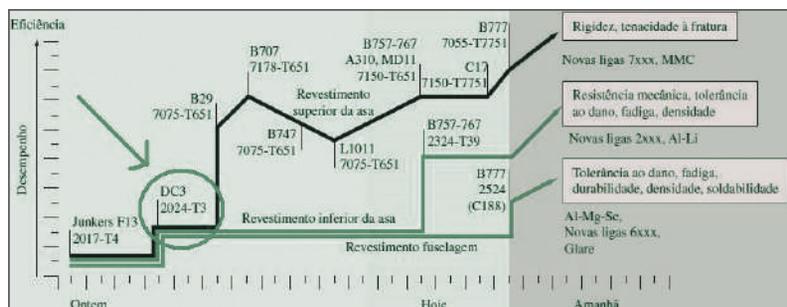
- a) Durabilidade e trabalhabilidade.
- b) Condutividade e flexibilidade.
- c) Resistência e peso.
- d) Durabilidade e flexibilidade.

2 É crescente a utilização de materiais alternativos na indústria aeronáutica. Os materiais compósitos estão ganhando destaque no cenário mundial, no entanto, a maioria das aeronaves operando na atualidade é revestida com ligas metálicas. A liga metálica mais utilizada como revestimento é intitulada:

- a) Aço-carbono.
- b) Alumínio.
- c) Magnésio.
- d) Titânio.

3 Pode-se observar, na figura, a evolução do desempenho dos revestimentos aeronáuticos ao passar dos anos. O que significa a sigla 2024-T3 nessa figura?

- a) Liga de aço e níquel tratada termicamente.
- b) Liga de alumínio e cobre tratada termicamente.
- c) Liga de magnésio recozida.
- d) Liga de titânio recozida.



- 4 **Existem métodos de inspeção de revestimento que podem detectar descontinuidades sem danificar o material, são conhecidos como ensaios não destrutivos. Qual das alternativas apresenta métodos utilizados para detectar minúsculas trincas em revestimentos de aeronaves?**
- a) Inspeção visual e raio-X.
  - b) *Eddy current* e teste ultrassônico.
  - c) Líquido penetrante e teste ultrassônico.
  - d) *Eddy current* e líquido penetrante.
- 5 **Supondo que uma aeronave tenha colidido a fuselagem com uma escada, durante a movimentação de hangar, e tenha sofrido, como dano, um pequeno furo. Qual tipo de reparo é mais indicado para essa situação?**
- a) Octogonal.
  - b) Redondo.
  - c) Substituição do painel.
  - d) Substituição do revestimento.

## Capítulo 2 - Revestimento de material composto

- 1 **Os materiais constituídos por no mínimo dois elementos, com propriedades físicas e químicas distintas, são denominados compósitos. Qual parte confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços vazios?**
- a) O reforço.
  - b) A fibra de aramida.
  - c) A fibra de carbono.
  - d) A matriz.
- 2 **Marcar V para verdadeiro ou F para falso em relação ao tema revestimentos de materiais compósitos e as vantagens apresentadas em relação aos materiais tradicionais. As principais vantagens dos compósitos em relação aos materiais tradicionais são:**
- ( ) Redução do número de peças em um componente do avião em relação ao caso de esse componente ser fabricado com material metálico.
  - ( ) Podem sofrer tratamento térmico para melhorar suas propriedades físicas.
  - ( ) Possui menor peso em relação à madeira e às ligas de alumínio devido à maior rigidez específica e à maior resistência específica.
- a) V, V e V.
  - b) V, F e V.
  - c) V, V e F.
  - d) F, F e V.

- 3 Na resina poliéster, como é denominado o tempo decorrido entre a adição dos agentes de cura e o início da polimerização?**
- a) Tempo de secagem final.
  - b) Tempo de cura.
  - c) Tempo de polimerização.
  - d) Tempo de gelatinização.
- 4 A técnica de mensuração de danos que utiliza luz laser realizando a interpretação baseada em processamento de dados digitais é conhecida como:**
- a) Shearografia.
  - b) Termografia infravermelha.
  - c) Transdutores piezelétricos.
  - d) Inspeção visual.
- 5 Para realizar reparos em revestimentos de material composto, é necessário remover toda a tinta. Qual das alternativas descreve metodologia incorreta para essa tarefa?**
- a) A tinta pode ser removida com lixadeira pneumática.
  - b) A tinta pode ser removida com jatos de abrasivos.
  - c) A tinta pode ser removida por ação química.
  - d) A tinta pode ser removida por ação abrasiva.

## Capítulo 3 - Revestimentos de tecidos

- 1 Qual é o parâmetro utilizado para definir a resistência mínima dos materiais empregados para revestir aeronaves com tecido?**
- a) O tipo de estrutura da aeronave.
  - b) O limite de velocidade da aeronave.
  - c) A área mínima da aeronave.
  - d) A área máxima da aeronave.
- 2 Existem vários tipos de tecidos utilizados para revestir aeronaves. Os de melhor qualidade devem possuir excelente resistência mecânica e boa aderência aos produtos utilizados para tratamento. Atualmente, qual é o tecido, homologado, mais utilizado para revestir aviões?**
- a) Linho.
  - b) Poliéster.
  - c) Algodão.
  - d) *Orlon*.

- 3 Um corte diagonal na trama ou na urdidura de um tecido para revestimento de aeronaves é denominado:**
- a) Urdimento.
  - b) Trama.
  - c) Prega.
  - d) Viés.
- 4 O método utilizado para fixar o revestimento da estrutura onde são cortadas múltiplas secções planas de tecido e fixadas na aeronave é conhecido como:**
- a) Método do cobertor.
  - b) Método do envelope.
  - c) Método picotado.
  - d) Método do termoencolhimento.
- 5 Qual é o principal agente agressor dos tecidos utilizados como revestimento aeronáutico?**
- a) A temperatura ambiente do hangar.
  - b) Os raios UV emitidos pelo sol.
  - c) A corrosão.
  - d) A poeira.

## Unidade 2

### Sistema de água potável, toaletes e *galley*s

#### Capítulo 1 - Sistema de água potável

- 1 Sistema da aeronave cuja finalidade é fornecer água pressurizada para as áreas das *galley*s e dos toaletes para o devido uso dos passageiros e da tripulação:**
- a) Sistema de pressurização.
  - b) Sistema pneumático.
  - c) Sistema de água potável.
  - d) Sistema hidráulico.
- 2 Acesso por onde se realiza o enchimento do sistema de água potável em uma aeronave é a definição que se aplica à/ao:**
- a) Válvula de enchimento e descarga de água.
  - b) Painel de serviço de água.
  - c) Painel de atendimento de comissário de bordo.
  - d) Válvula de fechamento de água.

- 3 Qual das opções é a válvula que permite o fluxo de água no tanque de água através do acessório de enchimento de água potável?**
- a) Válvula de drenagem.
  - b) Válvula de retenção.
  - c) Válvula de fechamento.
  - d) Válvula de enchimento e descarga.
- 4 Qual a alternativa que responde à seguinte pergunta: o que acontece com o sistema de água potável se a drenagem dele não for realizada, no mínimo, a cada três dias, ou se o sistema de água não for utilizado com frequência?**
- a) Ocorre acúmulo de sujeiras nas saídas de água suja.
  - b) O tanque de água fica entupido.
  - c) O sistema de água potável é programado para se desligar automaticamente nessa situação, ficando inoperante.
  - d) Ocorre um crescimento das bactérias, causando doenças em passageiros e na tripulação.
- 5 O sistema que fornece água quente para a torneira de água do lavatório, e possui uma chave seletora que define as temperaturas da água é o:**
- a) Sistema de superaquecimento de água.
  - b) Sistema de temperatura da água.
  - c) Sistema de aquecimento da água.
  - d) Sistema regulador de temperatura.

## Capítulo 2 - Toaletes

- 1 Este local da aeronave é utilizado para cuidados de higiene pessoal, sendo ele modular e separável, projetado para ser uma unidade independente e conter equipamentos próprios. Cada companhia aérea determina a quantidade de locais desse tipo e a sua localização na aeronave. Essas sentenças se referem à/ao:**
- a) Cabine de passageiros.
  - b) Cabine de pilotos.
  - c) Toalete ou lavatório.
  - d) *Galley*.
- 2 A peça chamada de \_\_\_\_\_ é feita de aço inoxidável com uma camada antiaderente para mantê-la sempre limpa. Peças assim possuem também um anel tubular de aço inoxidável anexado no interior da borda superior para facilitar na sua higienização. A(s) melhor(es) palavra(s) para preencher a lacuna é(são):**
- a) Torneira.
  - b) Vaso sanitário.
  - c) Saboneteira.
  - d) Pias.

**3 Com relação à torneira de água de um lavatório, assinalar a alternativa correta:**

- a) É parafusada com suporte ao chão e anexada à estrutura superior por meio de tirantes ajustáveis para caber sem pré-carga.
- b) Trata-se de um equipamento instalado sempre acima do nível do chão para uma fácil acessibilidade.
- c) É um componente que possui uma esteira de vinil antiderrapante, e o material do piso do lavatório é fibra de vidro à prova d'água para evitar corrosão.
- d) É definida por uma peça que incorpora um dispositivo de retardo de tempo mecânico, permitindo que o fluxo da água seja contínuo sem pressionar a tampa da torneira. Esse fluxo é ajustado para de 3 a 10 segundos por impulso. A tampa da peça é que controla o fluxo e a temperatura da água.

**4 Qual sistema instalado em lavatórios que fornece a detecção rápida e antecipada de sinais de incêndio, evitando assim que o fogo se alastre na área do lavatório?**

- a) Sistema de detecção de fumaça.
- b) Sistema anunciador de incêndio.
- c) Sistema de alarme de fogo.
- d) Sistema de extinção de fumaça.

**5 Quais os sistemas que fornecem ventilação de ar para os lavatórios e água para as pias, respectivamente?**

- a) Sistema de circulação de ar e sistema de água.
- b) Sistema trocador de ar e sistema de filtragem de água.
- c) Unidade de ventilação de lavatório e sistema de água potável.
- d) Nenhuma das anteriores.

## Capítulo 3 - *Galleys*

**1 Local da aeronave por onde são embarcadas e armazenadas as comidas e bebidas servidas durante o voo e utilizadas pela tripulação. Desse local também se retiram os alimentos que não foram consumidos:**

- a) Seção traseira da fuselagem da aeronave.
- b) Cabine de passageiros.
- c) Seção dianteira da aeronave.
- d) *Galley*.

**2 A galley é composta, basicamente, de:**

- a) Extintor de incêndio, máscaras de oxigênio, *trolleys* e recipientes de lixo.
- b) Compartimento de gelo, *trolleys*, recipientes de lixo, compartimento para guardanapos e copos descartáveis e cafeteira.
- c) Extintor de incêndio, máscaras de oxigênio, compartimento de gelo, *trolleys* e recipientes de lixo.
- d) Compartimento de gelo, *trolleys*, assentos para substituição, revistas e *kit* de primeiros socorros.

**3 A respeito da produção de energia das galleys, marcar a afirmativa falsa:**

- a) Em um painel da cabine do piloto, localiza-se o interruptor que libera energia elétrica para a *galley*.
- b) Para preservar o sistema de situações críticas de energia, toda a energia da *galley* é automaticamente perdida se um barramento do gerador ficar sem energia.
- c) Os barramentos do gerador são energizados pelos motores, pelo APU ou por uma fonte externa.
- d) As *galleys* são energizadas pelo barramento de geradores bifásicos de 115 V.

**4 A galley é composta por diversos acessórios dispostos, usualmente, no fundo da aeronave. A respeito desses acessórios e de sua disposição dentro da galley, assinalar o item correspondente:**

- I. O piso dos acessórios anexa o fundo da *galley* à estrutura do piso da aeronave. Nas áreas de instalação da *galley*, o piso dos acessórios consiste em uma esteira de vinil.
  - II. Prevendo que os líquidos oriundos dos alimentos e bebidas poderiam danificar o piso, as *galleys* foram equipadas com um sistema de sucção a vácuo para evitar a retenção de líquido acima da esteira de vinil.
  - III. Um tirante com um encaixe de desconexão rápida prende a parte de cima dos acessórios à estrutura da aeronave.
  - IV. Os acessórios das *galleys* são parafusados diretamente na estrutura da aeronave.
- a) Apenas a alternativa III está correta.
  - b) Estão corretas as afirmativas I, III e IV.
  - c) Estão corretas apenas as afirmativas I e II.
  - d) Todas as alternativas estão corretas.

### 5 Quanto à localização das *galleys* nas aeronaves, marcar a alternativa correta:

- a) Elas estão sempre no fundo da aeronave, uma vez que, na parte dianteira, já se encontra a cabine de comando.
- b) Existem apenas três locais possíveis para as *galleys*: o fundo, onde normalmente se encontram, o meio e a dianteira do avião, anexadas à cabine de comando, para dar mais conforto à tripulação. Outras localidades desestabilizariam o voo por causa do peso desse compartimento.
- c) Existem, na maioria dos casos, sete locais possíveis para as *galleys*, e a decisão do local definitivo é da equipe de engenheiros que projeta o avião, não cabendo ao comprador decidir o local, uma vez que os engenheiros são os únicos profissionais aptos a tomar essa decisão.
- d) Existem, na maioria dos casos, sete locais possíveis para as *galleys*, e a decisão do local definitivo é da companhia aérea que realiza a compra da aeronave.

## Unidade 3

### Sistemas de comunicação e navegação

#### Capítulo 1 - Princípios básicos do rádio

##### 1 Das alternativas a seguir, qual a função de um transmissor?

- a) Decodificar o sinal recebido.
- b) Modular o sinal de áudio.
- c) Receptar RF.
- d) Modular o sinal recebido.

##### 2 Em um equipamento de comunicação, a fonia (áudio) é adicionada ao sinal de radiofrequência por um circuito especial chamado:

- a) Receptor.
- b) *RF station*.
- c) Modulador.
- d) Oscilador.

##### 3 No receptor de radiocomunicação, qual o componente responsável por captar as ondas eletromagnéticas e convertê-las em oscilações elétricas?

- a) Amplificador.
- b) Demodulador.
- c) Alto-falante.
- d) Antena.

**4 Dos equipamentos de navegação listados, qual utiliza sinais de VHF?**

- a) VOR.
- b) ADF.
- c) *Marker beacon.*
- d) *Glide slope.*

**5 A faixa de frequência considerada HF (alta frequência) compreende:**

- a) 30 Hz a 300 Hz.
- b) 30 MHz a 300 MHz.
- c) 3 MHz a 30 MHz.
- d) 3.000 MHz a 30.000 MHz.

## Capítulo 2 - Componentes básicos dos equipamentos rádios

**1 Das alternativas a seguir, qual a correta?**

- a) O transmissor é responsável por transformar as ondas eletromagnéticas de rádio em energia elétrica.
- b) O transmissor possui um circuito oscilador responsável por gerar o sinal de RF.
- c) A fonia é retirada do sinal de RF pelo circuito modulador.
- d) No caso de variação de amplitude do sinal de áudio, pode-se denominar modulação em AM.

**2 Para aumentar a capacidade de alcance de um sinal transmitido, é necessário aumentar:**

- a) A frequência do sinal modulado em AM.
- b) O sinal RF na modulação AM.
- c) A potência de recepção do receptor.
- d) A potência de saída do transmissor.

**3 A potência mínima exigida para um equipamento de comunicação de bordo no Brasil é de:**

- a) 1 (um) watts.
- b) 5 (cinco) watts.
- c) 30 (trinta) watts.
- d) 20 (vinte) watts.

**4 Equipamento de comunicação responsável por decodificar a informação contida nos sinais de rádio frequência:**

- a) Receptor.
- b) Transmissor.
- c) Antena.
- d) Microfone.

**5 Componente do equipamento rádio responsável por converter energia acústica em sinal elétrico:**

- a) Antena.
- b) Microfone.
- c) Oscilador.
- d) Alto-falante.

## **Capítulo 3 - Sistemas de comunicação**

**1 Das alternativas a seguir, qual a correta?**

- a) O sistema de comunicação mais utilizado é o HF.
- b) O sistema VHF é o mais utilizado para comunicações a longa distância.
- c) O rádio transceptor engloba, simultaneamente, o receptor e o transmissor.
- d) O alcance do equipamento HF é limitado a distância pelo horizonte.

**2 O espaçamento entre os canais de um equipamento de comunicação VHF é de:**

- a) 50 kHz.
- b) 118,0 MHz.
- c) 1 MHz.
- d) 25 kHz.

**3 Qual a faixa de frequência utilizada pelos equipamentos de comunicação aeronáutica HF?**

- a) De 118,0 a 136,975 MHz.
- b) De 2 a 30 MHz.
- c) De 2 a 30 kHz.
- d) De 30 a 300 MHz.

**4 O equipamento VHF é utilizado para comunicações de longa distância. Essa afirmação está correta?**

- a) Sim, porque o VHF utiliza potência de transmissão maior que o HF.
- b) Não, porque o equipamento HF é o mais indicado por possuir uma faixa de frequência maior.
- c) Não, porque o equipamento HF é o mais indicado por utilizar potência de saída maior que o do VHF.
- d) Sim, porque os níveis de frequência do VHF são maiores do que os do HF.

**5 No caso de aeronaves que operam com velocidade de deslocamento mais elevadas, as antenas de VHF estão instaladas normalmente no(a):**

- a) Radome da aeronave.
- b) Estabilizador vertical.
- c) Fio comprido sobre a aeronave.
- d) Parte inferior da fuselagem.

## Capítulo 4 - Equipamentos de navegação de bordo

**1 Sistema de navegação mais utilizado que possibilita ao piloto a escolha do rumo, em relação à estação selecionada dentro do alcance da aeronave:**

- a) ADF.
- b) HF.
- c) VOR.
- d) Radar meteorológico.

**2 O *localizer* (ILS) e o *glide slope* (GS) estão acoplados a qual equipamento de navegação?**

- a) *Marker beacon*.
- b) VOR.
- c) ADF.
- d) GPS.

