Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH

ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÃO SEGURA DE FLUIDOS REFRIGERANTES INFLAMÁVEIS EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Presidente
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente
GERALDO ALCKMIN

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
Ministra
MARINA SILVA

SECRETARIA-EXECUTIVA
Secretário-Executivo
JOÃO PAULO RIBEIRO CAPOBIANCO

SECRETARIA NACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA
Secretário
ALOISIO LOPES PEREIRA DE MELO

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E INSTRUMENTOS DE IMPLEMENTAÇÃO
Diretor Substituto
ÉRICO RIAL PINTO DA ROCHA

COORDENAÇÃO-GERAL DE MITIGAÇÃO E PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO
Coordenador-Geral
LEANDRO GOMES CARDOSO

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Mudança do Clima
Departamento de Políticas de Mitigação e Instrumentos de Implementação

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs–PBH

ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÃO SEGURA DE FLUIDOS REFRIGERANTES INFLAMÁVEIS EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Brasília/DF
MMA
2025

© 2025 Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados a fonte do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima ou sítio da Internet no qual podem ser encontrados os originais em: https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfcs-pbh.pdf

Equipe Técnica

MMA

Coordenação Técnica
Frank Edney Gontijo Amorim (MMA/SMC/DPMI)
Tatiana Lopes de Oliveira Pereira (MMA/SMC/DPMI)
Gabriela Teixeira Rodrigues Lira (MMA/SMC/DPMI)

Revisão de Texto
Laura Nicoli Pereira e Silva

GIZ

Escritor (Conteúdo Técnico Internacional)
Rolf Huehren

Coordenação Técnica
Stefanie von Heinemann

Colaboração (Administração)
Mariana Silva
Luisa Bretas

Tradução (inglês → português)
Renata Hetmanek (Academia das Palavras)

Projeto Gráfico, Diagramação e Arte
Avante Brasil Informática e Treinamento Ltda.

Revisão Ortográfica e Edição de Texto
Susana Ferraz (Sete Estrelas Comunicação)

Este material foi elaborado no âmbito do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima — MMA e implementado pela Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima — MMA ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823p Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs-PBH : orientações para a aplicação segura de fluidos refrigerantes inflamáveis em sistemas de ar condicionado. – Brasília, DF : MMA, 2025.
614 p.

ISBN 978-85-7738-487-7

1. Fluidos refrigerantes. 2. Impacto ambiental. 3. Protocolo de segurança. I. Título.

CDU 614.87

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente
Thaís da Silva Rodrigues – CRB1/3688

Lista de figuras

Figura 1 – Revoluções causadas por invenções com fluidos refrigerantes 37

Figura 2 – Evolução do buraco da Camada de Ozônio 40

Figura 3 – Cronogramas de eliminação do uso de CFCs e HCFCs em países desenvolvidos e em desenvolvimento, conforme o Protocolo de Montreal 41

Figura 4 – Cronograma de eliminação do consumo de HCFCs no Brasil 44

Figura 5 – Estratégia de redução do consumo de HCFCs – PBH Etapa II 47

Figura 6 – Redução gradual do consumo de HFCs de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal 52

Figura 7 – Diagrama de Sankey mostrando as emissões europeias totais (UE-28) das substâncias halogenadas 57

Figura 8 – Emissões de equipamentos de AVAC-R 59

Figura 9 – "Grande salto" para tecnologias de refrigeração verde 61

Figura 10 – Zona de conforto em relação a umidade e temperatura 67

Figura 11 – Influências que determinam o bem-estar térmico 68

Figura 12 – Diagrama de temperatura/entalpia da água 69

Figura 13 – Conceito de carga interna 72

Figura 14 – Mecanismo de transporte de calor 75

Figura 15 – Uso de unidades SI nos países em cinza; não utilização das unidades SI nos países em laranja 77

Figura 16 – Tabelas de conversão de unidades 78

Figura 17 – Termômetro com escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit para água (p = 1.013 mbar) 82

Figura 18 – Manômetro indicando pressão absoluta e sobrepressão 84

Figura 19 – Ilustrações visuais de mudanças de fases 89

Figura 20 – Diagrama de temperatura-entalpia da água 91

Figura 21 – Diagrama de temperatura-pressão da água 92

Figura 22 – Diagrama de pressão-temperatura de alguns fluidos refrigerantes 93

Figura 23 – Sistema genérico de expansão direta do circuito de refrigeração do ar condicionado do tipo split 97

Figura 24 – Circuito de refrigeração de ar condicionado do tipo split (bomba de calor) no modo de refrigeração 100