**3 Sinais de rádio que indicam a posição da aeronave ao longo de sua descida em direção à pista é a definição de:**

- a) *Localizer*.
- b) *Glide slope*.
- c) *Marker beacon*.
- d) VOR.

**4 Qual o equipamento de navegação responsável por informar a distância da aeronave até a estação de terra?**

- a) ADF.
- b) *Marker beacon*.
- c) DME.
- d) ILS.

**5 Das alternativas a seguir, qual a correta em relação ao *transponder*?**

- a) Receptor equipado com antenas direcionais utilizadas para determinar a direção da origem do sinal recebido.
- b) Fornece uma identificação positiva da aeronave na tela de radar do controlador.
- c) Possibilita localizar o norte magnético em razão da rotação do globo terrestre.
- d) É destinado a detectar determinados alvos na escuridão, no nevoeiro ou nas tempestades, bem como em tempo claro.

## **Capítulo 5 - Transmissor localizador de emergência**

**1 As frequências utilizadas pelo ELT são:**

- a) 118,0 e 243 MHz.
- b) 118,0 e 121,5 MHz.
- c) 121,5 e 406 MHz.
- d) 136,975 e 706 MHz.

**2 Para realizar o teste operacional do ELT, utiliza-se a frequência de:**

- a) 118,0 MHz.
- b) 121,5 MHz.
- c) 243 MHz.
- d) 406 MHz.

**3 O local mais apropriado para instalação do ELT no avião é no(a):**

- a) Radome.
- b) Cabine de comando.
- c) Estabilizador horizontal.
- d) Estabilizador vertical.

**4 Das alternativas a seguir, qual a incorreta?**

- a) O transmissor localizador de emergência, normalmente, está instalado no estabilizador vertical do avião.
- b) O acionamento voluntário do ELT deve ser feito apenas para teste.
- c) Na aviação civil, são utilizadas, no ELT, as frequências de 121,5 e 243,0 MHz.
- d) O equipamento deve estar acessível para permitir o monitoramento da data de substituição da bateria e para armar a unidade.

**5 A inspeção do ELT deve ser feita pelo menos:**

- a) Semanalmente.
- b) Anualmente.
- c) Diariamente.
- d) Mensalmente.

## Capítulo 6 - Instalação de equipamentos de comunicação e de navegação

### 1 Qual a ação mais indicada para que seja feita a instalação de um equipamento de comunicação?

- a) Verificar o manual de instalação do equipamento.
- b) Adquirir o manual de manutenção da aeronave.
- c) Planejamento.
- d) Autorização da autoridade.

### 2 Ainda em relação à instalação de equipamentos em uma aeronave, qual a alternativa correta?

- a) Devem ser analisados os dados técnicos recomendados pelo fabricante do equipamento de comunicação na escolha do local de instalação.
- b) A instalação do equipamento deve ser feita de forma firme, evitando que ele caia ou afete outros acessórios.
- c) Evitar que o equipamento rádio fique distante de outros equipamentos ou estruturas.
- d) A fiação não deve passar próxima de dutos ou acessórios que contenham substâncias inflamáveis.

### 3 Das alternativas a seguir, qual a incorreta?

- a) O calor e a umidade excessivos são dois grandes inimigos para os equipamentos elétricos, eletrônicos e instrumentos.
- b) O tamanho e o peso do equipamento são relevantes ao planejamento de instalação de equipamentos.
- c) A umidade pode ser evitada com a utilização de *coolers*.
- d) O calor excessivo pode ser eliminado com a utilização de exaustores.

### 4 Para evitar o problema de vibrações, pode-se tomar quais cuidados?

- a) Instalar uma base com *coolers* que atenua a frequência de vibração do equipamento.
- b) Fichas de inspeções em língua estrangeira podem ser utilizadas.
- c) Utilizar bases que absorvem a vibração, isolando ou atenuando a sua força.
- d) A base deve ser muito flexível para evitar que as vibrações se prolonguem.

### 5 Para reduzir a radiointerferência, quais cuidados devem ser tomados?

- a) Usar bases com amortecedores feitos de material isolante.
- b) Afastar as fontes que geram radiofrequências dos circuitos de entrada do equipamento afetado.
- c) Usar antenas com isolamento térmico.
- d) Usar chapas de reforço.

## Capítulo 7 - Rotina de manutenção do equipamento rádio

- 1 São considerados como instruções de aeronavegabilidade continuada, exceto:**
  - a) Manuais de manutenção.
  - b) Boletins de serviço.
  - c) Certificado de aeronavegabilidade.
  - d) Diretriz de aeronavegabilidade.
  
- 2 Qual a alternativa que apresenta a principal publicação utilizada na instalação e na remoção de equipamentos?**
  - a) Catálogo de peças.
  - b) Manual de manutenção da aeronave.
  - c) Manual de instalação do equipamento.
  - d) Diagrama elétrico.
  
- 3 Qual a alternativa que apresenta o tipo de manual específico utilizado para verificação da carga elétrica do sistema da aeronave?**
  - a) Manual de operação.
  - b) Manual de revisão geral.
  - c) Manual de manutenção
  - d) Manual de diagrama elétrico.
  
- 4 Na inspeção dos compartimentos em que se encontram instalados os componentes dos sistemas de comunicação e de navegação de uma aeronave, deve-se verificar:**
  - a) O bom estado das bases onde os equipamentos foram montados.
  - b) Se as conexões estão devidamente frouxas, sem provocar maus contatos.
  - c) Se os elementos *bolting* estão fazendo a ligação correta entre os equipamentos.
  - d) Se há presença de substâncias contaminantes, como graxas, fazendo a retirada imediata desses materiais, sem a necessidade de verificar sua origem.
  
- 5 A realização de testes operacionais é importante desde que não seja necessário fazer a verificação física da instalação dos equipamentos do sistema de comunicação e navegação de uma aeronave. A afirmativa está correta?**
  - a) Não, pois, quando se faz a inspeção do sistema, não há necessidade de teste operacional.
  - b) Sim, a realização do teste operacional substitui a inspeção do sistema.
  - c) Não, o sistema de comunicações e de navegação não precisa de verificação, pois é redundante.
  - d) Não, mesmo que tenha sido feita a inspeção, é importante que seja feito o teste operacional.

# Unidade 4

## Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

### Capítulo 1 - Sistema de proteção contra gelo

- 1 A formação de gelo nas aeronaves causa sérios problemas, um dos mais preocupantes é devido:**
  - a) À pane elétrica.
  - b) Ao baixo nível de óleo no motor.
  - c) À perda da sua forma aerodinâmica.
  - d) À falha de combustível nos tanques.
  
- 2 Se a formação de gelo no bordo de ataque das asas não for evitada, qual força a aeronave perderá?**
  - a) Arrasto.
  - b) Sustentação.
  - c) Tração.
  - d) Peso.
  
- 3 O problema da formação de gelo é muito preocupante na aviação, pois afeta diretamente:**
  - a) A comodidade para o voo.
  - b) O conforto dos passageiros.
  - c) A economia das empresas.
  - d) A segurança de voo.
  
- 4 Qual(is) informação(ões) terá(rão) problemas com a formação de gelo no tubo de *pito?***
  - a) Pressões e velocidades.
  - b) Temperatura externa.
  - c) Temperatura interna.
  - d) Pressão interna.
  
- 5 Sobre as nuvens na atmosfera, qual é a mais preocupante para a aviação?**
  - a) *Cirrocumulus*.
  - b) *Cumulonimbus*.
  - c) *Alto cumulus*.
  - d) *Stratocumulus*.

## Capítulo 2 - Sistemas pneumáticos de degelo e antigelo

- 1 Qual a energia que abastece o sistema de degelo que trabalha com os *boots*?**
  - a) Hidráulica.
  - b) Elétrica.
  - c) Ar pneumático.
  - d) Hidrodinâmica.
  
- 2 O sistema de proteção contra gelo que impede a formação do gelo é chamado de:**
  - a) Degelo.
  - b) Antigelo.
  - c) Degelo e antigelo.
  - d) Pneumático e elétrico.
  
- 3 As aeronaves que possuem motores convencionais necessitam de um equipamento para o sistema de degelo com *boots*. Este equipamento é denominado:**
  - a) Válvula de sangria.
  - b) Válvula de corte.
  - c) Bomba hidráulica.
  - d) Bomba de ar.
  
- 4 Para que o sistema pneumático trabalhe de uma forma controlada, a válvula seletora envia ar para os *boots* de acordo com a informação recebida:**
  - a) Pelo controlador eletrônico.
  - b) Pela válvula de sucção.
  - c) Pela válvula de pressão.
  - d) Pela bomba de ar.
  
- 5 Todos os sistemas pneumáticos de proteção contra gelo trabalham com um valor de pressão predeterminado. Isso é controlado por meio da válvula de:**
  - a) Sucção.
  - b) Segurança.
  - c) Corte.
  - d) Sangria de ar.

## Capítulo 3 - Sistemas térmicos de antigelo

- 1 Qual a fonte de ar pneumático para o sistema de proteção contra gelo das aeronaves atuais?**
  - a) Bomba de ar instalada na caixa de acessórios.
  - b) Um compressor instalado na cauda.
  - c) Sangria de ar no compressor do motor.
  - d) Uma bomba e um aquecedor de ar.

**2 Uma propriedade física importante do ar comprimido para o sistema de antigelo é que, quando é pressurizado, ele aumenta:**

- a) A velocidade.
- b) A temperatura.
- c) A pressão estática.
- d) A pressão dinâmica.

**3 O sistema de antigelo das asas e empenagem das aeronaves modernas, geralmente, é realizado por meio:**

- a) Da resistência elétrica.
- b) De um sistema aerodinâmico.
- c) De um sistema com óleo quente.
- d) Do ar quente pressurizado.

**4 Dos componentes abaixo, qual utiliza uma resistência elétrica, a fim de evitar a formação de gelo?**

- a) Tubo de *pitot* e hélice.
- b) Tubo de *pitot* e antena HF.
- c) Hélice e antena HF.
- d) Antena VHF e radome.

**5 Os drenos dos sistemas que utilizam água devem ser aquecidos, a fim de que:**

- a) Proporcionem conforto.
- b) Não fiquem obstruídos pela ação do gelo.
- c) Mantenham-se limpos.
- d) Conservem a água purificada.

## Capítulo 4 - Sistemas de controle do gelo de para-brisas

**1 Para evitar a formação de gelo, os para-brisas são dotados de:**

- a) Formato aerodinâmico.
- b) Limpadores que funcionam constantemente.
- c) Um sistema de aquecimento por resistência elétrica.
- d) Sua superfície lisa não permite a formação.

**2 Qual a finalidade dos sensores instalados no sistema de aquecimento dos para-brisas?**

- a) Mandar informações para acender uma luz no painel.
- b) Mandar informações da temperatura ao controlador.
- c) Verificar se há formação de gelo.
- d) Manter aquecido o para-brisa.

**3 Marcar V para verdadeiro e F para falso nas alternativas abaixo e assinalar a resposta correta:**

- ( ) Durante o teste de funcionamento do sistema de aquecimento do para-brisa, quando se acionar o interruptor **TESTE**, a luz no **PMA** ficará apagada, indicando que o sistema está inoperante.
- ( ) Quando se colocar interruptor **TESTE** para o centro, a luz **INOP** acende e, no **PMA**, as indicações do sistema também se acendem.
- ( ) Quando se acionar o interruptor para **ON** e o manter o tempo necessário, o sistema vai aquecer o para-brisa se o sistema estiver em funcionamento normal.
- ( ) Um sistema funciona com a temperatura de 35 a 40 °C. Quando o sistema atinge 35 °C, a luz **ON** estará acesa, indicando que está em funcionamento e, quando a temperatura atingir 40 °C, a luz apagará, informando que está desligado.

- a) F – F – F – V.
- b) F – F – V – V.
- c) V – V – V – V.
- d) V – V – F – F.

**4 O descongelamento das janelas é feito de que forma?**

- a) Fluxo de ar aquecido.
- b) Resistência elétrica.
- c) Aplicação de um líquido anticongelante.
- d) Por meio de limpadores com álcool.

**5 Qual a importância do sistema de proteção contra gelo nos para-brisas das aeronaves?**

- a) Ficar confortável na cabine.
- b) Proporcionar visibilidade para voo seguro.
- c) Manter o para-brisa sempre bonito.
- d) Não deixar que a chuva atrapalhe a visibilidade.

## **Capítulo 5 - Sistemas de eliminação dos efeitos da chuva**

**1 Quem comanda a velocidade dos limpadores do para-brisa?**

- a) Um sistema de velocidade.
- b) Uma chave com a inscrição *wiper*.
- c) Um controlador.
- d) O painel antigelo.

**2 Além dos limpadores, qual outra forma de eliminar a incidência de chuva no para-brisa?**

- a) Somente pelo formato aerodinâmico.
- b) Por meio de um jato de ar do sistema pneumático.
- c) Antes de sair para o voo, o para-brisa é encerado.
- d) Por intermédio do sistema de aquecimento.

**3 As palhetas possuem tempo de vida previsto no manual de manutenção, o que devemos fazer quando atingir esse limite?**

- a) Limpeza com óleo apropriado.
- b) Passar silicone.
- c) Limpar com álcool.
- d) Substituir por novas.

**4 Além do motor elétrico para fazer funcionar o limpador do para-brisa, a aeronave possui também:**

- a) O hidráulico.
- b) O pneumático.
- c) O manual.
- d) O químico.

**5 Para evitar que a água acumule no para-brisa, algumas aeronaves possuem:**

- a) Cera de polimento no para-brisa.
- b) Um sistema com produto químico.
- c) Lavagem antes de decolar.
- d) Um sistema com eletricidade.

## Capítulo 6 - Sistemas de proteção contra o fogo

**1 Das alternativas a seguir, assinalar qual possui as características fundamentais de um sistema de proteção contra fogo?**

- a) Análise para planejar a extinção.
- b) Planejamento para aplicar o extintor.
- c) Detecção rápida e extinção.
- d) Análise e planejamento para obter rota de fuga.

**2 A respeito de se ter uma resposta rápida do agente extintor a um princípio de fogo:**

- a) Qualquer sistema de detecção pode ser utilizado.
- b) Um sistema de detecção ideal para cada área da aeronave.
- c) A área onde será instalado não interfere na escolha do detector.
- d) Todas as áreas são iguais para um princípio de incêndio.

**3 O detector de fumaça que utiliza uma fonte com produto radioativo é denominado:**

- a) De corrente elétrica.
- b) Fotovoltaico.
- c) Feixe de luz.
- d) Por ionização.

**4 Na região dos motores à reação, quais são os detectores geralmente utilizados?**

- a) Par térmico, fabricados de alumel + cromel.
- b) Par térmico, fabricados de ferro + constantã.
- c) Interruptor térmico, fabricados de alumel + cromel.
- d) Circuito contínuo, fabricados de ferro + constantã.

**5 Marcar V para verdadeiro e F para falso nas alternativas abaixo e assinalar a resposta correta:**

- O sistema de proteção pode causar falsos alarmes sob qualquer condição de voo.
  - A indicação de fogo ou fumaça precisa ser rápida em sua exata localização.
  - Necessidade de precisão na indicação de que o fogo foi extinto.
  - Possibilidade de testar eletricamente o sistema detector somente no local em que se encontra instalado.
  - Os detectores precisam ser resistentes a danos causados por exposição a óleo, água, vibração, temperaturas extremas e manuseio.
- a) F – V – F – V – F.
  - b) F – V – V – F – V.
  - c) V – F – V – F – V.
  - d) V – F – F – V – F.

## Capítulo 7 - Sistemas de extinção de fogo

**1 Qual era a base do sistema de extinção de incêndio utilizado nos motores convencionais, nas aeronaves mais antigas?**

- a) Nitrogênio.
- b) Pó químico.
- c) Gás carbônico.
- d) Água.

**2 No momento em que o piloto comanda a extinção de fogo em um dos motores da aeronave, outros sistemas também são cortados. Assinale qual(is) pode(m) ser esse(s) sistema(s):**

- a) Elétrico.
- b) Hidráulico.
- c) Ar condicionado.
- d) Comando de voo.

**3 Marque V para verdadeiro e F para falso nas alternativas abaixo e assinale a resposta correta:**

- ( ) A fiação do sistema detector deve ser checada regularmente quanto ao esmagamento.
- ( ) O atrito não causa danos à fiação do detector de fogo.
- ( ) Deve-se verificar se a fiação possui pedaços de fios elétricos ou outras peças metálicas em contato com os terminais dos detectores.
- ( ) A fixação da fiação é feita com braçadeiras e amortecedores de borracha, os quais precisam ser checados quanto ao ressecamento.

- a) V – V – V – V
- b) V – F – F – V
- c) V – V – F – F
- d) V – F – V – V

**4 Os extintores da classe A são utilizados, principalmente, em quais materiais?**

- a) Cesta contendo papel.
- b) Tomada elétrica.
- c) Recipiente com gasolina.
- d) Painel da cabine em fogo.

**5 Para realizar a manutenção nos sistemas de proteção contra fogo, é necessário:**

- a) Chamar o pessoal da brigada contra fogo.
- b) Consultar o manual técnico.
- c) Trocar os extintores de local.
- d) Substituir um extintor vencido por outro qualquer.

# Unidade 5

## Sistemas elétricos

### Capítulo 1 - Fios e cabos condutores

- 1 Qual a finalidade de usar conjunto de condutores na composição de fios com maior diâmetro, como os utilizados em aeronaves?**
  - a) Força.
  - b) Durabilidade.
  - c) Flexibilidade.
  - d) Resistividade.
  
- 2 Das alternativas a seguir, qual define um fio childrado?**
  - a) Versão especializada do cabo blindado.
  - b) Condutores isolados e torcidos em conjunto.
  - c) Dois ou mais condutores isolados no mesmo invólucro, com uma camada isolante.
  - d) Dois ou mais condutores isolados e cobertos com uma malha metálica para blindagem.
  
- 3 Quando há necessidade de um material com alta condutibilidade, qual é utilizado?**
  - a) Alumínio.
  - b) Cromel.
  - c) Alumel.
  - d) Prata.
  