Figura 25 – Diagrama log P/h do R-290 102

Figura 26 – Linha de líquido saturado, linha de vapor saturado e o ponto crítico 103

Figura 27 – Linhas isobáricas 104

Figura 28 – Linhas isentálpicas 105

Figura 29 – Linhas isotérmicas 106

Figura 30 – Linhas de isovapor 107

Figura 31 – Linhas isentrópicas 108

Figura 32 – Entrada de energia/potência no diagrama log P/h 111

Figura 33 – Processos no diagrama log P/h 112

Figura 34 – Designações dos pontos de medição do circuito de refrigeração para relevância em diagramas de tubulação e instrumentação (PID) 113

Figura 35 – Classificação do grupo de segurança 120

Figura 36 – Indicação de variação de temperatura com o diagrama log P/h 126

Figura 37 – Diagrama log P/h de uma mistura zeotrópica de fluido refrigerante 127

Figura 38 – Informações de um fabricante de compressores para lubrificantes 140

Figura 39 – Exemplos de kit de teste de acidez 141

Figura 40 – Kit de análise do óleo 142

Figura 41 – Elementos básicos de um sistema de refrigeração 147

Figura 42 – Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação — layout e símbolos 149

Figura 43 – PID de um refrigerador genérico doméstico 150

Figura 44 – PID de um aparelho de ar condicionado do tipo split com função de bomba de calor 151

Figura 45 – Exemplo de PID de um sistema de refrigeração comercial 152

Figura 46 – Sistema direto com evaporador de expansão seca 154

Figura 47 – Sistema direto com operação de evaporador inundado 156

Figura 48 – Layout de um sistema de refrigeração indireto–indireto do lado “frio”, direto do lado “quente” 160

Figura 49 – Layout de um sistema de refrigeração indireto–indireto do lado “frio” e indireto do lado “quente” 161

Figura 50 – Normas de segurança desenvolvidas por vários órgãos de padronização 185

Figura 51 – Intervalo de Potencial de Aquecimento Global (GWP) versus classificação de segurança . 207

Figura 52 – Posição de diferentes fluidos refrigerantes em relação a HOC e velocidade da chama 216

Figura 53 – Triângulo do fogo..... 228

Figura 54 – Fontes de ignição mais comuns..... 229

Figura 55 – Aterramento durante o trabalho para evitar descarga eletrostática 236

Figura 56 – Intervalos de concentração de algumas substâncias inflamáveis selecionadas..... 238

Figura 57 – Queimadura pelo frio provocada pela amônia..... 242

Figura 58 – Acidente com ulceração produzida pelo frio devido ao fluido refrigerante..... 242

Figura 59 – Massas molares específicas de determinados gases em comparação com o ar..... 247

Figura 60 – Tipos de substâncias sob pressão e de temperaturas muito baixas..... 248

Figura 60 – Tipos de substâncias sob pressão e de temperaturas muito baixas..... 251

Figura 62 – Tratamento de primeiros socorros em caso de lesões causadas pelo frio..... 257

Figura 63 – Plano de ação em resposta a uma emergência..... 259

Figura 64 – Visão geral das medidas de segurança ocupacional 262

Figura 65 – Capacete rígido 265

Figura 66 – Capacete para soldagem, etc..... 265

Figura 67 – Protetores pré-moldados..... 266

Figura 68 – Abafadores..... 266

Figura 69 – Óculos de segurança..... 266

Figura 70 – Óculos de segurança com visão completa..... 266

Figura 71 – Óculos de segurança na cor verde 266

Figura 72 – Luvas de segurança para brasagem 267

Figura 73 – Luvas de segurança para trabalhos mecânicos..... 267

Figura 74 – Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo 267
Figura 75 – Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R-717 e óleo 267
Figura 76 – Luvas de segurança para trabalhos elétricos 267
Figura 77 – Exemplo de detector de gás inflamável 276
Figura 78 – Exemplo de vazamento de referência 276
Figura 79 – Exemplo de recolhedora de fluidos refrigerantes inflamáveis 276
Figura 80 – Exemplo de bomba manual de recolhimento de fluido refrigerante sem faísca 276
Figura 81 – Exemplo de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis 277
Figura 82 – Interconexão de cilindro de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis 277
Figura 83 – Exemplo de bomba de vácuo sem faísca 277
Figura 84 – Exemplo de bomba de vácuo sem faísca 277
Figura 85 – Exemplo de mangueira trançada de PVC 278
Figura 86 – Exemplo de regulador de pressão de nitrogênio 278
Figura 87 – Exemplo de dispositivo de regulagem de nitrogênio 278
Figura 89 – Exemplo de tocha para queima de HC 279
Figura 90 – Exemplo de ventilador à prova de explosão 279
Figura 91 – Exemplo de ventilador à prova de explosão 279
Figura 92 – Exemplo de detector de gás portátil 280
Figura 93 – Exemplo de balança sensível de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis 280
Figura 94 – Exemplo de suporte para a balança de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis 280
Figura 96 – Exemplo de palito antifaísca 281
Figura 97 – Exemplo de ferramentas de serviço antifaíscas para o circuito de refrigeração inflamável 281
Figura 98 – Exemplo de pulseira de aterramento 281
Figura 99 – Exemplo de fio de bobina de aterramento com garra jacaré 282
Figura 100 – Exemplo de plugue de aterramento 282
Figura 101 – Exemplo de parafuso de contato para, por exemplo, o uso no cilindro de recolhimento 282
Figura 102 – Alturas relevantes da norma IEC60335-2-40 GG.3 296

Figura 103 — Área não ventilada GG.1 da norma IEC60335-2-40 297
Figura 104 — Ventilação mecânica GG.2 da norma IEC60335-2-40 298
Figura 105 — Símbolo de área útil mínima da sala..... 303
Figura 106 — Parâmetros determinando a quantidade máxima de fluido refrigerante inflamável..... 305
Figura 107 — Exemplo — aparelho completo dentro do espaço ocupado 318
Figura 108 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, evaporador dentro do espaço ocupado..... 319
Figura 109 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, evaporador dentro de um gabinete 320
Figura 110 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, AHU..... 321
Figura 111 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão indireta, fan coils..... 323
Figura 112 — Exemplo de sistema indireto split — AHU 324
Figura 113 — Classificação de zonas inflamáveis..... 327
Figura 114 — Ilustração de zonas inflamáveis temporárias e área de segurança 329
Figura 115 — Princípios da ventilação natural 330
Figura 116 — Exemplo de ventilação mecânica—forçada 331
Figura 117 — Esquerda: Sistema de dispositivo de expansão capilar (aparelho de ar condicionado do tipo split); Direita: Sistema de injeção capilar—refrigerador doméstico 337
Figura 118 — Purga da válvula de segurança e classificação de zona à prova de explosão, exemplo 1 ..339
Figura 119 — Purga da válvula de segurança e classificação de zona à prova de explosão, exemplo 2 ..340
Figura 122 — Organização do local de trabalho com o reconhecimento de “Zonas Inflamáveis Temporárias”347
Figura 123 — Exemplo de detector eletrônico de gás 353
Figura 124 — Exemplo de detector eletrônico portátil de gás 353
Figura 125 — Vazamento de referência para teste de detector portátil de gás..... 353
Figura 126 — Detector portátil de gás para uso como EPI..... 354
Figura 127 — Exemplo de sistema de medição de gás MF420-Ex-2.1 com aprovação ATEX para zonas 1 e 2..... 354
Figura 128 — Determinar a taxa de vazamento do R-22 exemplar usando a medição de concentração do gás marcador 356
Figura 129 — Detector de gás eletrônico para uso com gás marcador (95% N_2 e 5% H_2) 357

Figura 130 — Matriz de avaliação de risco e medidas de acompanhamento 361
Figura 131 — Exemplo da relação entre a temperatura externa e a capacidade de refrigeração 372
Figura 132 — Exemplo de esboço de local de instalação 376
Figura 133 — Exemplo de colocação correta da unidade interna 378
Figura 134 — Exemplo de instalação adequada da unidade externa na parede..... 379
Figura 135 — Exemplo de instalação inadequada da unidade externa..... 379
Figura 136 — Exemplo de conexões elétricas entre as unidades interna e externa 383
Figura 137 — Posicionamento ideal do cabo elétrico e dos tubos pelo buraco na parede, todos os tubos estão isolados..... 384
Figura 138 — Cilindro de nitrogênio (OFDN) com regulador de pressão apropriado 397
Figura 139 — Interferência proibida em cilindro de OFDN 397
Figura 140 — Organização do equipamento para o teste de pressão 398
Figura 141 — Uso de um manômetro separado para marcação e monitoramento da pressão 399
Figura 142 — Exemplo de regulador de pressão e manômetro para teste de pressão 399
Figura 143 — Configuração do teste de resistência à pressão..... 399
Figura 144 — Fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo 405
Figura 145 — Processos e ferramentas utilizados para implementar métodos diretos e indiretos de detecção de fluido refrigerante — vazamentos 406
Figura 146 — Flushing com nitrogênio seco e sem oxigênio (OFDN)..... 412
Figura 147 — Indicação de vácuo profundo com um vacuômetro eletrônico 418
Figura 148 — Indicação de vácuo em um manômetro analógico de pressão 418
Figura 149 — Correlação entre pressão e temperatura da água 421
Figura 150 — Configuração de evacuação do circuito de refrigeração 426
Figura 151 — Carga de fluido refrigerante inflamável 429
Figura 152 — Exemplo de etiqueta para unidades carregadas em campo 430
Figura 153 — Dispositivo de limitação de pressão para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis — referência DANFOSS KPE 435
Figura 154 — Exemplo de válvula de segurança (dispositivo de alívio de pressão) 443
Figura 155 — Exemplo de um disco de ruptura ou rompimento 443