- 4 Verificando o código de fio 2 P 215 20 N ALUM, pode-se afirmar que a bitola do fio é:**
  - a) 2.
  - b) 20.
  - c) 21.
  - d) 215.
  
- 5 O alicate de corte diagonal é uma ferramenta manual ideal para cortar fios de até que calibre?**
  - a) 0 AWG.
  - b) 2 AWG.
  - c) 4 AWG.
  - d) 8 AWG.

## Capítulo 2 - Ligação à massa

### 1 Assinalar a alternativa incorreta sobre ligação à massa:

- a) Oferece blindagem aos potenciais de radiofrequência.
- b) É um meio eficiente de prover um caminho de retorno para corrente.
- c) Oferece resistência elétrica na transmissão e recepção de sinais de rádio.
- d) Combate o acúmulo de cargas estáticas geradas pelo deslocamento da aeronave.

### 2 Quando possível, quais estruturas devem estar aterradas?

- a) Gerais.
- b) Móveis.
- c) Plásticas.
- d) Metálicas.

### 3 Qual a condição para equipamentos usarem o mesmo ponto de aterramento?

- a) A energia fornecida para os equipamentos é corrente alternada.
- b) A energia fornecida para os equipamentos origina-se de uma mesma fonte.
- c) A energia fornecida para os equipamentos é corrente alternada ou corrente contínua.
- d) A energia fornecida para os equipamentos origina-se de, pelo menos, duas fontes distintas.

### 4 Quantos fios de terra, no máximo, devem ser ligados a um pino de aterramento comum?

- a) 4.
- b) 5.
- c) 6.
- d) 7.

### 5 Qual dispositivo é utilizado para aterramento de superfícies metálicas móveis?

- a) Cabo.
- b) *Jumper*.
- c) Fio coaxial.
- d) Fio childrado.

## Capítulo 3 - Conectores

### 1 Que tipo de conectores são usados em locais que não necessitam de construção especial?

- a) Classe A.
- b) Classe B.
- c) Classe C.
- d) Classe D.

**2 Qual classe de conectores corresponde aos pressurizados?**

- a) Classe **A**.
- b) Classe **D**.
- c) Classe **C**.
- d) Classe **AB**.

**3 Aponte a alternativa que corresponde às partes de um conector:**

- a) Contatos e plugue.
- b) Plugue e receptáculo.
- c) Receptáculo e contatos.
- d) Plugue, receptáculo e contatos.

**4 No que diz respeito aos conectores, marcar a alternativa incorreta:**

- a) A classe **P** reúne os conectores tipo vaso.
- b) A classe **K** reúne os conectores à prova de fogo.
- c) Um conector elétrico é composto de duas partes.
- d) Os conectores não possuem guias e ranhuras.

**5 Um plugue ou um receptáculo pode ter que tipo de contatos?**

- a) Fixos ou móveis.
- b) Machos ou fêmeas.
- c) Isolados ou não isolados.
- d) Metálicos ou não metálicos.

## Capítulo 4 - Conduítes

**1 Complete a afirmativa: Na escolha do conduíte, primeiro deve-se medir o \_\_\_\_\_ formado pelos \_\_\_\_\_.**

- a) Ângulo - fios.
- b) Diâmetro - fios.
- c) Comprimento - fios.
- d) Ângulo/comprimento - fios.

**2 Qual é o objetivo ao se usar conduítes?**

- a) Manutenção.
- b) Proteção mecânica.
- c) Melhorar condutibilidade.
- d) Melhorar estética de uma cablagem.

**3 Assinale a alternativa correta sobre os conduítes:**

- a) Conduítes são obrigatoriamente inflexíveis.
- b) Conduítes não podem ser de material plástico.
- c) Conduítes não podem ser de material metálico.
- d) Conduítes podem ser metálicos e não metálicos.

**4 Qual deve ser a ocupação máxima que um conjunto de condutores deve ter em relação ao diâmetro do conduíte?**

- a) 60%.
- b) 70%.
- c) 80%.
- d) 90%.

**5 Qual dispositivo deve ser colocado nos terminais de um conduíte com o objetivo de travar os fios?**

- a) Braçadeiras.
- b) Amarração.
- c) Presilhas.
- d) Barbante.

## Capítulo 5 - Instalação de equipamento elétrico

**1 Os limites operacionais estão definidos em quais documentos da aeronave?**

- a) Parâmetros.
- b) Manuais técnicos.
- c) Boletins de serviço.
- d) Notas do fabricante.

**2 Qual diagrama é considerado o melhor para solução de problemas?**

- a) Esquemático.
- b) Pictorial.
- c) Blocos.
- d) Dados.

**3 Complete a afirmativa abaixo:**

**Em um diagrama pictórico, são usados(as) \_\_\_\_\_ dos componentes, em vez de \_\_\_\_\_ e blocos.**

- a) Manuais - registros.
- b) Registros- manuais.
- c) Símbolos elétricos - imagens.
- d) Imagens - símbolos elétricos.

**4 Qual barramento de uma aeronave alimenta os equipamentos e os instrumentos de operação contínua e segura?**

- a) Bateria.
- b) Fonte auxiliar.
- c) Fonte externa.
- d) Barra essencial.

**5 Com relação à instalação de equipamentos elétricos, selecionar a alternativa correta:**

- a) A barra da bateria, às vezes, é chamada de barra de emergência.
- b) Os cabos elétricos que alimentam a barra principal são de pequeno calibre.
- c) A substituição de um equipamento de maior consumo de energia não afeta as cablagens e os disjuntores.
- d) O diagrama em blocos não deve ser usado como auxílio na solução de problemas em sistemas complexos.

## Capítulo 6 - Dispositivos de proteção de circuitos

**1 Sobre os dispositivos de proteção, assinalar a alternativa correta:**

- a) Os circuitos não precisam ser protegidos contra curto-circuito.
- b) Disjuntores e fusíveis são instalados longe da fonte de energia elétrica.
- c) Interruptores e relés são um meio seguro e eficiente para ligar equipamentos.
- d) O comprimento e a área de corte transversal de um fio ou cabo não determinam a capacidade de transporte de corrente.

**2 Qual dispositivo pode ser rearmado restabelecendo a corrente de um circuito?**

- a) Fusível.
- b) Disjuntor.
- c) Fusível térmico.
- d) Fusível de retardo.

**3 Como são ligados ao circuito os fusíveis e os disjuntores?**

- a) Em série.
- b) Em paralelo.
- c) Por meio de parafusos de cobre.
- d) Por meio de parafusos de alumínio.

**4 No que diz respeito a dispositivos de proteção de circuitos, apontar a alternativa incorreta:**

- a) Interruptores são chaves que abrem e fecham circuitos.
- b) Os interruptores são constituídos de um ou mais pares de contatos.
- c) As chaves com contatos contínuos permanecem em posição quando desativadas.
- d) O procedimento de teste de um interruptor é simples e pode ser feito com ohmímetro ou voltímetro.

**5 Das alternativas a seguir, qual dispositivo é um interruptor atuado eletricamente?**

- a) Relé.
- b) Chave.
- c) Fusível.
- d) Disjuntor.

## **Capítulo 7 - Sistema de iluminação de aeronaves**

**1 Qual dispositivo produz luz a partir do aquecimento de um filamento?**

- a) LED.
- b) Estrobo.
- c) Incandescente.
- d) Eletroluminescente.

**2 Qual o significado de uma luz de advertência na cor âmbar?**

- a) Uma condição insegura existe.
- b) Uma condição anormal existe e indica perigo.
- c) Uma condição anormal existe, mas não é inseguro.
- d) Uma condição insegura existe, mas não afeta a funcionalidade.

**3 Qual sistema de luzes fornece uma indicação de direção e de manobras da aeronave?**

- a) Luzes de cúpula.
- b) Luzes de posição.
- c) Luzes anticolisão.
- d) Luzes de advertência.

**4 Marcar a alternativa correta sobre sistemas de iluminação de aeronave:**

- a) Algumas aeronaves não têm o farol de aterragem.
- b) As luzes de identificação são usadas para manobras no pátio e no estacionamento.
- c) Luzes de posição são controladas por diversos interruptores e dispositivos de proteção.
- d) Luzes anticolisão são usadas também para avisar que os motores estão em operação ou prestes a iniciar.

**5 Das alternativas abaixo, qual luz produz disparos de alta intensidade sob forma de pisca?**

- a) Luz estroboscópicas.
- b) Luz incandescente.
- c) Luz fluorescente.
- d) LED.

## Capítulo 8 - Inspeção e manutenção dos sistemas de iluminação

### 1. Em relação à manutenção dos sistemas de iluminação, pode-se afirmar que:

- a) Circuitos com alta demanda de corrente não usam relés.
- b) Deve-se medir a resistência de um componente com o circuito energizado.
- c) Normalmente, as panes comuns dos relés são seus contatos que estão queimados ou sujos.
- d) As características desejáveis e indesejáveis na fiação de aeronaves são aspectos subjetivos e de difícil interpretação.

### 2. Qual instrumento deve-se utilizar para testar um interruptor com o circuito desligado?

- a) Voltímetro.
- b) Ohmímetro.
- c) Amperímetro.
- d) Frequencímetro.

### 3. Em qual dispositivo é possível ocorrer pinos tortos ou curto-circuito entre os contatos?

- a) Relé.
- b) Disjuntor.
- c) Conector.
- d) Interruptor.

### 4. Que tipo de dispositivo elétrico é utilizado para conectar a fonte aos faróis de aterragem?

- a) Relé.
- b) Fusível.
- c) Conector.
- d) Interruptor.

### 5. Selecione a alternativa incorreta relacionada à manutenção em sistemas de iluminação:

- a) LEDs não podem ser testados com o ohmímetro.
- b) Defeitos comuns em interruptores são contatos colados.
- c) Fios elétricos perdem continuidade devido a fatores diversos.
- d) O multímetro é a principal ferramenta para checagem em sistemas elétricos.

# Unidade 6

## Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

### Capítulo 1 - Características do fluido hidráulico

- 1 Qual o sistema que combina as vantagens de pouco peso, facilidade de instalação, simplicidade de inspeção e requisitos mínimos de manutenção?**
  - a) Sistemas pneumáticos.
  - b) Sistemas elétricos.
  - c) Sistemas hidráulicos.
  - d) Sistemas mecânicos.
  
- 2 A propriedade de fluido hidráulico de produzir força em um ambiente confinado é proporcionado(a) por:**
  - a) Viscosidade.
  - b) Incompressibilidade.
  - c) Expansibilidade.
  - d) Aderência.
  
- 3 É a resistência interna ao escoamento:**
  - a) Viscosidade.
  - b) Compressibilidade.
  - c) Expansibilidade.
  - d) Fluides.
  
- 4 A viscosidade de um fluido tem relação com a(o):**
  - a) Pressão.
  - b) Temperatura.
  - c) Tempo de uso.
  - d) Tipo de material em que é armazenado.
  
- 5 É a habilidade do fluido em resistir à oxidação e à deterioração por longos períodos:**
  - a) Instabilidade de fluides.
  - b) Estabilidade de fluides.
  - c) Instabilidade química.
  - d) Estabilidade química.

## Capítulo 2 - Tipos de fluidos hidráulicos

**1 Quais são os compostos do fluido hidráulico à base de vegetal?**

- a) Óleo de mamona.
- b) Álcool e óleo de banana.
- c) Óleo de mamona e álcool.
- d) Benzol e álcool.

**2 Qual o fluido que possui resistência ao fogo e, por isso, é utilizado em aeronaves turboélice e nas que possuem motores a pistão de alta performance?**

- a) Fluido hidráulico à base de vegetal.
- b) Fluido hidráulico à base de mineral.
- c) Fluido hidráulico à base de fosfato éster.
- d) Fluido hidráulico à base de petrolato de zinco.

**3 Qual o procedimento correto para realizar caso o sistema hidráulico de uma aeronave seja abastecido com o tipo de fluido errado?**

- a) Drenar o sistema e substituir o fluido pelo correto.
- b) Drenar o sistema imediatamente, lavá-lo com produto especificado e manter o selo de acordo com as especificações do fabricante.
- c) Substituir o fluido na próxima inspeção.
- d) Inutilizar os atuadores e os filtros.

**4 Qual substância a seguir não é afetada por fluido hidráulico à base de fosfato éster:**

- a) Vinil.
- b) Linóleo.
- c) Cádmiio.
- d) Asfalto.

**5 Nos sistemas hidráulicos das aeronaves, o que é projetado para reter e remover partículas estranhas visíveis a olho nu?**

- a) Filtros.
- b) Cilindros.
- c) Retentores.
- d) Feltros.

## Capítulo 3 - Filtros

- 1 Com o desgaste normal das válvulas seletoras, das bombas e de outros componentes do sistema é comum a suspensão de partículas. O que permite retirar essas substâncias?**
  - a) Reservatório previsto nos manuais.
  - b) Fluido hidráulico de baixa viscosidade.
  - c) Fluido hidráulico de alta viscosidade.
  - d) Filtro previsto nos manuais.
  
- 2 As modernas aeronaves usam filtros do tipo em linha formados por três unidades básicas:**
  - a) Conjunto da cabeça, corpo e elemento.
  - b) Pinos indicados, corpo e elemento.
  - c) Conjunto da cabeça, corpo e copo e elemento.
  - d) Conjunto da cabeça, corpo e elemento.
  
- 3 O elemento micrônico de um filtro hidráulico é projetado para prevenir a passagem de sólidos maiores que:**
  - a) 100 micrones.
  - b) 10 micrones.
  - c) 1 micrones.
  - d) 11 micrones.
  
- 4 A \_\_\_\_\_ é um método simples que se caracteriza, principalmente, pela limpeza do filtro e do elemento filtrante ou da substituição deste último.**
  - a) Substituição do filtro.
  - b) Manutenção da bomba hidráulica.
  - c) Manutenção do filtro.
  - d) Substituição do regulador de pressão.
  
- 5 Um dos principais atributos dos filtros hidráulicos na linha de produção industrial e na aeronáutica é sua capacidade de impedir que o óleo:**
  - a) Seja contaminado.
  - b) Seja compressível.
  - c) Produza energia.
  - d) Aumente a temperatura.

## Capítulo 4 - O sistema hidráulico básico

- 1 O sistema hidráulico é responsável por gerar, controlar e aplicar a potência hidráulica, unindo a qualidade e a segurança com o meio mais eficiente de transmissão de energia, que utiliza:**
  - a) O fluido como transmissor de força.
  - b) Fluido hidráulico combustível.
  - c) O reservatório como filtro.
  - d) O gás hidráulico combustível.
  
- 2 Assinalar a alternativa correta referente à função do reservatório hidráulico em um sistema:**
  - a) Produzir o aquecimento, de forma a suprir as necessidades do sistema.
  - b) Evitar a cavitação do filtro.
  - c) Prover espaço para expansão térmica e, em alguns sistemas, proporcionar a sangria.
  - d) Prover fluido aquecido para melhorar o atrito das unidades do sistema hidráulico.
  
- 3 Os sistemas hidráulicos, conforme as suas características de funcionamento, podem ser denominados como:**
  - a) Sistema hidráulico de pressão constante.
  - b) Sistema hidráulico de centro-fechado.
  - c) Sistema hidráulico de urgência.
  - d) Sistema hidráulico de pressão variada.
  
- 4 O sistema \_\_\_\_\_ é o responsável pela transformação da pressão hidráulica em força mecânica, em uma aeronave, para o acionamento de mecanismos. Os seus componentes compreendem desde o reservatório hidráulico até os cilindros atuadores e é dividido em duas partes: sistema central e subsistemas hidráulicos.**
  - a) Hidráulico de pressão constante.
  - b) Hidráulico de centro-fechado.
  - c) Hidráulico de urgência.
  - d) Hidráulico principal.
  
- 5 O objetivo desse sistema é operar em emergência o abaixamento do trem de pouso e dos *flaps* das asas de uma aeronave.**
  - a) Sistema hidráulico de pressão constante.
  - b) Sistema hidráulico de centro-fechado.
  - c) Sistema hidráulico de emergência.
  - d) Sistema hidráulico principal.

## Capítulo 5 - Componentes de um sistema hidráulico

**1 É um componente externo de um reservatório hidráulico:**

- a) Aletas.
- b) Filtro.
- c) Deflectores.
- d) Visor.

**2 Qual o tipo de bomba hidráulica que entrega uma quantidade fixa de fluido por revolução, seja qual for a pressão solicitada?**

- a) Bomba hidráulica de pressão variável.
- b) Bomba hidráulica de fluxo constante.
- c) Bomba manual.
- d) Bomba mecânica.

**3 Vários são os mecanismos internos de bombeamento usados em bombas hidráulicas. São exemplos desses mecanismos:**

- a) Engrenagens, rotores, palhetas e palito de rombudo.
- b) Engrenagens, rotores, hélice e pistões.
- c) Hélice, rotores, palhetas e pistões.
- d) Engrenagens, rotores, palhetas e pistões.

**4 Consiste, essencialmente, em um alojamento contendo um revestimento estacionário excêntrico, um rotor de engrenagem interno com cinco dentes largos de pequena altura, uma engrenagem motora em forma de espigão com quatro dentes estreitos e uma capa de bomba que contém duas aberturas de forma crescente.**

- a) Bomba do tipo engrenagem.
- b) Bomba do tipo rotor.
- c) Bomba do tipo pistão.
- d) Regulador da pressão.

**5 Dispositivos usados nos sistemas hidráulicos, que são pressurizados pelas bombas do tipo de fluxo constante. Sua função é controlar a saída da bomba para manter a pressão de operação do sistema dentro de uma faixa predeterminada e, também, permitir a bomba girar sem resistência (período quando a bomba não está sob carga).**

- a) Filtros.
- b) Reguladores de pressão.
- c) Medidores de pressão.
- d) Válvulas de alívio.

## Capítulo 6 - Caracterização dos sistemas de trens de pouso

- 1 Muitas vezes, devido às necessidades operacionais e regionais, as aeronaves podem necessitar pousar e decolar no meio aquático ou terrestre. Nesse sentido, de acordo com o trem de pouso em uso, as aeronaves podem ser classificadas em:**
  - a) Hidroaviões (com trem de pouso).
  - b) Aviões terrestres (com flutuadores).
  - c) Aviões anfíbios (flutuadores).
  - d) Aviões anfíbios (flutuadores e trem de pouso).
  