Figura 156 — Exemplo de plugue fusível 443

Figura 157 — Exemplo de sistema de refrigeração genérico incluindo dispositivos limitadores de pressão de segurança 447

Figura 158 — Fluxograma mostrando a troca do tipo de fluido refrigerante 464

Figura 159 — Providências tomadas para evitar a formação de uma atmosfera explosiva perigosa 468

Figura 160 — Suspeita de operação de recolhimento para unidade esterna ("*pump-out*") em aparelho de ar condicionado do tipo split 477

Figura 161 — Explosão e combustão rápidas e grandes 477

Figura 162 — "Efeito diesel" — Recolhimento do circuito de refrigeração para dentro da unidade externa ("*pump-out*"), se houver entrada de ar envolvida 478

Figura 163 — Fluido refrigerante inflamável vazando de um cilindro e criando nuvens inflamáveis . 481

Figura 164 — Manipulação (recarga) proibida de cilindros DOT 39 — carga de líquido e gás 484

Figura 165 — Exemplo de cilindro de HC R-290 DOT 39 com a marcação adequada 485

Figura 166 — Código de cores dos cilindros de acordo com a Diretriz N da AHRI 488

Figura 167 — Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis 496

Figura 168 — Tampa de proteção da válvula do cilindro (esquerda) e adaptador do cilindro para conexão da mangueira de carga com a marcação entalhada (gás inflamável) (direita) 496

Figura 169 — Cartucho de fluido refrigerante HC R-290 recarregável — carga de fluido refrigerante de cerca de 370 gramas 497

Figura 170 — Suporte de carga para HC R-290 com mangueira, válvula de esfera e conexão do cilindro/manifold 497

Figura 171 — Cartucho de fluido refrigerante HFC R-32 recarregável — carga de fluido refrigerante de cerca de 800 gramas 497

Figura 172 — Suporte de carga para HFC R-32 com mangueira, válvula de esfera e conexão do cilindro/manifold 497

Figura 173 — Preparação de equipamentos e ferramentas para liberação do fluido refrigerante HC para o ar livre 497

Figura 174 — Cenário de recolhimento de gás inflamável e exemplo de configuração de trabalho no local da instalação 506

Figura 175 — Gráfico mostrando a carga máxima do cilindro de recolhimento de fluidos refrigerantes HC de acordo com a norma EN 378-4:2016+A1:2019 507

Figura 176 — Proibido para armazenamento interno 521

Figura 177 — Exemplos de sinalização para armazenamento de gases inflamáveis 524
Figura 178 — Ventilação (ventilação cruzada) da área de armazenamento 524
Figura 179 — Proibido para armazenamento externo 525
Figura 180 — Carrinho de mão para o transporte de cilindros com uma correia ou cinta para proteger o cilindro 528
Figura 181 — Sistema de entrada de ar 532
Figura 182 — Sistema de extração de ar 533
Figura 183 — Símbolos de perigo 536
Figura 184 — ADR — Etiquetas para classes de produtos perigosos 537
Figura 185 — Exemplo de etiqueta em cilindro de fluido refrigerante para o R-290 539
Figura 186 — Exemplo de etiqueta em cilindro de gás comprimido para o nitrogênio 539
Figura 187 — Exemplo de etiqueta em cilindro de fluido refrigerante para o R-717 540
Figura 188 — Disciplina na rotina de trabalho 557
Figura 189 — Formulários de avaliação geral de risco 558
Figura 190 — Avaliação de perigos de explosão devido a gases, vapores ou névoas em ambientes externos e internos 560
Figura 191 — Modelo de avaliação de risco de última hora 565
Figura 192 — Permissão de trabalho geral 566
Figura 193 — Permissão para trabalhar — trabalho a quente 569
Figura 194 — Procedimento de isolamento elétrico seguro 570
Figura 195 — Relatório e certificados de teste para sistemas de AVAC-R 571
Figura 196 — Ficha de dados de start-up para ar condicionado do tipo split 577
Figura 197 — Registro de teste do circuito de refrigeração 578
Figura 198 — Registro do Consumo de Corrente & Teste de Resistência do Isolamento do Motor ... 580

Lista de tabelas

Tabela 1 — Atos regulatórios sobre a eliminação do consumo de HCFCs e HFCs no Brasil 45

Tabela 2 — Cronograma de redução gradual para Partes A5 e A2 para fluidos refrigerantes HFC de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal.....53

Tabela 3 — Tipos de sistemas de ventilação, ar condicionado central e ar condicionado de pequeno porte baseados em funções 64

Tabela 4 — Unidades relevantes relacionadas à refrigeração básica 77

Tabela 5 — Legendas dos símbolos — Aparelho de ar condicionado do tipo split na versão "bomba de calor" 101

Tabela 6 — Símbolos e unidades usados (conforme a norma DIN 8941) 114

Tabela 7 — Resumo dos fluidos refrigerantes mais usados 121

Tabela 8 — Exemplos de designação de fluidos refrigerantes orgânicos 123

Tabela 9 — Compostos de fluidos refrigerantes, significado e átomos 130

Tabela 10 — Lubrificantes para sistemas de refrigeração.....139

Tabela 11 — Compatibilidade e solubilidade de diferentes óleos com HCs.....140

Tabela 12 — Legenda dos símbolos — Aparelho de ar condicionado do tipo split 151

Tabela 13 — Legenda dos símbolos — Sistema de refrigeração comercial 152

Tabela 14 — Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais.....187

Tabela 15 — Lista de normas aplicáveis de AVAC-R (resumo).....188

Tabela 16 — Resumo das normas de segurança mais relevantes de AVAC-R 196

Tabela 17 — CLP — Critérios para a categorização de gases inflamáveis 202

Tabela 18 — Classificação de alguns fluidos refrigerantes selecionados.....204

Tabela 19 — Características comuns de inflamabilidade de fluidos refrigerantes conforme a ISO 817 217

Tabela 20 — Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes 221

Tabela 21 — Composição do ar.....243

Tabela 22 — Sintomas de deficiência de oxigênio 243

Tabela 23 — Extintor de incêndio recomendado para aplicações de AVAC-R 256

Tabela 24 — Proteção da cabeça 265

Tabela 25 — Proteção auricular 266

Tabela 26 — Proteção dos olhos 266

Tabela 27 — Proteção para as mãos 267

Tabela 28 — Proteção para os pés 268

Tabela 29 — Roupas de trabalho e arnês de segurança 268

Tabela 30 — Equipamentos de proteção respiratória para procedimentos técnicos de RAC 271

Tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis 276

Tabela 32 — Esboço do Anexo GG.1 286

Tabela 33 — Exemplos dos limites máximos de carga de fluido refrigerante para A2L, A2 e A3 288

Tabela 34 — Carga máxima de fluido refrigerante m_{max} fornecida para determinadas áreas úteis A_{min} 291

Tabela 35 — Área mínima da sala A_{min} fornecida para algumas cargas de fluido refrigerante 291

Tabela 36 — Visão geral da fórmula para seções GG — requisitos para limites de carga de fluido refrigerante 292

Tabela 37 — Símbolos e significados da fórmula 295

Tabela 38 — Exemplos de fluidos refrigerantes inflamáveis, cargas calculadas e valores máximos 302

Tabela 39 — Tipos de ocupação e exemplos 306

Tabela 40 — Tamanhos de carga máximos permitidos, abordagem geral como exemplo para inflamabilidade classe A3 310

Tabela 41 — Limites de carga para sistema selado e fator de limitação m1 = 4 m³ x LII 312

Tabela 42 — Tamanhos de carga máxima permitidos para ar condicionado do tipo split com fluido refrigerante R-290 em um apartamento com ocupação geral 314

Tabela 43 — Relacionamento entre zonas e categorias de equipamento 352

Tabela 44 — Correlação do tipo de aprovação CE (ATEX) e a categoria do equipamento 352

Tabela 45 — Perigos comuns relativos a perigos ocupacionais 359

Tabela 46 — Valores padrão de torque de aperto 386

Tabela 47 — Visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos em campo 409