- 2 São unidades hidráulicas que compõem o conjunto do trem de pouso. São abastecidas com óleo hidráulico e nitrogênio, e, em conjunto com outros componentes, suportam o peso da aeronave no solo, absorvendo efeitos prejudiciais à estrutura, dissipando as tremendas cargas de choque nos pousos.**
  - a) Pneus.
  - b) Amortecedores.
  - c) Bombas mecânicas.
  - d) Acumuladores.
  
- 3 Está fixado nos cilindros superior e inferior dos amortecedores para manter o correto alinhamento da roda:**
  - a) Braço de torque.
  - b) Mancais.
  - c) Suportes.
  - d) Pistões.
  
- 4 Durante a retração do trem de pouso do nariz, um mecanismo de centralização reúne a roda por meio de:**
  - a) Ressaltos internos de centralização.
  - b) Braço de torque.
  - c) Suportes.
  - d) Mancais.
  
- 5 Qual a alternativa que indica a causa das vibrações sentidas na cabine, no painel de instrumentos e na estrutura das aeronaves?**
  - a) A roda do trem dianteiro está balanceada e o amortecedor de vibração não está funcionando a contento.
  - b) O amortecedor do trem de pouso e o amortecedor de vibração não estão funcionando a contento.
  - c) A roda do trem dianteiro está desbalanceada e o amortecedor de vibração não está funcionando a contento.
  - d) A roda do trem principal está desbalanceada e o pneu não está funcionando a contento.

## Capítulo 7 - Sistemas de freio

### 1 Os sistemas de freio devem proporcionar força suficiente para parar a aeronave em uma razoável distância. Além disso, devem permitir:

- a) Que a aeronave fique estática durante os giros de manutenção do motor auxiliar de partida.
- b) Que seja realizado um teste e uma operação do motor.
- c) Que seja realizado um teste de operação do *flap*.
- d) Que seja realizado um teste do trem de pouso.

### 2 Consiste em uma luva e um carretel instalados em um corpo. O carretel se move dentro da luva, abrindo ou fechando tanto a passagem de pressão quanto o retorno para a linha do freio:

- a) Válvula de controle de freio tipo carretel deslizante.
- b) Válvula de controle de freio tipo esfera.
- c) Cilindros redutores.
- d) Bomba hidráulica do tipo pistão.

### 3 Freios que consistem em um suporte, quatro discos rotativos chamados de rotores, três discos estacionários chamados de estatores, um cilindro atuador de forma anular, um ajustador automático e vários componentes menores:

- a) Freios monodiscos.
- b) Freios de duplo disco.
- c) Freios de múltiplos discos.
- d) Freios de rotor segmentado.

### 4 Procedimento necessário sempre que qualquer serviço de manutenção for executado e as tubulações dos freios sejam desconectadas, ou quando for notada anormalidade na aplicação deles:

- a) Sangria dos freios.
- b) Inspeção dos freios de emergência.
- c) Troca da mangueira de freio.
- d) Troca dos anéis feltros de vedação.

### 5 São métodos de sangria dos freios:

- a) Sangria de cima para baixo (método por pressão).
- b) Sangria de baixo para cima (método por gravidade).
- c) Sangria utilizando os pedais e o manete de comando do piloto automático (método por pressão).
- d) Sangria de baixo para cima (método por pressão).

## Capítulo 8 - Rodas e pneus de aeronaves

- 1 Permitem a montagem dos pneus, que absorvem o choque na aterrissagem em conjunto com os trens de pouso, suportam a aeronave no solo e auxiliam o controle no solo durante o táxi e a decolagem:**
  - a) Os eixos do trem de pouso.
  - b) As rodas.
  - c) Os suportes e mancais.
  - d) Os braços de torque.
  
- 2 Oferecem um amortecimento de ar que ajuda a absorver os impactos dos pousos e das decolagens. Por esse motivo, são mais fortes e resistentes e feitos para suportar altas velocidades e pesadíssimas cargas estáticas e dinâmicas.**
  - a) Lonas.
  - b) Câmara de ar.
  - c) Amortecedores.
  - d) Pneus.
  
- 3 As pressões dos pneus devem ser checadas diariamente. Para esse tipo de inspeção, deve-se utilizar:**
  - a) Um medidor seguro, de preferência tipo mostrador.
  - b) Medidor inexato.
  - c) Regulador de pressão.
  - d) Um redutor de pressão.
  
- 4 Os pneus devem ser completamente \_\_\_\_\_ antes da desmontagem e, após isso, deve-se retirar o núcleo das válvulas, porque a pressão de ar dentro da câmara ou do pneu poderia causar a ejeção do núcleo da válvula, como um projétil, e provocar ferimentos.**
  - a) Inspeccionados.
  - b) Lubrificados.
  - c) Enchidos.
  - d) Esvaziados.
  
- 5 É a causa da perda da pressão do ar em pneus sem câmara:**
  - a) Talões danificados.
  - b) Perfeito assentamento dos talões.
  - c) Temperatura ambiente baixa.
  - d) Pneus sem a presença de cortes e furos.

## Capítulo 9 - Estocagem e reparos de pneus e câmaras de ar para aeronaves

**1 Quando recebidos do fabricante, os pneus e as câmaras de ar devem ser inspecionados a fim de verificar se existem danos devido ao(à):**

- a) Transporte e uso.
- b) Transporte e manuseio.
- c) Uso.
- d) Inflação incorreta.

**2 Qual o cuidado necessário com o local de armazenagem dos pneus?**

- a) A sala de estocagem deve ser clara com luz artificial.
- b) A sala de estocagem deve ser escura ou pelo menos livre da iluminação direta do sol.
- c) A sala deve ter janelas para ventilação e possibilidade de entrada de luz durante o dia.
- d) Nas janelas da sala, deve ser dada uma cobertura de tinta azul ou cobertura com plástico preto para prevenir a difusão de luz durante o dia.

**3 É o recondicionamento de um pneu pela restauração da banda de rodagem ou restauração de uma ou ambas as laterais.**

- a) Recauchutagem.
- b) Reciclagem.
- c) Descarte.
- d) Restruturação.

**4 Pneus que tiveram achatamento total ou parcial, devido ao derretimento ou à falha do dispositivo sensor da roda, devem ser \_\_\_\_\_, até mesmo se não houver evidências visíveis de danos no interior ou exterior dos pneus inspecionados.**

- a) Descartados.
- b) Recauchutados.
- c) Reciclado.
- d) Inflados.

**5 Os pneus não serão recauchutáveis quando:**

- a) As seis lonas ou mais foram muito usadas, atingindo mais que um corpo de lona e o desgaste da borracha atingir até a segunda camada de lona da estrutura do pneu.
- b) Houver menos 30% de permanência de vida de rodagem.
- c) Houver desgaste de 80% ou mais de profundidade total de sua rodagem.
- d) Houver uma ou mais marcas de achatamento, severas o bastante para causar uma condição de desbalanceamento.

## Capítulo 10 - Manuseio e operações com pneus

### 1 Um pneu é composto, essencialmente, de três materiais principais:

- a) Ferro, borracha e tecido.
- b) Aço, borracha e plástico.
- c) Aço, borracha e tecido.
- d) Arame, borracha e tecido.

### 2 Uma das formas de reduzir pequenos danos aos pneus durante o taxiamento é:

- a) Inspeccionar regularmente todas as áreas pavimentadas, a fim de eliminar objetos estranhos ou, em inglês, *foreign object damage* (FOD).
- b) Usar ar comprimido no abastecimento do pneu.
- c) Fazer um longo deslocamento.
- d) Usar os freios nos giros, curva, no deslocamento de solo.

### 3 Devido ao uso severo dos freios, é comum o desgaste em pontos específicos, que poderá causar:

- a) O desbalanceamento e a consequente necessidade de recapeamento ou troca prematura, caracterizando uma reciclagem.
- b) O balanceamento e a consequente necessidade de descarte do pneu.
- c) O balanceamento e a consequente necessidade de troca prematura.
- d) O desbalanceamento e a consequente necessidade de troca da câmara de ar.

### 4 Lâminas d'água presentes em pistas de pouso e decolagem representam perigo às operações nos aeródromos, devido à ocorrência de um fenômeno conhecido como:

- a) Hidroplanagem.
- b) Recauchutagem.
- c) Laminagem.
- d) Hidroplanalto.

### 5 Como alternativa de melhoramento do escoamento da água, muitos dos principais aeroportos em todo o mundo têm modificado suas superfícies de pista. Como acontece essa modificação?

- a) São inseridas algumas nervuras em formato da letra (V) no centro da banda de rodagem.
- b) São cortados sulcos transversais, também chamados de groove, nas superfícies da pista.
- c) São prevenidos alguns danos aos pneus causados por pista com sulcos.
- d) São provocados sulcos nas superfícies da pista.

## Capítulo 11 - Reparos de câmaras de ar

### 1 As câmaras de ar são feitas de um composto constituído de:

- a) Borracha natural.
- b) Tecido.
- c) Plástico.
- d) Poliéster.

### 2 Uma câmara de ar para pneu aeronáutico durante a armazenagem deve ser mantida:

- a) Fora da embalagem original até a sua entrada em serviço para evitar qualquer deterioração devido a fungos.
- b) Dentro da embalagem original até a sua entrada em serviço, para evitar qualquer deterioração por meio da exposição a elementos ambientais.
- c) Inflada em temperatura ambiente.
- d) Inflada na câmara escura.

### 3 Que ação reduz a abrasão e as chances de rugas ou dobras quando a câmara de ar está dentro dos pneus?

- a) Pulverizar com talco em volta da câmara de ar.
- b) Inflar a câmara de ar antes da montagem.
- c) Cobrir com lubrificante vegetal o interior do pneu.
- d) Manter a pressão correta de operação.

### 4 Encontrar um vazamento de inflação é geralmente simples. O primeiro passo é:

- a) Verificar se a câmara de ar está furada.
- b) Verificar se a válvula está apertada.
- c) Verificar se a câmara apresenta dobras.
- d) Verificar se o pneu de ar está furado.

### 5 É uma razão que acarreta perda de pressão em uma câmara de ar:

- a) Furo no pneu.
- b) Pneu com pelo menos 30% de permanência de vida de rodagem.
- c) Pneu com desgaste de 80% ou mais de profundidade total de sua rodagem.
- d) Um núcleo de válvula de abastecimento em mau funcionamento.

## Capítulo 12 - Pneus com inflação lateral

### 1 É um pneu especial que não usa a válvula no cubo da roda para enchimento:

- a) Pneus com inflação diagonal.
- b) Pneus com inflação por válvula de enchimento.
- c) Pneus com inflação eletrônica.
- d) Pneus com inflação lateral.

- 2** Dentre os vários tipos de pneus encontrados em uso na aviação, os fabricados com uma válvula na própria parede lateral eliminam a necessidade de:
- a) Usinar a roda.
  - b) Usinar o pneu.
  - c) Usar câmara de ar.
  - d) Abastecer com nitrogênio.
- 3** Gás recomendado no abastecimento dos pneus que possuem válvula na própria parede lateral, uma vez que perdem menos pressão com o passar do tempo.
- a) Oxigênio.
  - b) Hidrogênio.
  - c) Nitrogênio.
  - d) Ar ambiente.
- 4** O enchimento do pneu com válvula na própria parede lateral é executado inserindo-se um (a) \_\_\_\_\_ por meio de uma válvula.
- a) Calibrador.
  - b) Bico de enchimento.
  - c) Agulha.
  - d) Coletor.
- 5** A pressão dos pneus que possui válvula na parede lateral deve ser checada com:
- a) Instrumento de precisão, manômetros.
  - b) Calibrador.
  - c) Agulha.
  - d) Bico de enchimento especial.

## Capítulo 13 - Inspeção de pneu

- 1** Em uma inspeção da banda de rodagem, é necessário remover obrigatoriamente pedaços de vidro, pedras, metais ou outros objetos desconhecidos que possam estar incrustados na banda de rodagem ou que tenham penetrado nos cordonéis. Para essa operação, deve-se usar:
- a) Um furador pontiagudo ou uma chave de fenda.
  - b) Somente uma chave de fenda.
  - c) Somente um furador.
  - d) Um furador rombudo ou uma chave de fenda.

**2 Se na inspeção de ambas as laterais forem encontrados desgastes, rachaduras radiais, cortes ou protuberâncias, e se os cordonéis estiverem expostos, o pneu deve ser:**

- a) Removido do serviço.
- b) Recauchutado.
- c) Reciclado.
- d) Reaproveitado utilizando câmara de ar.

**3 É necessário inspecionar os pneus para verificar se há evidências de mau alinhamento das rodas. Caso haja, eles devem ser desmontados e:**

- a) Removidos do serviço.
- b) Recauchutados.
- c) Virados e remontados na ordem de uso.
- d) Reaproveitados utilizando câmara de ar.

**4 Algumas rodas de aeronaves têm um dispositivo capaz de sentir temperaturas elevadas e baixar a pressão de ar para evitar que o pneu estoure ou agarre na roda. Este dispositivo é denominado(a):**

- a) Calibrador.
- b) Par térmico.
- c) Agulha.
- d) Fusível térmico.

**5 Um pneu inflado com pressão acima do previsto terá desgaste mais acentuado:**

- a) Nos cordéis.
- b) Nas laterais.
- c) Do sulco central da banda de rodagem do que dos sulcos laterais.
- d) Nos sulcos laterais.

## Capítulo 14 - Sistema de antiderrapagem

**1 O sistema antiderrapagem visa, primariamente, a:**

- a) Proporcionar maior segurança e controlar a derrapagem ou aplicar uma proteção contra ela, evitando o travamento das rodas e a possibilidade de um descontrole da aeronave.
- b) Reduzir a velocidade da aeronave após o toque na pista.
- c) Trocar a energia do movimento para energia térmica.
- d) Friccionar as peças mecânicas do sistema de freios.

**2 O gerador do controle de derrapagem tem como função:**

- a) Reduzir a velocidade de rotação da roda.
- b) Sentir as variações da velocidade da roda.
- c) Aumentar a velocidade de rotação da roda.
- d) Travar as rodas.

- 3 Pode ser considerado (a) o cérebro do sistema, pois interpreta o sinal vindo do gerador do controle de derrapagem e sente as mudanças da intensidade do sinal:**
- a) Gerador do controle de derrapagem.
  - b) Válvulas de controle de derrapagem.
  - c) Relé de controle de derrapagem.
  - d) Caixa de controle de derrapagem.
- 4 O circuito de proteção no toque com a pista evita que os freios sejam aplicados:**
- a) Durante o pouso, caso os pedais de freio sejam pressionados, ação que pode ocorrer de forma involuntária ou inadvertida ao controlar o avião.
  - b) Para que as rodas estejam travadas quando tocarem a pista de pouso.
  - c) Durante a decolagem.
  - d) Durante os deslocamentos no pátio.
- 5 Uma das condições que precisa existir antes das válvulas de controle de derrapagem é permitir a aplicação do freio, a fim de que a caixa de controle envie o sinal apropriado para o solenoide da válvula de controle de derrapagem. Para isso, o gerador do controle de derrapagem da roda deve sentir a velocidade da roda acima:**
- a) De 15 a 30 mph.
  - b) De 35 a 40 mph.
  - c) De 15 a 20 mph.
  - d) De 25 a 30 mph.

## Capítulo 15 - Manutenção dos sistemas de trem de pouso

- 1 Nas inspeções dos trens de pouso, geralmente, estão incluídas as verificações:**
- a) Do vazamento de óleo do motor dos amortecedores de choque.
  - b) Da restrição de vibração na roda do pneu principal dos amortecedores de vibração.
  - c) Da instalação correta das travas de segurança de voo.
  - d) Do funcionamento do indicador de posição do trem de pouso, das luzes e buzinas de alarme.
- 2 Para efetuar o serviço de lubrificação, é necessário seguir os manuais de manutenção, que determinarão os tipos de lubrificante requeridos para os pontos de fricção e desgaste do trem de pouso. Esse lubrificante será aplicado com:**
- a) Os polegares ou engraxadeira do tipo manual ou automática.
  - b) As mãos ou engraxadeira do tipo eletrônica.
  - c) As mãos ou engraxadeira do tipo manual ou automática.
  - d) Somente as mãos.

**3 O rolamento que apresentar \_\_\_\_\_ não poderá ser colocado em serviço.**

- a) Lascas, rachaduras ou superfícies quebradas.
- b) Pouco desgaste.
- c) Falta de lubrificação.
- d) Descoloração causada por resfriamento.

**4 Na ajustagem e no alinhamento do trem de pouso, algumas vezes, é necessário regular interruptores, portas, articulações, travas de trens de pouso para a correta operação de portas e trens de pouso. Da mesma forma, se os cilindros atuadores dos trens de pouso forem trocados, o ajuste:**

- a) Do comprimento deve ser feito e checado.
- b) Da pressão deve ser feito e checado.
- c) Da posição deve ser feito e checado.
- d) Do comprimento deve ser feito, somente.

**5 É possível fazer, especificamente, por meio dos manuais técnicos:**

- a) A correta retração e extensão das pernas de força do trem de pouso.
- b) A checagem das buzinas de alarme do piloto automático.
- c) A pintura e a corrosão das portas do trem de pouso principal e auxiliar.
- d) A corrosão das hastes de ligação e fixação.

## Unidade 7

### Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

#### Capítulo 1 - Sistemas pneumáticos

**1 O componente do motor convencional, que é mecanicamente acionado pelo motor para comprimir mais ar e alimentar o sistema pneumático, é denominado:**

- a) Supercarregador.
- b) Turbocarregador.
- c) Compressores.
- d) Centrífugo.