Tabela 48 — Defeitos no sistema de refrigeração devido a produtos de reações 416

Tabela 49 — Comparação de unidades de vácuo diferentes em relação ao nível de vácuo absoluto em porcentagem 419

Tabela 50 — As temperaturas de projeto em relação à temperatura ambiente para sistemas de AVAC-R .. 445

Tabela 51 — Exemplo de folha de dados de troca de fluido refrigerante e etiqueta 461

Tabela 52 — Exemplo de etiqueta de troca de fluido refrigerante no equipamento 463

Tabela 53 — Instruções de embalagem do ADR P200 e exemplos de especificações de cilindros recarregáveis 490

Tabela 54 — Exemplo de tamanhos comuns e especificações para cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis 491

Tabela 55 — Conexões para cilindros e tanques de fluido refrigerante 493

Tabela 57 — Compatibilidade de gases para armazenamento 520

Tabela 58 — Produtos mais comuns transportados por empresas de RAC 538

Tabela 59 — Cálculo simplificado para o transporte de produtos perigosos 542

Lista de abreviações

Sigla	Definição
AB	Alquilbenzeno
AC	Ar condicionado
ADR	Acordo europeu relativo ao transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia (do inglês, *Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*)
AHRI	Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração (do inglês, *Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute*)
AHU	Unidade de tratamento de ar
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
ASME	Sociedade dos Engenheiros Mecânicos dos Estados Unidos
ATEL	Limite de Exposição a Toxicidade Aguda
ATEX	Atmosfera Explosiva (do francês, *Atmosphères Explosibles*)
AVAC-R	Aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração
CE	Conformidade Europeia
CFC	Clorofluorcarbonos

CLP	Regulamento sobre Classificação, Rotulagem e Embalagem (do inglês, *Classification, labelling and packaging of Chemicals*)
COP	Coeficiente de Desempenho
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais
DOT	Departamento de Transporte (EUA)
EEA	Agência Ambiental Europeia
EN	Norma Europeia (Normas)
EPI	Equipamento de proteção individual
ESD	Descarga eletrostática (do inglês, *Electrostatic Discharge*)
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
FML	Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal
FS	Velocidade da chama (do *inglês, Flame Speed)*
GHS	Sistema Globalmente Harmonizado (do inglês, *Globally Harmonized System*)
GNC	Gás não condensável
GWP	Potencial de Aquecimento Global (em inglês, *Global Warming Potential*)
HC	Hidrocarbonetos
HCFC	Hidroclorofluorcarbonos
HFC	Hidrofluorcarbonos

HFO	Hidrofluorolefinas
HOC	Calor de combustão (do *inglês, Heat of Combustion*)
IDU	Unidade interna
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
K	Kelvin
LCC	Custo do Ciclo de Vida (em inglês, *Life Cycle Cost*)
LCCP	Desempenho Climático durante o Ciclo de Vida (em inglês, *Life Cycle Climate Performance*)
LEO	Limite de exposição ocupacional
LII	Limite inferior de inflamabilidade
LMRA	Avaliação de risco de último minuto (do inglês, *Last Minute Risk Assessment*)
LP	Limite prático
LSI	Limite superior de inflamabilidade
M	Óleos minerais
ODL	Limite de privação de oxigênio
ODU	Unidade externa
OFDN	Nitrogênio seco sem oxigênio
OSHA	Administração da segurança e da saúde ocupacional
Pa	Pascal (unidade de pressão no sistema internacional de unidades)
PAG	Polialquilenoglicol

PAO	Polialfaolefinas
PDO	Potencial de Destruição do Ozônio
POE	Óleo à base de poliéster
PS	Pressão máxima permitida
PTW	Permissões de trabalho (do inglês, *Permissions to work*)
RAC	Refrigeração e ar condicionado
REACH	Registro, avaliação, autorização e restrição de produtos químicos (do inglês, *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*)
SDOs	Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio
SDS	Fichas de segurança
SI	Sistema internacional de unidades (a sigla SI vem do francês, *French Système International*)
SSO	Segurança e Saúde Ocupacional
TEWI	Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (do inglês, *Total Equivalent Environmental Impact*)
TFA	Ácido trifluoroacético (fórmula CF_3COOH) (do inglês, *Trifluoroacetic Acid*)
UE	União Europeia
UL	Underwriters Laboratories
VFD	Inversor de frequência variável
VDE	Federação Alemã das Indústrias Eletrotécnicas, Eletrônicas e de Tecnologia da Informação

APRESENTAÇÃO

Em 2007, durante a comemoração dos 20 anos de existência do Protocolo de Montreal e após o bem-sucedido processo de eliminação do consumo de CFCs (clorofluorcarbonos), as Partes do Protocolo de Montreal, incluindo o Brasil, decidiram antecipar o cronograma de eliminação do consumo de HCFCs, por meio da aprovação da Decisão XIX/6.

Para isso, o governo brasileiro coordenou a elaboração do **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)**, contando com a participação de entidades representativas dos setores privado e governamental. O cronograma de eliminação do consumo de HCFCs foi dividido em etapas. A Etapa I do PBH, que ocorreu no período de 2013 a 2019, eliminou 16,6% do consumo de HCFCs. A Etapa II vem sendo implementada desde 2017 e contribuiu para a eliminação de 39,3% do consumo de HCFCs em 2020 e de 51,6% em 2021. A Etapa III do PBH, aprovada durante a 94ª Reunião do Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, em maio de 2024, já eliminou 67,5% do consumo de HCFCs e promoverá ainda a eliminação de 100%, em 2030.

O PBH inclui projetos para a redução do consumo dos HCFCs nos setores de manufatura e de serviços de equipamentos de refrigeração comercial e de ar condicionado, entre outros.

A entidade responsável pela coordenação do PBH é o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). A Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH é uma empresa federal alemã de cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável que atua, no âmbito do PBH, como responsável pela execução de projetos para o setor de serviços, com o objetivo de reduzir o consumo de HCFCs com foco principal no R-22 e o R-141b e, ao mesmo tempo, introduzir o uso seguro e eficiente de fluidos refrigerantes alternativos de zero potencial de destruição da Camada de Ozônio (PDO) e de baixo potencial de aquecimento global (GWP).

Desde a Etapa I do PBH, um dos focos principais das ações para o setor de serviços, tem sido a capacitação técnica de profissionais de campo e a divulgação das boas práticas e tecnologias alternativas aos HCFCs. Até 2025, mais de 16.000

profissionais foram capacitados em boas práticas em refrigeração, visando à melhor contenção dos HCFCs, durante a instalação, a operação, a manutenção e o reparo de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, por meio de parcerias estabelecidas com escolas técnicas de todo o País.

Uma parte essencial deste trabalho, voltada a facilitar a transição para o uso seguro de fluidos refrigerantes alternativos, vem sendo a criação de conhecimentos e habilidades abrangentes bem como a disseminação das boas práticas sobre o uso seguro e eficiente de tecnologias alternativas de baixo GWP, destinadas a engenheiros/as, técnicos/as e operadores/as envolvidos em projeto, fabricação, vendas, instalação, manutenção, reparo e uso de sistemas de refrigeração e ar condicionado. Para isso, os projetos do PBH para o setor de serviços vêm aprimorando as capacidades institucionais e estruturas técnicas de instituições de ensino técnico profissionalizante, permitindo assim a realização de centenas de cursos de capacitação modernos e de última geração para técnicos/as e engenheiros/as de campo.

Neste sentido, destaca-se o Projeto de Treinamento para **Uso Seguro e Eficiente de Fluidos Inflamáveis em Sistemas de Ar Condicionados do tipo Split**, que tem como meta a capacitação 5.700 técnicos/as que atuam neste setor em todas as cinco regiões do País até 2030.

Este manual, criado especialmente para este treinamento, tem como finalidade oferecer orientação profissional aos técnicos e técnicas que trabalham no setor para a aplicação das boas práticas e manuseio seguro de fluidos inflamáveis durante os trabalhos em campo, principalmente durante os serviços de instalação, manutenção e reparo. Além da segurança, as boas práticas trazem benefícios ao meio ambiente e qualidade aos serviços prestados, proporcionando maior vida útil e melhor eficiência energética dos sistemas de refrigeração e ar condicionado.

Espera-se que esta apostila facilite e proporcione a acumulação, o aprimoramento e o intercâmbio de conhecimento durante as aulas e, ao mesmo tempo, sirva como material de capacitação para profissionais que não puderam participar nos cursos de forma presencial.

Está prevista a atualização deste manual (impresso e on-line) em base regular para integrar sugestões recebidas e acompanhar a evolução das ações desenvolvidas.