- 2 Utiliza o ar de escape do sistema de exaustão do motor para girar uma turbina que se encontra no mesmo eixo de um compressor, a fim de comprimir mais ar para o sistema de pressurização:**
- a) Supercarregador.
  - b) Turbocarregador.
  - c) Compressores.
  - d) Centrífugo.
- 3 Todos os sistemas das alternativas utilizam o ar do sistema pneumático, exceto:**
- a) Sistema de água potável, sistema de ar condicionado, sistema de proteção antigelo.
  - b) Sistema de pressurização, sistema de ar condicionado, sistema de pressurização do reservatório hidráulico.
  - c) Sistema de partida do motor a reação, sistema de ar condicionado do tipo *freon*.
  - d) Sistema de pressurização e sistema de proteção contra gelo (*de-ice*).
- 4 Qual válvula do sistema pneumático tem a função de diminuir a velocidade de operação de um atuador?**
- a) Válvula de alívio de pressão.
  - b) Válvula unidirecional.
  - c) Restritor.
  - d) Válvula seletora.
- 5 Qual sistema pneumático tem um faixa de operação entre 1.000 e 3.000 psi?**
- a) Baixa pressão.
  - b) Alta pressão.
  - c) Média pressão.
  - d) Intermediária pressão.

## Capítulo 2 - Sistema de ar condicionado

- 1 Em um sistema de resfriamento de ciclo a vapor, onde é obtido o ar de resfriamento para o condensador?**
- a) Do compressor do motor.
  - b) Ar ambiente.
  - c) Ar pressurizado da cabine.
  - d) Do evaporador.

**2 Qual componente pode ser danificado se o líquido refrigerante for introduzido no seu interior?**

- a) Compressor.
- b) Condensador.
- c) Evaporador.
- d) Trocador de calor.

**3 Como pode ser determinado se um sistema por ciclo a vapor é carregado com a correta quantidade de *freon*?**

- a) Bolhas de ar no visor de indicação desaparecem.
- b) A carga do compressor sobe e RPM diminui.
- c) Bolhas de ar aparecem no visor.
- d) O sistema esfria.

**4 Qual componente do sistema de ciclo a vapor é responsável pela mudança do gás para o estado líquido?**

- a) Condensador.
- b) Evaporador.
- c) Válvula de expansão.
- d) Compressor.

**5 Qual componente do sistema de ar condicionado do tipo ciclo a *freon* é responsável pela mudança do refrigerante do estado líquido para o estado gasoso?**

- a) Condensador.
- b) Evaporador.
- c) Válvula de expansão.
- d) Compressor.

## Capítulo 3 - Sistema de pressurização

**1 Como a pressão da cabine de uma aeronave em voo é controlada?**

- a) Pelo controle da razão de ar entrando na cabine.
- b) Pela inflação dos selos das portas e recirculando o ar condicionado da cabine.
- c) Pelo controle da razão a qual o ar deixa a cabine.
- d) Pela temperatura do ar externo.

**2 Qual a função da válvula *dump* na aeronave com a cabine pressurizada?**

- a) Liberar toda pressão positiva no interior da cabine.
- b) Liberar a pressão negativa diferencial.
- c) Liberar a pressão em excesso acima do diferencial máximo.
- d) Liberar a pressão que controla a válvula de saída de fluxo.

**3 Diferença entre a pressão do ar dentro da cabine e a pressão do ar do lado externo do avião:**

- a) Pressão diferencial.
- b) Altitude da cabine.
- c) Razão de subida da cabine.
- d) Grau de pressurização.

**4 Se a razão de subida da cabine é muito alta, para qual posição a válvula de controle de saída de fluxo deverá ser ajustada?**

- a) A válvula de saída de fluxo deverá ser ajustada para fechar vagarosamente.
- b) A válvula de saída de fluxo deverá ser ajustada para fechar rapidamente.
- c) A válvula de saída de fluxo deverá ser ajustada para posição intermediária entre aberta e fechada.
- d) A válvula de saída de fluxo deverá ser ajustada para posição totalmente aberta.

**5 Como se define a pressão de ar presente no interior da cabine do avião?**

- a) Pressão diferencial.
- b) Altitude da cabine.
- c) Razão de subida da cabine.
- d) Grau de pressurização.

## Capítulo 4 - Sistema de oxigênio

**1 Qual sistema utiliza um gerador químico de oxigênio?**

- a) Sistema da tripulação.
- b) Sistema dos passageiros.
- c) Sistema dos passageiros e tripulação técnica.
- d) Sistema de emergência.

**2 Qual a pressão que, geralmente, o cilindro de oxigênio do *cockpit* armazena?**

- a) 1.800 a 1.850 psi.
- b) 2.000 a 2.100 psi
- c) 1.900 a 1.950 psi.
- d) 1.850 a 1.900 psi.

**3 Qual item a seguir está incorreto em relação aos cuidados na manutenção do sistema de oxigênio?**

- a) Apertar as conexões para o valor de torque recomendado pelo manual de manutenção.
- b) Parar o serviço nas condições de chuva com raios.
- c) Abrir a válvula manual de corte no cilindro rapidamente para evitar superaquecimento.
- d) Nunca usar óleo lubrificante padrão para lubrificar as roscas das conexões do sistema de oxigênio.

**4 No caso de um alívio de pressão do sistema de oxigênio do cockpit, qual será a indicação para a manutenção?**

- a) O alívio de pressão é indicado pelo disco verde em seu lugar.
- b) O alívio de pressão faz o disco verde mudar de cor para vermelho.
- c) A ausência do disco verde no lugar.
- d) O disco verde fica rompido.

**5 Qual tipo de regulador libera apenas oxigênio durante a respiração, na fase de inspirar o ar para os pulmões?**

- a) Fluxo de oxigênio contínuo.
- b) Fluxo de oxigênio por demanda.
- c) Fluxo de oxigênio geral.
- d) Fluxo de oxigênio rápido.

## Unidade 8

### Soldagem

#### Capítulo 1 - União dos metais

**1 A união de metais é o procedimento capaz de unificar partes de um mesmo metal ou metais distintos, conferindo ao produto final resistência mecânica. Pode-se afirmar que essa tecnologia:**

- a) Foi desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial para fabricação de armas.
- b) Está em constante evolução, sendo empregada somente em fabricação de peças.
- c) Já é conhecida pela humanidade desde a antiguidade e evolui constantemente.
- d) Foi desenvolvida na década de 1980 para fabricação e manutenção de aeronaves.

**2 A soldagem é o processo de união de materiais, principalmente metais, pela aplicação de pressão ou por fusão, com ou sem o uso de material de adição. Que tipo de força de ligação ocorre entre as superfícies?**

- a) Microscópicas, a união da junta é dada pelas forças de atrito entre as superfícies e pela resistência ao cisalhamento no caso de rebiteagem e parafusagem.
- b) Microscópicas, a união ocorre quando existe uma aproximação das moléculas dos metais envolvidos até uma distância suficientemente pequena para ocorrer ligações químicas entre os átomos e as moléculas.
- c) Macroscópicas, a união ocorre entre as cadeias de moléculas do metal.
- d) Macroscópicas, a união se dá pela fusão das ligas metálicas.

- 3 Existem dois grandes grupos de solda: por pressão e por fusão. Os processos de soldagem por fusão são os mais utilizados na fabricação e manutenção de aeronaves. Selecionar a alternativa que contém somente métodos de soldagem por fusão.**
- a) Ultrassom, laser, TIG e MIG.
  - b) Oxiacetilênica, difusão, MAG e eletrodo revestido.
  - c) MIG, TIG, fricção e ultrassom.
  - d) MAG, TIG, eletrodo revestido e laser.
- 4 Quando uma peça é soldada por fusão, recebe um grande aporte de calor, sofrendo dilatação e contração térmica. Apontar a alternativa que indica os principais defeitos causados pelas intensas variações de calor na soldagem por fusão.**
- a) Distorções e tensões internas.
  - b) Deformações elásticas e plásticas.
  - c) Escória e buracos.
  - d) Fragilidade da junta e escória.
- 5 Reduzir a quantidade de calor fornecido à junta, diminuir o volume de material depositado e utilizar metal de deposição com menor resistência mecânica são medidas utilizadas para minimizar qual tipo de problema causado na junta formada por fusão?**
- a) Buracos.
  - b) Tensões residuais.
  - c) Respingos.
  - d) Derretimento.

## Capítulo 2 - Soldagem oxiacetilênica

- 1 A soldagem oxiacetilênica é realizada pela fusão das bordas do metal, podendo ou não utilizar material de adição. O calor de fusão é fornecido por uma chama resultante da queima de um gás. Das alternativas a seguir, assinalar a que não representa uma vantagem dessa técnica de soldagem.**
- a) Não necessitar de energia elétrica.
  - b) Poder ser utilizada para chapas finas.
  - c) Poder realizar soldas em todas as posições.
  - d) Chama muito concentrada que afeta termicamente áreas reduzidas.

**2 Os gases utilizados na soldagem oxiacetilênica são armazenados, normalmente, em cilindros especiais. O transporte para a estação de trabalho é realizado por meio de tubulações e mangueiras. Que tipo de material não pode ser utilizado na canalização de gás acetileno?**

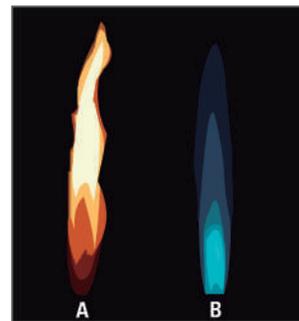
- a) Cobre.
- b) Borracha.
- c) Ferro galvanizado.
- d) Aço preto.

**3 Na soldagem oxiacetilênica, existe um equipamento utilizado para controlar a vazão dos gases e dosar a mistura. Ele também é responsável por controlar o tipo de chama. Qual o nome desse equipamento?**

- a) Regulador de pressão.
- b) Tocha.
- c) Bico.
- d) Maçarico.

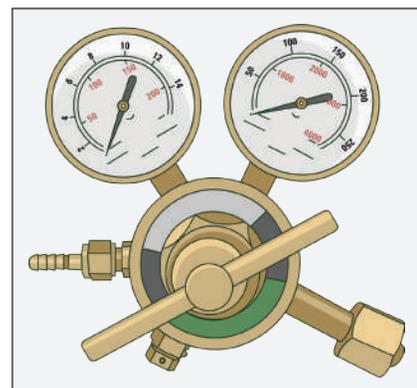
**4 Podem-se observar, na figura a seguir, dois tipos de chamas. É correto afirmar que:**

- a) A chama A é oxidante e possui menor temperatura que a chama B.
- b) A chama A é redutora com maior temperatura que a chama B.
- c) A chama B é oxidante com maior temperatura que a chama A.
- d) A chama B é neutra com menor temperatura que a chama A.



**5 O regulador de pressão é composto por uma válvula de segurança e dois manômetros. O primeiro manômetro é para alta pressão e indica a pressão do cilindro de gás. O segundo manômetro, de baixa pressão, indica a pressão de trabalho na saída que leva o gás para o maçarico pela mangueira. Os dois cilindros estão próximos e cheios, um com acetileno e o outro com oxigênio. Eles também estão equipados com regulador de pressão. Com base nesses dados, qual dos dois indicará maior pressão no manômetro do cilindro?**

- a) O regulador de pressão do cilindro de acetileno.
- b) O regulador de pressão do cilindro de oxigênio.
- c) Os dois reguladores indicarão a mesma pressão.
- d) É impossível saber qual indicará a maior pressão.



## Capítulo 3 - Soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido

**1 Na soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido, a união dos metais ocorre por fusão. Não existe contato do eletrodo com o metal base. Qual é a fonte de calor responsável por criar a poça de fusão?**

- a) Uma chama de alta temperatura.
- b) Um feixe de radiação de alta potência.
- c) Uma descarga elétrica provocada pelo material de adição.
- d) Uma descarga elétrica provocada por um arco elétrico.

**2 A soldagem com eletrodo revestido adapta-se a materiais de diversas espessuras e a qualquer posição de soldagem. Mesmo assim, é pouco utilizada quando se necessita de cordão de solda limpo. Qual é a maior desvantagem dessa técnica em relação à soldagem de alta precisão de aeronaves?**

- a) O equipamento é complexo, pouco versátil e difícil de transportar para realizar manutenção em campo.
- b) A dificuldade de realizar o movimento de eletrodo de forma constante produz cordão de solda irregular, além de produzir escória.
- c) Por ser um processo automatizado de soldagem, os equipamentos possuem custo elevado.
- d) Não é recomendado para soldar aços de baixa concentração de carbono.

**3 Em relação aos equipamentos utilizados na soldagem por eletrodo revestido, marcar a alternativa correta:**

I - O transformador fornece corrente elétrica contínua e o retificador fornece corrente elétrica alternada.

II - O porta-eletrodo é um suporte que tem a finalidade de segurar o eletrodo revestido e transferir a energia para a peça, possibilitando ser movimentado para realizar a soldagem.

III - O cabo de retorno tem a função de fechar o circuito elétrico, transportando a corrente do metal base de volta ao transformador/retificador.

- a) As afirmações I e II são verdadeiras.
- b) Todas as afirmações são verdadeiras.
- c) Somente a afirmação II é verdadeira.
- d) Nenhuma das afirmações é verdadeira.

**4 Selecionar, entre os fatores apresentados, os que influenciam na escolha do tipo e dimensões do eletrodo revestido para soldagem.**

- a) A liga metálica do material base, o arame de adição e a área da peça soldada.
- b) O gás de proteção, o tipo de fonte de energia e a habilidade do soldador.
- c) A habilidade do soldador, a taxa de deposição e a espessura da chapa.
- d) A liga metálica do material base, a espessura da chapa e a posição de soldagem.

**5 O cordão de solda volumoso é um defeito que deve ser evitado na soldagem por eletrodo revestido. Ele ocasiona sobreposição sem fusão de material nas bordas. Qual medida deve ser tomada para evitar esse problema?**

- a) O soldador deve executar um toque sutil e rápido, movimentando apenas o punho e elevando o eletrodo a uma distância de 3 a 5 mm (1/8" a 3/16") da peça.
- b) O movimento do eletrodo sobre a peça deve manter uma velocidade constante tanto no caminho da solda quanto na descida por causa do consumo de sua alma.
- c) O soldador forma um ângulo na perpendicular do eletrodo com o material base e arranha a peça com a ponta do eletrodo.
- d) Deve-se interromper o movimento do eletrodo constantemente para resfriar a poça de fusão.

## Capítulo 4 - Soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG)

**1 Marcar verdadeiro (V) ou falso (F) para as afirmações abaixo.**

- ( ) Na soldagem TIG, o eletrodo não é consumível e as propriedades químicas do gás de proteção não influenciam na solda formada.
- ( ) A poça de fusão é protegida por um gás ou mistura de gases.
- ( ) É um tipo de soldagem realizada por arco elétrico.
- ( ) Sempre será necessário utilizar material de adição para formar o cordão de solda.

- a) V, V, F, F.
- b) F, F, V, F.
- c) V, V, V, F.
- d) V, V, V, V.

**2 Tocha de soldagem é o elemento responsável por conduzir a corrente e o gás inerte para a zona de soldagem. Ela sofre aquecimento durante a execução do trabalho. Como é feito o resfriamento desse equipamento?**

- a) O próprio ar da atmosfera é responsável por resfriar o equipamento.
- b) O gás de proteção é responsável por resfriar a tocha em todas as ocasiões.
- c) O resfriamento deverá ser realizado por líquidos criogênicos.
- d) No caso de correntes baixas, o gás de proteção resfria a tocha; já para altas correntes, deve ser utilizado um sistema de resfriamento com água.

**3 Sabendo-se que a representação para zircônio é Zr, indicar o significado da sigla EWZr-2.**

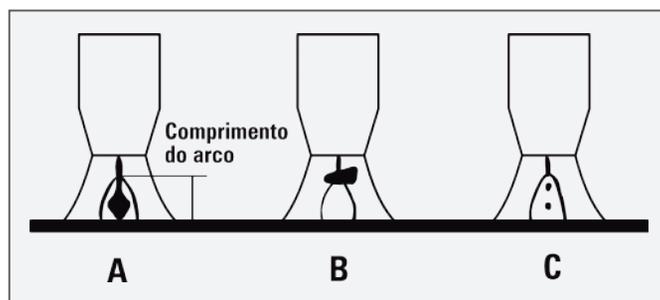
- a) Eletrodo de tungstênio e zircônio com 2% de pureza.
- b) Eletrodo de tungstênio e zircônio de classe 2.
- c) Eletrodo de zircônio com 2% de pureza.
- d) Gás inerte de zircônio diluído a 2%.

- 4 Em um procedimento de manutenção realizado na estrutura da aeronave, foi solicitado pelo inspetor que o mecânico realizasse uma solda. O equipamento disponível era de soldagem TIG. Foi constatada a necessidade de utilizar material de adição. Qual deve ser o critério para selecionar a vareta de solda?**
- a) Qualquer vareta de solda pode ser utilizada para realizar a soldagem.
  - b) O soldador deve se preocupar apenas com o diâmetro da vareta de solda.
  - c) A composição química da vareta deverá ser apropriada para soldar ligas de magnésio.
  - d) O importante é selecionar uma vareta com composição química semelhante ao material base, não importando o diâmetro.
- 5 Em uma soldagem TIG com material de adição, qual o intervalo de inclinação recomendado para a vareta de adição e o arco, respectivamente, em relação à superfície soldada?**
- a) 60° a 75° e 15° a 20°.
  - b) 15° a 20° e 60° a 75°.
  - c) 5° a 10° e 60° a 75°.
  - d) 60° a 75° e 5° a 10°.

## **Capítulo 5 - Soldagem a arco com proteção gasosa e eletrodo consumível (MIG/MAG)**

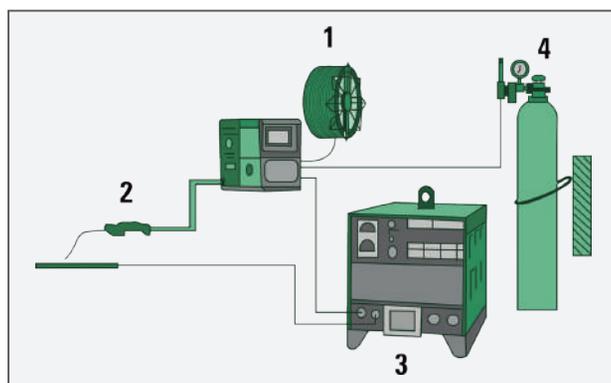
- 1 Apontar a principal diferença entre os processos de soldagem MAG/MIG em relação ao TIG.**
- a) As propriedades químicas dos gases de proteção da soldagem MIG/MAG interferem na composição química da solda.
  - b) Os eletrodos são consumíveis em todos os processos de soldagem (TIG, MIG e MAG), no entanto, o gás de proteção da soldagem MAG é ativo.
  - c) Os eletrodos utilizados na soldagem MIG e MAG são consumidos e entram na composição química final da junta.
  - d) As fontes de força dos dois processos de soldagem possuem características opostas.
- 2 Supondo uma situação em que seja necessário realizar a soldagem de várias peças iguais de aeronaves, um profissional dispõe de equipamentos de soldagem por eletrodo revestido e MAG. As duas técnicas são recomendadas pelo manual de manutenção da aeronave. Quais seriam as vantagens de utilizar o equipamento MAG?**
- a) A soldagem MAG pode ser realizada em ambientes abertos sem se preocupar com correntes de ar.
  - b) Apesar de exigir maior habilidade do soldador, apresenta menor incidência de respingos.
  - c) Devido a menor velocidade de resfriamento por não haver escória, possui menor tendência ao aparecimento de trincas.
  - d) A soldagem MAG pode ser realizada mais rapidamente sem a formação de escória.

3 Observam-se, na figura a seguir, as três formas de transferência de material da soldagem MIG/MAG. Indicar a alternativa em que todas as afirmações estão corretas.



- a) Em C, a transferência de material ocorre por aerossol. A corrente e a tensão são maiores que em A e em B. É recomendada para soldar peças com grandes espessuras.
- b) Em A, ocorre transferência de material por curto-circuito. A corrente e a tensão são maiores que em B e C. É recomendada para soldar peças com grandes espessuras.
- c) Em B, a transferência de material ocorre de forma globular. A corrente e a tensão são menores que em A e C. É recomendada para soldar peças de pequenas espessuras.
- d) Em C, a transferência de material ocorre de forma globular. A corrente e a tensão estão na faixa intermediária entre A e C. Não é recomendada para realizar a soldagem porque causa muitos respingos.

4. É possível observar na figura a seguir os equipamentos básicos utilizados na soldagem MIG/MAG. Selecionar a alternativa que relaciona corretamente o equipamento com o número indicado na figura.



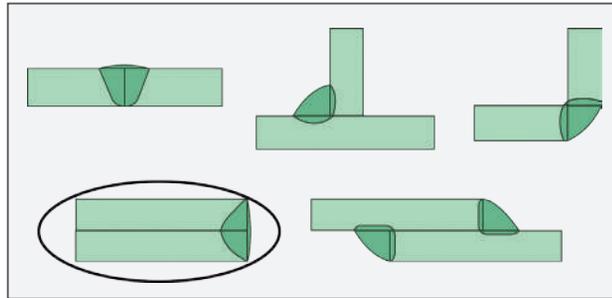
- a) (1) Alimentador de arame, (2) tocha de soldagem, (3) fonte de energia e (4) cilindro de gás de proteção.
- b) (1) Bobina de arame, (2) tocha de soldagem, (3) fonte de energia e (4) cilindro de gás de proteção.
- c) (1) Alimentador de arame, (2) tocha de soldagem, (3) fonte de energia e (4) sistema de resfriamento.
- d) (1) Bobina de arame, (2) tocha de soldagem, (3) fonte de energia e (4) sistema de resfriamento.

**5** Quais são os dois gases mais utilizados na soldagem MIG para proteger a poça de fusão, mas sem interferir na composição química do cordão de solda?

- a) Oxigênio e nitrogênio.
- b) Argônio e hélio.
- c) Dióxido de carbono e argônio.
- d) Nitrogênio e argônio.

## Capítulo 6 - Tipos de junta e posições de soldagem

**1** Podem-se observar, na figura a seguir, os principais tipos de junta utilizados para unir peças. Como é chamada a junta contida no círculo em destaque?



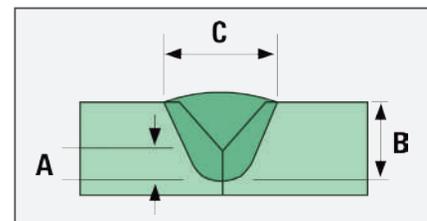
- a) Junta sobreposta.
- b) Junta de quina.
- c) Junta de aresta.
- d) Junta de topo.

**2** Os chanfros são cortes de aberturas ou sulcos na superfície das peças que serão unidas. Qual a sua finalidade?

- a) Permitir o acesso da vareta de adição na soldagem MIG.
- b) Permitir o acesso do calor em toda a região da solda.
- c) Formar juntas de melhor estética.
- d) Diminuir o gasto com material de adição.

**3** As cotas A, B e C, indicadas na imagem, correspondem a quais dimensões da solda, respectivamente?

- a) Penetração da raiz, penetração da junta e largura da solda.
- b) Penetração da junta, penetração da raiz e largura da solda.
- c) Margem da solda, penetração da junta e face da solda.
- d) Penetração da raiz, margem da solda e face da solda.



**4 Qual é o tipo de junta mais recomendado para realizar a união de chapas de revestimento finas com pouca sollicitação de esforços?**

- a) Junta em quina com reforço.
- b) Junta em ângulo T.
- c) Junta sobreposta.
- d) Junta de arestas.

**5 Dentre as posições utilizadas para realizar a soldagem, existe uma que deve ter a preferência sempre que possível. Assinalar a alternativa que aponta essa posição e por que ela tem preferência.**

- a) Posição vertical. Ela facilita o acesso do equipamento e o efeito da gravidade ajuda a formar o cordão de solda.
- b) Posição chata. Ela permite controlar melhor a poça de fusão, tornando mais fácil a soldagem.
- c) Posição horizontal. Ela permite controlar melhor a poça de fusão, tornando mais fácil a soldagem.
- d) Posição sobre a cabeça. O acesso do equipamento é facilitado e o efeito da gravidade ajuda a formar o cordão de solda.

## Capítulo 7 - Soldabilidade de metais não ferrosos

**1 A soldabilidade é a capacidade do metal ser soldado. Materiais de baixa soldabilidade impõem condições muito restritivas para a formação de soldas. Já os materiais com alta soldabilidade exigem poucos cuidados no processo de soldagem e formam juntas resistentes. O conceito de soldabilidade depende de muitos fatores. A composição química das ligas metálicas, as espessuras envolvidas e o ciclo térmico são fatores de que tipo?**

- a) Operatório.
- b) Construtivo.
- c) Metalúrgico.
- d) Térmico.

**2 As ligas de alumínio são empregadas em várias partes das aeronaves. Existem diversas ligas com composição química distintas. Em todas elas, é recomendado realizar um procedimento de pré-aquecimento antes da soldagem, para facilitar a formação de poça de fusão, especialmente para grandes espessuras. Qual propriedade do alumínio está relacionada com esse procedimento?**

- a) Alta condutividade térmica.
- b) Baixo ponto de fusão.
- c) Elevada afinidade com o oxigênio.
- d) O alumínio tem grande facilidade de reagir com o nitrogênio.

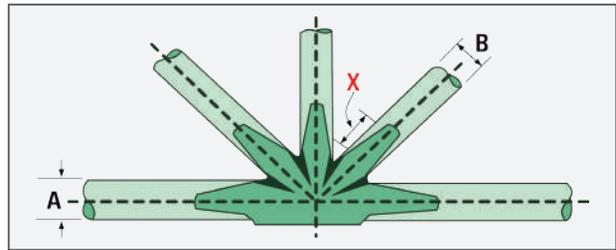
- 3 O magnésio possui condutividade e coeficiente de expansão térmica similares aos do alumínio, porém baixa elasticidade. Qual tipo de problema de solda essa combinação pode causar e qual o procedimento recomendado para minimizar os efeitos?**
- a) Trincas relativamente grandes e reduzir o aporte térmico.
  - b) Altos níveis de porosidade e aumentar a zona termicamente afetada.
  - c) Buracos causados pelo excesso de calor e tratamento com fluxo.
  - d) Altos níveis de distorções e tratamento de alívio de tensão.
- 4 As ligas de titânio possuem boa soldabilidade. As juntas formadas, normalmente, apresentam propriedades equivalentes às do material base. No entanto, para que o resultado seja satisfatório, é recomendado que a poça de fusão não entre em contato com gases reativos, como oxigênio e nitrogênio. Com base nessas informações, qual é o processo de soldagem mais indicado para soldar ligas de titânio?**
- a) Eletrodo revestido.
  - b) Oxiacetilênica.
  - c) MAG.
  - d) MIG.
- 5 Os fatores que influenciam a soldabilidade do cobre e suas ligas são coeficiente de expansão térmica elevada, alta condutividade, tendência a se fragilizar em altas temperaturas, ponto de fusão relativamente baixo, baixa viscosidade do metal fundido e grande condutividade elétrica. Supondo uma liga de cobre e zinco, qual é a técnica de soldagem mais recomendada?**
- a) TIG.
  - b) Oxiacetilênica.
  - c) Eletrodo revestido.
  - d) Nenhuma das alternativas acima.

## Capítulo 8 - Soldagem de peças tubulares de aço

### 1 Marcar verdadeiro (V) ou falso (F) para as afirmações apresentadas.

- ( ) Nas aeronaves, os tubos de aço são utilizados apenas como reforço em área não exposta a esforços.
  - ( ) Os tubos de aço podem ser emendados ou reparados em suas juntas ao longo do comprimento. Deve-se ter muita atenção no alinhamento das emendas para evitar distorções.
  - ( ) Os materiais utilizados para reparar estruturas tubulares de aeronaves podem ser de ligas diferentes do material base.
  - ( ) Não é necessário realizar soldas de boa qualidade em estruturas tubulares.
- a) F, V, V, F.
  - b) F, F, F, F.
  - c) F, V, F, F.
  - d) V, V, V, V.

**2 Para reparar tubulações de aço de aeronaves, é comum utilizar chapas de reforço cortadas na forma das tubulações adjacentes. Pode-se observar na figura a posição da chapa de reforço. Quanto vale a dimensão X em destaque?**



- a) 1,5 vezes A.
- b) 1,5 vezes B.
- c) 1/2 de A.
- d) 1/2 de B.

**3 Qual é o tipo de reparo recomendado para pequenas mossas ou furos em tubulações de aço de estruturas de aeronaves?**

- a) Remendo soldado.
- b) Emenda por meio de luva interna.
- c) Reparo com luva soldada.
- d) Substituição de todo conjunto.

**4 Ao avaliar a tubulação de aço do montante da asa de uma aeronave, um inspetor encontrou uma mossa com profundidade de  $3/10$  do diâmetro e  $2/4$  da circunferência do tubo. A região do dano não está próxima a nenhuma junta. Ao consultar o manual de manutenção da aeronave, descobriu-se que é aceitável realizar reparos de solda naquela seção. Qual deve ser a metodologia empregada nesse caso?**

- a) Remendo soldado.
- b) Emenda por meio de luva interna.
- c) Substituição de todo conjunto.
- d) Reparo com luva soldada.

**5 A emenda de tubulações estruturais, por meio de luva interna, é a metodologia de reparo com solda empregada em qual situação?**

- a) Para pequenas mossas ou furos.
- b) Para mossas em regiões próximas às juntas da tubulação.
- c) Para danos que exijam a substituição de parte do tubo estrutural.
- d) Para mossas que ultrapassem  $1/10$  do diâmetro e  $1/4$  da circunferência do tubo.

## Capítulo 9 - Medidas de segurança

- 1 Empresas e empregados são corresponsáveis na elaboração e implementação de um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA). O objetivo é a preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. Qual norma do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) trata desse assunto?**

  - a) NR-5.
  - b) NR-9.
  - c) NR-15.
  - d) NPRA.
  
- 2 Todos os processos de soldagem por fusão geram fumos, minúsculas partículas formadas a partir de vapores e gases que se desprendem das peças em fusão. Qual é o tipo de risco ambiental a que o soldador está exposto, a que grupo pertence e qual o equipamento de proteção individual recomendado, respectivamente, para esse tipo de contaminante?**

  - a) Risco físico, grupo I (verde) e elmo de soldagem.
  - b) Risco biológico, grupo II (marrom) e respiradores com filtros.
  - c) Risco químico, grupo II (vermelho) e respiradores com filtros.
  - d) Risco de acidentes, grupo V (azul) e elmo de soldagem.
  
- 3 No anexo 11 da NR 15, existem tabelas que determinam o limite máximo de exposição aos contaminantes em uma jornada de 48 horas semanais. Essa norma limita a exposição a dióxido de nitrogênio a 4 ppm por semana. Supondo que, após um laudo no ambiente de soldagem de uma empresa qualquer, constata-se que os funcionários estão expostos a 0,1 ppm de dióxido de nitrogênio por hora de trabalho, com base na tabela do anexo 11 NR 15, responder: qual é o número máximo de horas de trabalho, por semana, permitido nesse ambiente?**

  - a) 38.
  - b) 40.
  - c) 44.
  - d) 48.
  
- 4 As luzes produzidas nos processos de soldagem por arco elétrico são de grande intensidade e podem causar prejuízos à visão, daí a importância dos soldadores utilizarem o elmo com visor filtrante. Com relação à luz produzida pelo arco elétrico, qual é o outro grande risco à saúde e qual o equipamento de proteção individual (EPI) recomendado para proteger o trabalhador?**

  - a) Fumos. O EPI recomendado é o respirador com filtro.
  - b) Gases ácidos. O EPI recomendado é o respirador com filtro.
  - c) Choque elétrico. Recomenda-se a utilização de luvas de borracha.
  - d) Radiação. Os EPIs recomendados são luvas, aventais protetores, proteção para o braço e tórax e polaina.

**5 Qual é a sequência correta de medidas a serem tomadas para a proteção da saúde do trabalhador exposto a riscos ambientais?**

- a) Instalar equipamento de proteção coletivo (EPC) e evitar o contato com contaminante.
- b) Evitar o contato com contaminante, instalar equipamento de proteção coletivo (EPC) e utilizar equipamento de proteção individual (EPI).
- c) Eliminar os contaminantes do ambiente, utilizar equipamento de proteção individual (EPI) e instalar equipamento de proteção coletivo (EPC).
- d) Instalar equipamento de proteção coletivo (EPC), utilizar equipamento de proteção individual (EPI) e eliminar os contaminantes do ambiente.

## Capítulo 10 - Soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido

**1 Qual é o princípio utilizado para unir metais no processo de soldagem a laser?**

- a) Os metais são unidos por pressão.
- b) Os metais são unidos pela vibração produzida por ondas eletromagnéticas.
- c) O feixe de luz reorganiza a estrutura cristalina do metal, realizando a união das moléculas.
- d) Os metais são unidos por fusão proveniente de um feixe de radiação eletromagnética condensado.

**2 A sigla *laser* significa *light amplification by stimulated emission of radiation*, ou seja, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. O equipamento que emite o feixe de laser pode ser construído a partir de fontes sólidas ou gases. A energia elétrica é utilizada para estimular os átomos dos cristais ou gases emitindo luz de alta intensidade. Qual o material utilizado como fonte (meio ativo) que produz laser de maior intensidade, usado para realizar soldas em chapas espessas de aço?**

- a) Cristais de rubi.
- b) Gás CO<sub>2</sub>.
- c) Cristais de diamante.
- d) Gás NO<sub>2</sub>.

**3 Após determinar a potência e o diâmetro do feixe de um equipamento de soldagem a laser, o operador percebe que o calor do feixe está provocando buracos na peça soldada devido ao excesso de fusão. Que ajuste no equipamento é capaz de resolver esse problema?**

- a) Aumentar a velocidade de soldagem.
- b) Diminuir a velocidade de soldagem.
- c) Alterar a composição química da liga metálica.
- d) Aumentar a espessura das peças que estão sendo soldadas.

- 4** Supondo que haja a necessidade de realizar a soldagem de uma peça não metálica de uma aeronave, constituída de material termoplástico, e que o mecânico dispusesse de todos os equipamentos de soldagem necessários, com as dimensões das peças adequadas, indicar o processo de soldagem recomendado para executar o serviço:
- a) TIG.
  - b) MIG.
  - c) *Laser*.
  - d) Ultrassom.
- 5** Assinalar o equipamento responsável por transformar a energia elétrica em vibrações no processo de soldagem por ultrassom.
- a) Cabeçote.
  - b) Transdutor.
  - c) Sonotrodo.
  - d) Cavidade ressonante.

# Glossário

## Unidade 1

### Revestimento de aeronaves

**Anéis** - Parte da estrutura da aeronave que dá forma e mantém o contorno aerodinâmico.

**Boroscópio** - É o instrumento usado para fazer inspeções visuais remotas.

**Butírico** - Composto orgânico pertencente ao grupo dos ácidos.

**Conformação** - É o processo mecânico pelo qual se obtêm peças por meio da compressão de metais sólidos em moldes, utilizando a deformação plástica da matéria-prima para o preenchimento das cavidades dos moldes.

**Ductibilidade** - É a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura.

**Dúctil** - Que se pode esticar ou comprimir sem se romper ou quebrar; elástico, flexível, moldável.

**Encruamento** - É um fenômeno modificativo da estrutura cristalina dos metais e ligas pouco ferrosas que causa endurecimento.

**Estampabilidade** - É a capacidade que a chapa metálica tem de adquirir a forma de uma matriz pelo processo de estampagem, sem se romper ou apresentar qualquer outro tipo de defeito de superfície ou de forma.

**Extrusão** - É um processo mecânico de produção de componentes de forma semicontínua, em que o material é forçado por meio de uma matriz, adquirindo, assim, a forma predeterminada pela forma da matriz projetada para a peça.

**Inflamabilidade** - É a facilidade com que algo queima ou entra em ignição.

**Longarina** - É a mais importante viga ou barra integrante no sentido longitudinal da estrutura de uma aeronave.

**Mossas** - É um afundamento no revestimento de uma aeronave.

**Nervuras** - São membros estruturais responsáveis pela forma aerodinâmica da asa de uma aeronave.

**Precursores** - É um composto que participa de uma reação química produzindo outro composto.

**Piezelétricos** - O efeito é entendido como a interação eletromecânica linear entre a força mecânica e o estado elétrico em materiais cristalinos.

*Primer* - Camada de tinta de fundo.

*Radome* - Parte frontal no nariz da aeronave; em seu interior está instalada a antena do radar.

*Solubilização* - Tratamento em ligas metálicas em que o material é aquecido até uma temperatura alta para a dissolução de um ou mais elementos de liga.

*Termoencolhimento* - É o encolhimento do material utilizando energia térmica.

*Usinabilidade* - É a facilidade com que o material pode ser cortado, torneado, fresado ou furado sem prejuízo de suas propriedades mecânicas.

*Urdidura* - É a direção dos fios ao longo do comprimento do tecido.

## Unidade 2

### Sistema de água potável, toaletes e *galleys*

*Alastre* - Multiplique-se por meio da reprodução.

*Antiaderente* - Que consegue impedir aderências, especialmente, em utensílios utilizados; diz-se do revestimento que impede aderências.

*Antiderrapante* - Que impede a derrapagem ou o que é próprio para impedir a derrapagem.

*Corrosão* - Desgaste gradual de um corpo qualquer que sofre transformação química e/ou física, proveniente de uma interação com o meio ambiente.

*Dejetos* - Matérias fecais evacuadas de uma vez; excrementos.

*Desenergizar* - Retirar a energia ou o caráter enérgico.

*Drenagem* - É o ato de escoar as águas de um determinado local ou recipiente encharcado, por meio de tubos, túneis, canais, etc.

*Estilhaços* - Cada um dos fragmentos ou lascas a que ficam reduzidos o vidro, a madeira, a pedra, etc., após impacto violento ou explosão.

*Galleys* - São compartimentos montados nas aeronaves onde ficam armazenadas as refeições e bebidas dos passageiros e tripulantes, bem como fornos, cafeteiras e outros, configurados conforme solicitação do cliente.

*Inoxidável* - Não oxidável; que não é passível de uma reação que, envolvendo um elemento químico, ocasiona perda de elétrons e conseqüente aumento de sua carga.

*Intermitente* - Em que ocorrem interrupções; que cessa e recomeça por intervalos; intervalado, descontínuo.

*LED* - É um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (LED = *light emitter diode*), mesma tecnologia utilizada nos *chips* dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

*Modulares* - Habilidade de se dispor em módulos; separável; referente a módulo.

**Orifício** - Pequena abertura, em regra de forma redonda, que dá entrada para uma cavidade; furo, passagem estreita.

**Polegada** - É a medida inglesa de comprimento equivalente a 25,4 milímetros do sistema métrico decimal.

**Potável** - Diz-se da água limpa, própria para a utilização do ser humano no tocante à higiene e à preparação de alimento.

**Pré-carga** - Máximo de pressão aplicado a um objeto.

**Relé** - Eletroímã que tem por função abrir ou fechar contatos elétricos, de modo a estabelecer ou interromper circuitos.

**Reset** - É o procedimento para reiniciar o sistema. Diferente de apenas ligar e desligar, o *reset* executa outras funções que permitem a correção de problemas.

**Secreções** - São os meios por intermédio dos quais as células descarregam substâncias que produziram internamente para o meio externo.

**Solenóide** - Fio condutor enrolado em hélice, de espiras muito próximas, em torno de um eixo.

**Temporizador** - É um dispositivo capaz de medir o tempo, sendo um tipo de relógio especializado. Ele pode ser usado para controlar a sequência de um evento ou processo.

**Tirante** - Uma peça estrutural composta de um ou mais elementos, que tem por função resistir a esforços, forças ou tensões, de tração.

**Trifásicos** - Diz-se de corrente elétrica que tem três fases.

**Tubular** - Que tem a forma de um tubo; tubiforme, tubulado, tubuloso.

**Vácuo** - É a ausência de matéria em uma determinada região do espaço; vazio; desprovido de conteúdo; espaço sem matéria; completamente vazio.

## Unidade 3

### Sistemas de comunicação e navegação

**Acelerômetros** - Dispositivos que podem funcionar a partir de diversos efeitos físicos e tem, portanto, uma ampla faixa de valores de aceleração que são capazes de medir, logo tem uma gama de aplicações bastante elevada.

**Adesivos epóxi** - Plástico termofixo que se endurece quando se mistura com um agente catalisador ou endurecedor.

**Amplitude** - Medida escalar negativa e positiva da magnitude de oscilação de uma onda.

**Autofrenantes** - Qualidade que determinados parafusos e porcas possuem, uma vez que não necessitam de meios auxiliares de frenagem.

**Balizamento** - Marcação por meio de balizas; separação; marcação.

*Bolding* - Tipo de malha metálica com a finalidade de atuar como fio terra.

*Cablagens* - Conjunto dos cabos necessários a determinado equipamento ou serviço de transmissão.

*Cantoneira* - Peça metálica composta por duas abas, simétricas ou não, formando um ângulo de 90 graus.

*Carenagens* - Estrutura ou componente aerodinâmico; revestimento protetor de certas peças de avião, para reduzir a resistência do ar.

*Casadores de impedância* - Pequeno aparelho de montagem simples que não necessita de energia de uma fonte de voltagens para funcionar. Corrige os problemas de casamento errado entre o cabo e a antena.

*Células secas (baterias)* - Tipo de bateria em que a solução eletrolítica existe na forma pastosa.

*Chapas defletoras* - Placa que envolve as cablagens para fins de isolamento.

*Circuito demodulador* - Dispositivo que realiza a demodulação de um sinal, separando-o da onda portadora modulada.

*Comutadores* - Dispositivo eletrônico que muda a direção de uma corrente elétrica.

*Coolers* - Conjunto de dissipação térmica para diminuição do calor.

*Demodulação* - Operação inversa à modulação, por meio da qual é reconstituído o sinal modulador a partir dos produtos de modulação.

*DinamotORES* - Sistema eletromecânico constituído por uma fonte de bateria de acumuladores de 24 volts e um gerador alimentado por motor.

*Doppler* - Relativo a ou que utiliza uma variação de frequência conforme o efeito *Doppler*.

*Dutos* - Tubo (ou cano) cilíndrico oco comprido geralmente fabricado em cerâmica, metal ou plástico.

*Fonia* - Canal de comunicação de voz.

*Frenadas* - Travadas, apertadas.

*Gaxeta* - Trançado de material compressível (borracha) que se coloca nos bordos das antenas, para melhor se garantir a vedação junto à fuselagem.

*Giroscópios* - Dispositivo cujo eixo de rotação mantém sempre a mesma direção na ausência de forças que o perturbem, seja qual for a direção do veículo que o conduz.

*Impedância* - Oposição que um meio material oferece à propagação do campo eletromagnético.

*Inércia* - Propriedade que têm os corpos de não modificar por si próprios o seu estado de repouso ou de movimento.

*Inversores* - Dispositivo elétrico ou eletromecânico capaz de converter um sinal elétrico CC (corrente contínua) em um sinal elétrico CA (corrente alternada).

*Irrradiado* - Energia propagada, espalhada.

Omnidirecionais - Têm as mesmas propriedades em todas as direções.

Oscilações - Movimentos repetidos periodicamente em intervalos de tempos iguais.

Oscilador - Aparelho que produz correntes elétricas oscilantes, alternadas.

Polarização - Medida da variação do vetor (arranjo tridimensional) do campo elétrico das ondas eletromagnéticas em relação ao tempo.

Posicionamento geoespacial - Determina a localização de uma pessoa ou de um meio de transporte na Terra.

Radiointerferência - Fortes ruídos recebidos no receptor que interferem na qualidade do sinal recebido.

RF - É a sigla de radiofrequência. Refere-se às frequências inseridas no espectro eletromagnético relacionado com a propagação de ondas de rádio.

Sinal de radiofrequência - Faixa de frequência de ondas de rádio que abrange o intervalo aproximado de 3 kHz a 300 GHz.

Telemetria - Tecnologia que permite a medição e a comunicação de informações de interesse do operador ou desenvolvedor de sistemas.

Terra (fio terra) - Tipo de conexão que permite que picos de energia sejam diretamente encaminhados para a estrutura da aeronave, de modo que sejam absorvidos, evitando danos aos equipamentos.

Transdutor - Sistema ou dispositivo capaz de transformar uma forma de energia em outra.

*Transponder* - Aparelho emissor-receptor que responde automaticamente a uma mensagem de identificação, ao sinal de um radar; repetidor de radiofrequência.

VHF - Esta é a sigla da expressão em inglês *very high frequency* (frequência muito alta) que se refere à faixa de radiofrequência que vai de 30 a 300 MHz.

VOR - Auxílio a navegação que opera em VHF nas frequências de 108.00 até 117.95 MHz.

## Unidade 4

### Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

Alumel - Liga metálica de níquel, com manganês, alumínio, silício e ferro, utilizada na fabricação de resistores elétricos.

Comburente - Substâncias que, em contato com algum combustível, permitem a ocorrência de uma combustão.

Constantã - Liga metálica utilizada na produção de fios para a fabricação de resistores elétricos (comumente, resistências elétricas) e em termopares.

Cromel - Liga metálica de 90%Ni (Níquel) e 10%Cr (Cromo) utilizada em termopares.

**Eutético** - Substância que se comporta como se fosse pura somente durante o ponto de solidificação ou de fusão.

**Fotocélula** - Dispositivo que permite obter corrente elétrica pela ação de um fluxo luminoso.

**Intempéries** - Quaisquer fenômenos climáticos muito acentuados (vento ou chuva fortes, calor ou frio extremos, tempestade, seca, inundação, etc.).

**Mufla** - Cobertura de recipientes para suportar grandes calorias.

**Radome** - Parte frontal no nariz da aeronave; em seu interior está instalada a antena do radar.

**Sangrado** - O ar é removido da seção de compressão do motor.

**Succionar** - Termo empregado quando o motor suga o ar para dentro. Exemplo: o ar é succionado pelo compressor.

**Termistor** - Resistência elétrica que varia o seu valor de acordo com a temperatura a que está submetida.

**VDC** - Sigla de voltagem de corrente contínua.

## Unidade 5

### Sistemas elétricos

**Alumel** - Liga de níquel (95%) e alumínio (5%) usada na formação de termopares e fios.

**Autofreno** - Denominação dada às porcas que possuem mecanismo próprio para travamento quando apertadas.

**Bimetálico** - Estrutura composta de dois metais diferentes.

**Bitola** - Diâmetro ou grossura de um fio ou cabo elétrico.

**Cablagem** - Agrupamento de fios e cabos elétricos.

**Calibração** - Em instrumentos elétricos, consiste no processo de comparar os valores lidos em instrumento com valores padrões gerados por equipamentos de altíssima precisão.

**Calibrado** - Significa que o instrumento foi comparado com um padrão (referência) e encontra-se em condições de uso.

**Conduítes** - Tubos em metal ou plástico, usados para envolver fios e cabos elétricos com objetivo de oferecer proteção.

**Constantã** - Liga metálica utilizada na produção de fios para a fabricação de resistores elétricos (comumente, resistências elétricas) e em termopares.

**Crimpados** - Prender o fio a um terminal por meio de prensagem usando alicate específico.

**Cromel** - Liga de cromo (10%) e níquel (90%) utilizada na produção de termopares.

**Curto-circuito** - Passagem de corrente muito acima do previsto para um circuito devido à diminuição da sua resistência.

**Curvador de tubo** - Ferramenta para fazer curvas em tubos metálicos preservando o diâmetro interno.

**Dielétrico** - Material isolante colocado entre materiais condutores.

**Dúctil** - Característica do material que lhe permite dobrar ou ser moldado sem se romper.

**Efeito corona** - Este efeito ocorre devido a um campo elétrico muito intenso em torno dos condutores. Assim, as partículas de ar próximas do condutor são ionizadas.

**Engate de cravo** - Tipo de nó usado em amarrações de cablagem e de carga.

**Entretenimento em voo** - Dispositivos de mídia, tais como vídeos, músicas e jogos disponibilizados aos passageiros durante o voo.

**Equipamento reparável** - Equipamento que, após ser substituído por falha, pode ser consertado para novamente entrar em uso.

**Espaguete** - Tipo de tubo usado para envolver e proteger fios.

**Estabilizador vertical** - Estrutura localizada na parte de trás da aeronave que tem a função de estabilizar a aeronave verticalmente.

**Flaps** - Superfícies móveis que, localizadas nas asas, ajudam a aumentar ou diminuir a sustentação da aeronave.

**Gromete** - Anel isolante.

**Homologado** - Aprovado por órgão regulamentador.

**Ionização** - Processo no qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons.

**Meias-laçadas** - Laços dados em torno dos fios sem finalização com nó.

**Miliohmímetro** - Instrumento usado para medir resistências muito baixas.

**Mossas** - É um afundamento no revestimento de uma aeronave.

**Olhal** - Denominação dada a terminal com área de contato elétrico circular.

**Plasma** - Estado físico de um gás que foi ionizado.

**Politetrafluoretileno (PTFE)** - Polímero fluorado. Considerado um plástico de excelente desempenho e ótimo isolante.

**Radiação ultravioleta** - Radiação eletromagnética invisível que pode causar danos por exposição prolongada.

**Redundância** - Em aviação, consiste em ter mais de um dispositivo executando a mesma função.

**Reed switch** - Tipo de interruptor que é formado por lâminas e tem acionamento por campo magnético.

**Solda fria** - Soldagem que foi mal executada, provocando defeitos intermitentes ou definitivos.

Trança - Torcida dada em fios para acomodação e melhoria estética.

Transientes - Surtos de tensão elétrica com intervalo de tempo muito pequeno.

Transistores - Componente eletrônico de três terminais que substituiu as válvulas eletrônicas.

Tungstênio - Metal que possui maior ponto de fusão e ebulição da natureza.

## Unidade 6

### Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

Adelgaçamento - Diminuição de espessura, largura, volume; estreitamento.

Aeronaves anfíbias - Aeronaves que pousam na água e no solo.

Área valvular - Área em que a válvula de enchimento do pneu é colocada.

Asfalto - Produto de origem mineral retirado do petróleo aplicado no pavimento, solo.

Atuador - Um elemento que dá origem a um movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos.

Banda de rodagem - Área do pneu que está sempre em contato com o solo.

Cavitação - Falha da bomba hidráulica devido à presença de ar no sistema.

Chavetado - Encaixe do cubo da roda em um freio, em que a roda tem peça macho e o freio peça fêmea.

Cisalhamento - Ruptura do eixo peça.

Cordonéis - Fios de aço ou de tecido que formam as lonas e cintas dos pneus.

Corrosão fotoquímica - Causada especialmente por raios ultravioleta. Dá um aspecto de ressecado para o pneu e compromete sua durabilidade.

Costado - Parte lateral; flanco, lado.

Desbalanceamento - Pneu montado no cubo de roda com uma parte mais pesada que as outras.

Desvulcanizar - Retirada de borracha do pneu.

Ejeção - Saída de uma peça do seu encaixe com alta velocidade e força.

Encorpado - Densidade (óleo grosso).

Engrazam - O mesmo que encaixam.

Escoar - Deslocamento do fluido (óleo).

Esfoleamento - Corrosão que se processa de forma paralela à superfície metálica.

Esmeril - Pedra em um disco giratório usada para lixar uma peça de forma mais profunda.

Espocar - Pegar fogo e apagar naturalmente as chamas.

**Face do talão** - A superfície plana entre a unha e o calcanhar do talão.

**Feltro** - Anel de vedação feito de fibras naturais. Comumente é usado em vedação de áreas com graxa, instalado para evitar que detritos sujem os freios de múltiplos discos.

**Fluidez** - Deslocamento do fluido (óleo). Sua velocidade aumenta com a diminuição de viscosidade.

**Friso** - São pequenos canais esculpidos na banda de rodagem.

**Furador rombudo** - Ferramenta para retirada de material em um pneu, não cortante.

**Gaxeta sobreposta** - Um anel de vedação em cima de outro anel de vedação.

**Gaxetas** - Selo ou anel de vedação de borracha que evita passagem de um fluxo de fluido parcial ou totalmente.

**Ignizar-se** - Transformar-se em fogo; incendiar-se, inflamar-se.

**Incompressíveis** - Substâncias impossíveis de serem comprimidas.

**Lacas nitrocelulose** - Material que tem muitos usos internos e externos. Como qualquer outro verniz, ela pode ser usada para acabamento.

**Mícrones** - Medida de filtragem utilizada para determinar filtros.

**Micrônico** - Um milésimo de milímetro, ou um milionésimo de um metro, ou 0,000039 de uma polegada. O micron é a unidade de medida utilizada para determinar o tamanho das partículas filtradas de um fluido.

**Óleo de mamona** - Fluido hidráulico composto da mamona (é uma planta da família das euforbiáceas, bem como a semente dessa planta) e álcool.

**Parametrização** - É o processo de decisão e definição dos parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico.

**Pouso placado** - Pouso com excesso de força no solo.

**Recauchutados** - Pneus reaproveitados que recebem uma nova camada de borracha.

**Recompletamento** - Abastecer de óleo o sistema hidráulico até o nível previsto pelo manual do fabricante.

**Resinas termoplásticas** - É um polímero artificial que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser moldado.

**Sangria** - Retirada do ar de um sistema hidráulico.

**Selos vedadores** - Indicados para casos de alta pressão, temperatura, velocidade e presenças de sólidos em suspensão. São utilizados quando as gaxetas não podem ser aplicadas.

**Sistema de *anti-skid*** - Sistema de antiderrapagem que evita o travamento das rodas quando o freio é aplicado.

**Sobreprensão** - Pressão acima da prevista em um sistema hidráulico pelo manual do fabricante.

**Solenóide** - Condutor enrolado em forma de espiras, utilizado para produzir força mecânica.

**Spoilers** - Superfície auxiliar de voo usada como freio aerodinâmico.

Taxiamento - Deslocamento no solo.

Tubo de Bourdon - Elemento sensor para a medição mecânica de pressão.

Usinar - Trabalhar em uma peça ou fabricar uma nova.

Vazão - Deslocamento do fluido (óleo), medido em galões por minuto (GPM).

## Unidade 7

### Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

Aberto - No sentido técnico, refere-se à abertura de linhas em um sistema fechado por algum motivo devido à manutenção.

Aletas - Abas no caso de bomba de aletas, essas abas giram para proporcionar deslocamento de um fluido.

Altitude - Altura de um objeto em relação ao nível do mar.

Barômetro - Aparelho para medir a pressão atmosférica.

*Boots* - Câmara de ar de borracha instaladas no bordo de ataque das asas e estabilizadores horizontais que inflam para quebrar o gelo formado.

Bujão - Tipo de tampa colocado no sistema para evitar vazamento.

Cápsula aneróide - Uma espécie de diafragma metálico que comprime ou expande de acordo com a variação da pressão atmosférica.

*Cockpit* - cabine de comando, na qual o piloto e o copiloto operam a aeronave.

Compressão adiabática - É o aquecimento devido à compressão. O calor gerado não provém de nenhuma fonte externa, apenas da compressão.

Compressor - Sua função é comprimir o ar. Ele pode ser do tipo centrífugo ou axial.

Condensar - Mudança da água do estado de vapor para o estado líquido.

Convecção - Transferência de calor por meio de um fluido que ocorre devido ao movimento do próprio fluido.

*Fan* - Maior peça do motor a reação, chamado de *turbo fan*, considerado um compressor.

Fase de táxi - Deslocamento da aeronave até a cabeceira da pista.

Fonte externa ou *ground power and unit* (GPU) - Gerador elétrico que fornece 28v ou 115v para o sistema elétrico do avião, quando os motores estão parados.

*Galleys* - Um tipo de cozinha do avião.

*Gearbox* - Caixa de acessórios, um conjunto situado no motor que contém engrenagens de vários tamanhos as quais são acionadas pelo eixo do motor quando em funcionamento.

Na *gearbox* estão instalados os acessórios como bomba de combustível, gerador, bomba de vácuo, etc.

**Material composto** - Material que tem em sua composição o carbono, a fibra sintética de aramida e a fibra de vidro.

**Micrônico** - Utiliza um elemento feito de um papel especialmente tratado que é dobrado em rugas verticais.

**Motores a reação** - Motor movido a compressores, turbinas e câmara de combustão.

**Onça** - Unidade de medida de peso.

**Piccolo** - Tubo cheio de furos por onde o ar quente vaza para aquecer o bordo de ataque da asa, evitando a formação de gelo.

**Pressão de zero absoluto** - A altura que o mercúrio subiu em um tubo com a pressão da massa de ar sobre o nível do mar é de 29.92 polegadas. Foi o físico italiano Evangelista Torricelli que determinou a pressão atmosférica ao nível do mar.

**PSI** - Unidade de medida de pressão; *pounds square inch* ou libras por polegada quadrada.

**Punho de fogo** - Mecanismo que aciona as garrafas de extinção contra fogo.

**Purgado** - Refere-se à limpeza do sistema

**Sangrado no motor** - O ar é removido da seção de compressão do motor.

**Saturar** - Levar o sangue a conter a quantidade necessária ou possível de oxigênio.

**Solenóide** - Dispositivo que recebe sinal elétrico de um sistema e atua internamente um contato para fechar ou abrir o circuito elétrico.

**Superfícies primárias de controle** - *Aileron*, leme de direção e profundor, responsáveis pelo movimento em cima dos três eixos da aeronave, a citar: rolagem, guinada e arfagem.

**Switch** - Chave sensora que fecha ou abre eletricamente um componente para controlar, através de parâmetros, como pressão e temperatura, o sistema.

**Termostato** - Dispositivo que controla a temperatura de um sistema mantendo-a constante.

**Teto operacional** - Altitude máxima de alcance.

**Torque** - Definido como a força aplicada vezes a distância; aperto;  $T = F \times D$ .

**Torque motor** - Motor elétrico de uma válvula.

**Tubo de *pilot*** - Unidade que recebe pressão dinâmica do ar para informação de velocidade e pressão estática para informação de altitude da aeronave.

**Turbina** - Sua função principal é girar o compressor.

**Válvula agulha** - Tipo de válvula de regulação de passagem de fluido de alta precisão.

**Volátil** - Capacidade de um líquido de se transformar em vapor.

# Unidade 8

## Soldagem

**Aerossol** - Suspensão de partículas sólidas ou líquidas no meio gasoso.

**Asfixiante** - Sufocante; capaz de sufocar; que provoca asfixia, que impossibilita de respirar; que sufoca ou retira o ar por completo.

**Bisel** - Corte enviesado na aresta de uma peça.

**Chanfro** - Corte diagonal na extremidade de objetos para formar uma borda com ângulos.

**Colimada** - Propriedade da luz cujos raios são quase paralelos, e, portanto, espalhando-se lentamente à medida que se propagam.

**Ductilidade** - Propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura.

**Escória** - Resíduo proveniente da fusão de certas matérias.

**Flange** - Pequena dobra na extremidade de chapas.

**Fumos** - Minúsculas partículas formadas a partir de vapores e gases que se desprendem das peças em fusão.

**Globular** - O que tem ou adquiriu forma de globo.

**Ignitor** - Componente que tem a função de produzir descarga inicial para dar partida em equipamentos elétricos.

**Inerte** - É algo que não reage.

**Laboral** - Relativo ao trabalho.

**Luva** - Seção de tubulação metálica.

**Mordeduras** - Descontinuidade da solda formada por uma reentrância aguda provocada pela fonte de calor do arco entre os passes de solda e o metal base.

**Mossas** - É um afundamento no revestimento de uma aeronave.

**Rugosidade** - Saliências e reentrâncias apresentadas na superfície da peça.

**Sonotrodo** - Equipamento do sistema de solda por ultrassom que tem a função de transferir a energia vibratória do transdutor para a peça.

**Tanques criogênicos** - Tanques destinados a guardar substância com temperaturas muito baixas, menores que -150 °C.

**Tarugo** - Objeto sólido utilizado como matéria-prima para laminação, pode ser encontrado em diversas formas.

**Termiônico** - Efeito termiônico é o aumento do fluxo de elétrons que saem de um metal, devido ao aumento de temperatura.

**Tório** - Elemento químico de símbolo Th e de número atômico igual a 90.

**Transdutor** - Dispositivo que transforma um tipo de energia em outro.

# Referências

## Unidade 1

### Revestimento de aeronaves

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Normas técnicas**. 2015. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/biblioteca/normas-tecnicas/>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 43**: manutenção, manutenção preventiva, reconstrução e alteração. 2014. Emenda 01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC43EMD01.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 65**: despachante operacional de voo e mecânico de manutenção aeronáutica. 2001. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha065.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Materiais de aviação**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: matérias básicas. Rio de Janeiro: IAC, 2002a. pp. 1-112. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/modulo-basico/>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Princípios da inspeção**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: matérias básicas. Rio de Janeiro: IAC, 2002b. pp. 1-29. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/modulo-basico/>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Reparos estruturais**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: células de aeronaves. Rio de Janeiro: IAC, 2002c. pp. 1-123. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/celula/>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Ente-lagem**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: células de aeronaves. Rio de Janeiro: IAC, 2002d. pp. 1-29. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/celula/>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 3 set. 2015.

BRAGA, A. P. V. **Análise das ligas de alumínio aeronáuticas conformadas por jateamento com granalhas**: caracterização e previsão de deformação. 2011. 277 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CERVEIRA, R. L. L. P. **Caracterização experimental do comportamento mecânico sob sollicitação multiaxial em junções de chapas AA2024-T3 soldadas por fricção-mistura (“FSW”)**. 2008. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* **Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados**. Reget/ufsm, [s.l.], v. 10, n. 10, p. 1-10, jan. 2013. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/7590>>. Acesso em: 13 set. 2015.

MIRANDA, M. **Comparação entre métodos de inspeção não destrutivos aplicado a peças compósitas laminadas sólidas estruturais aeronáuticas**. 2011. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

REZENDE, M. C. **Fractografia de compósitos estruturais**. Polímeros [online]. 2007, v. 17, n. 3, pp. E4-E11. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v17n3/003.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

OLIVEIRA, J. H. I. **Desenvolvimento do processo de fabricação de laminados de material composto polimérico de fibra de vidro para aplicação na construção aeronáutica**. 2007. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.biblioteca.digital.ufmg.br/dspace/handle/1843/SBPS-7B5M9G>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

PINHEIRO, F. M. **Fibra de carbono em equipamentos de laboratório para aplicações em engenharia naval e oceânica**. 2014. 72 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica, Rio de Janeiro.

TSURUTA, K. M. **Monitoramento de integridade estrutural de materiais compostos sujeitos a impactos empregando a técnica da impedância eletromecânica**. 2008. 138 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

## Unidade 2

### Sistema de água potável, toaletes e *galleys*

AIRBUS. **Aircraft characteristics**: airport and maintenance planning. France: Airbus, 2005. Disponível em: <[http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/tech\\_data/AC/Airbus-AC-A330-20140101.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A330-20140101.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 121**: requisitos operacionais – operações domésticas, de bandeira e suplementares. 2010a. Emenda 03. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC121EMD03.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 147**: centros de instrução de aviação civil, para formação e qualificação de mecânicos de manutenção de aeronaves. 2010b. Emenda 00. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/transparencia/pdf/15/ane-xo.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC nº 2**, de 8 de janeiro de 2003. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/249bdc004e5f99d-99861dcd762e8a5ec/RDC\\_02\\_2003.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/249bdc004e5f99d-99861dcd762e8a5ec/RDC_02_2003.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 17 nov. 2015.

## Unidade 3

### Sistemas de comunicação e navegação

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 43**: manutenção, manutenção preventiva, reconstrução e alterações. 2013. Emenda 01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC43EMD01.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 91**: regras gerais de operações para aeronaves civis. 2003. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha091.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 3 set. 2015.

## Unidade 4

### Sistemas de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Proteção contra chuva e gelo**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: células de aeronaves. Rio de Janeiro: IAC, 2002. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/celula/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

CURSO ONLINE DE SEGURANÇA DO TRABALHO. **Classificação**: classes e tipos de incêndio. 2015? Disponível em: <<http://www.cursosegurancadotrabalho.net/2013/09/Classificacao-Classes-e-Tipos-de-Incendio.html>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

DEWITT, W. E. **Compreendendo dispositivos de detecção de fogo**. In: Técnica: segurança em risco. Boletim informal de segurança. 2008? Disponível em: <<http://www.risco.com.br/Boletins/Compreendendo-Dispositivos-de-Deteccao-de-Fogo.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **FAA-H-8083-31**: aviation maintenance technician handbook - airframe. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012. Disponível em: <[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_airframe\\_handbook/media/amt\\_airframe.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2015.

GARCIA, R. C. **Sistema de proteção contra fogo no motor**. In: Aero TD Escola de Aviação. 2005? Disponível em: <<http://www.aerotd.com.br/decoleseufuturo/wp-content/uploads/2015/05/SISTEMA-DE-PROTEÇÃO-CONTRA-FOGO-NO-MOTOR.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

GRIMM, A. M. **Classificação de nuvens**. In: **Meteorologia básica**: notas de aula. 2010? Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-2-2.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

LITO. **De-icing**: como descongelar um avião para decolar com segurança? 2010. Disponível em: <<http://www.avioesemusicas.com/de-icing-como-descongelar-um-aviao-para-decolar-com-seguranca.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MICHAELIS. **Dicionário prático da Língua Portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2012.

MUNDO AERONÁUTICO. **Proteção contra fogo**. 2015? Disponível em: <<http://itamarcionetto.no.comunidades.net/protecao-contrafogo>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

PROTOLAB. **Termopar**. 2015? Disponível em: <<http://www.protolab.com.br/Termopar.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

WATANABE, R. M. **A formação das nuvens**. 2013. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/roberto/chuvas/nuvens.htm>> Acesso em: 15 jun. 2015.

## Unidade 5

### Sistemas elétricos

AUSTRÁLIA. Civil Aviation Safety Authority. **Advisory Circular: AC 21-99(1)** – aircraft wiring and bonding. Canberra: Civil Aviation Safety Authority, 2013. Disponível em: <[https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/\\_assets/main/rules/1998cast/021/021c99.pdf](https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/_assets/main/rules/1998cast/021/021c99.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **FAA-H-8083-31**: aviation maintenance technician handbook – airframe. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012. v. 1. Disponível em: <[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_airframe\\_handbook/media/amt\\_airframe.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/amt_airframe.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2015.

TOOLEY, M.; WYATT, D. **Aircraft electrical and electronic systems**. New York: Routledge, 2009.

## Unidade 6

### Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

BIANCH, M. P. **Motores a reação**. São Paulo: Bianch, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 145**: organizações de manutenção de produto aeronáutico. 2014. Emenda 01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC145.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Reparos estruturais**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: células de aeronaves. Rio de Janeiro: IAC, 2002b. pp. 1-123. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/celula/>>. Acesso em: 14 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 14 out. 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **FAA-H-8083-31**: aviation maintenance technician handbook - airframe. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012. v. 1 e 2. Disponível em: <[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_airframe\\_handbook/](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/)>. Acesso em: 14 out. 2015.

\_\_\_\_\_. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **FAA-H-8083-30**: general. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2008. Disponível em: <[http://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_handbook/](http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_handbook/)>. Acesso em: 14 out. 2015.

SAINTIVE, N. S. **Teoria de voo**: introdução à aerodinâmica. São Paulo: ASA, 2012.

SILVA, P. R. da. **Helicóptero conhecimentos técnicos**: noções fundamentais. – 3ª ed. – São Paulo: ASA, 2011.

## Unidade 7

### Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

AIRBUS GROUP (França). **Technical training manual maintenance course – T1 (V2500-A5/ME)**: electrical power. [S.l.]: Airbus Group, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 20 set. 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **FAA-H-8083-31**: aviation maintenance technician handbook - airframe. Oklahoma City, OK: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2012. v. 1 e 2. Disponível em: <[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/amt\\_airframe\\_handbook/](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

# Unidade 8

## Soldagem

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 43**: manutenção, manutenção preventiva, reconstrução e alterações. 2013. Emenda 01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC43EMD01.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 65**: despachante operacional de voo e mecânico de manutenção aeronáutica. 2001. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha065.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBHA 141**: escolas de aviação civil. 2004a. Emenda 141-01. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha141.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto de Aviação Civil (IAC). Divisão de Instrução Profissional (DIP). **Soldagem**. In: **Mecânico de manutenção aeronáutica**: células de aeronaves. Rio de Janeiro: IAC, 2002. pp. 1-38. Disponível em: <<http://aviacaomarte.com.br/celula/>>. Acesso em: 3 mai. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica (COMAER). Departamento de Aviação Civil (DAC). **MCA 58-13**: manual do curso mecânico de manutenção aeronáutica – célula. Brasília: DAC, 2004b. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>>. Acesso em: 14 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 9**: Programas de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília: MTE, 2011a. Disponível em: <[http://www3.mte.gov.br/seg\\_sau/leg\\_normas\\_regulamentadoras.asp](http://www3.mte.gov.br/seg_sau/leg_normas_regulamentadoras.asp)>. Acesso em: 10 mai. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15**: Atividades e operações insalubres. Brasília: MTE, 2011b. Disponível em: <<http://www.portal.mte.gov.br/legislacao/norma-reguladora-n-15-1.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

ESAB. **Apostila de soldagem MIG/MAG**. Contagem: ESAB, 2005. Disponível em: <<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/index.cfm>>. Acesso em: 17 out. 2015.

FOGAGNOLO, J. B. **Introdução a processos e metalurgia da soldagem**. Apostila 1. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas**: processos. Porto Alegre: Editado pelo autor, 2007.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

NERIS, M. M. **Soldagem**. São Paulo: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Sousa, 2012.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Soldagem**. São Paulo: Senai-SP Editora, 2013.

# Gabarito

## Unidade 1 - Revestimento de aeronaves

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	B	B	B	B
2	D	B	D	A	C
3	B	B	D	A	B

## Unidade 2 - Sistema de água potável, toaletes e galleys

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	B	D	D	C
2	C	B	D	A	C
3	D	B	D	B	D

## Unidade 3 - Sistemas de comunicação e navegação

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	B	C	D	A	C
2	C	D	D	A	B
3	C	D	B	A	B
4	C	B	C	C	B
5	C	B	D	C	B
6	C	B	C	C	B
7	C	B	D	A	B

## Unidade 4 - Sistema de proteção contra os efeitos da chuva e do gelo e contra o fogo

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	B	D	A	B
2	C	B	D	A	B
3	C	B	D	A	B
4	C	B	B	A	B
5	C	B	D	A	B
6	C	B	D	A	B
7	C	B	D	A	B

### Unidade 5 - Sistemas elétricos

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	D	D	B	D
2	C	D	B	A	B
3	A	C	B	D	B
4	B	B	D	C	A
5	B	A	D	D	D
6	C	B	A	C	A
7	C	C	B	D	A
8	C	B	C	A	A

### Unidade 6 - Sistemas hidráulicos e de trens de pouso

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	B	A	A	D
2	C	C	B	C	A
3	D	C	B	C	A
4	A	C	A	D	C
5	D	A	D	B	B
6	D	B	A	A	C
7	B	A	C	A	D
8	B	D	A	D	A
9	B	D	A	A	A
10	C	A	A	A	B
11	A	B	A	B	A
12	A	A	C	C	A
13	D	A	C	D	C
14	A	B	D	A	C
15	D	D	A	A	A

### Unidade 7 - Sistemas pneumáticos, de pressurização, de ar condicionado e de oxigênio

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	A	B	C	C	B
2	B	A	A	A	B
3	C	A	A	B	B
4	B	A	C	C	B

## Unidade 8 - Soldagem

Capítulo	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
1	C	B	D	A	B
2	D	A	D	C	B
3	D	B	A	D	B
4	C	D	A	C	B
5	C	D	A	B	B
6	C	B	B	B	B
7	C	B	A	D	C
8	C	B	A	D	C
9	B	C	B	D	B
10	D	B	A	D	B