SUMÁRIO

1. Introdução 35

2. Impacto ambiental da refrigeração e políticas relacionadas 39

2.1 Destruição do ozônio e o Protocolo de Montreal 39

2.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH) 41

2.3 Mudança do Clima e a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal 50

2.4 Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (TEWI) 54

2.5 Subproduto da degradação persistente 55

2.6 De olho no futuro: tecnologias de refrigeração verde 58

3. Revisão dos fundamentos básicos de refrigeração e ar condicionado 62

3.1 O que significa ar condicionado? 63

3.1.1 Classificação dos sistemas de ar condicionado conforme a norma EN 16798-3 64

3.1.2 A condição subjetiva de uma sala confortável 65

3.1.3 Carga térmica de refrigeração e aquecimento 69

3.1.3.1 Cálculo da carga térmica de refrigeração/aquecimento 73

3.2 O que significa refrigeração? 74

3.3 Propriedades termodinâmicas e unidades básicas do sistema internacional 76

3.3.1 O sistema internacional de unidades — SI 76

3.3.2 O que é calor? 80

3.3.3 O que é temperatura? 81

3.3.4 O que é pressão? 82

3.3.5 Relação entre conteúdo de calor e temperatura 85

3.3.6 Como transferir calor 87

3.3.6.1 Condução 87

3.3.6.2 Convecção 88

3.3.6.3 Radiação 88
3.3.7 Estado da matéria 89
3.3.8 Influências da temperatura e da pressão 90
3.3.9 Reconciliação e comparação com fluidos refrigerantes 92
3.3.10 Princípio da refrigeração 93
3.3.11 Evaporação na refrigeração 95
3.4 O circuito de refrigeração com compressão a vapor 98
3.4.1.1 Linha de líquido saturado e linha de vapor saturado 102
3.4.1.2 Linhas isobáricas 103
3.4.1.3 Linhas isentálpicas 104
3.4.1.4 Linhas isotérmicas 105
3.4.1.5 Linhas de isovapor 106
3.4.1.6 Linhas isentrópicas 107
3.4.1.7 Termos e definições do diagrama log P/h 108
3.4.1.8 Entrada de energia/potência no diagrama log P/h 111
3.4.1.9 Circuito de refrigeração mostrado no diagrama log P/h 112
3.4.1.10 Circuito de refrigeração genérico mostrado para determinação dos pontos de medição 113
3.5 Fluidos refrigerantes 116
3.5.1 Fluidos refrigerantes primários 117
3.5.2 Nomenclatura das substâncias possibilita diferenciação simples 122
3.5.3 Designação de fluidos refrigerantes orgânicos explicada de forma simples com exemplos 123
3.5.3.1 Outras exceções na designação de fluidos refrigerantes orgânicos 124
3.5.3.2 Designação de compostos inorgânicos no grupo 700 125
3.5.3.3 Misturas de fluidos refrigerantes pertencem aos grupos 400 e 500 125
3.5.3.3.1 Misturas zeotrópicas 126
3.5.3.3.2 Misturas azeotrópicas (não zeotrópicas) 129
3.5.3.3.3 Misturas quase azeotrópicas 129

3.5.3.4 Tipos de fluidos refrigerantes e prefixos 129

3.5.4 Fluidos refrigerantes secundários 130

3.6 Lubrificantes 131

3.6.1 Requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado 132

3.6.2 As funções do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração 133

3.6.3 Propriedades dos óleos lubrificantes e como o óleo de refrigeração se distingue dos demais óleos 134

3.6.4 Tipos de lubrificantes 137

3.6.5 Como escolher o lubrificante certo 139

3.6.6 Ferramentas e procedimentos para o teste de acidez do óleo 141

3.7 Componentes essenciais de um circuito de refrigeração 143

3.8 Representação gráfica de um circuito de refrigeração (EN 1681) 148

3.9 Sistemas de refrigeração diretos e indiretos 153

3.9.1 Sistemas de refrigeração diretos 153

3.9.2 Sistemas de refrigeração indiretos 159

4. Competências para o manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis 162

4.1 EN 378, ISO 5149 e ABNT NBR ISO 5149 164

4.2 ISO 22712 e ABNT NBR 17131 165

4.3 EN 50110 170

4.4 Portaria alemã sobre segurança industrial DGUV 100-500 171

4.4.1 Requisitos gerais para mão de obra competente 171

4.4.2 Operação de sistemas de RAC 172

4.5 Regulamento europeu de gases F (gases fluorados de efeito estufa) 517/2014 175

4.6 Exemplos de critérios de avaliação de competências para especialistas em RAC (extraídos da ISO 22712) 175

5. Regulamentações e normas para RAC 181

5.1 Regulamentações e regras técnicas 181

5.2 Normas 184

6. Classificações de segurança de fluidos refrigerantes (inflamáveis) para transporte e uso 199

7. Áreas de aplicação para fluidos refrigerantes inflamáveis 207

7.1 Fluidos refrigerantes inflamáveis mais usados e suas aplicações 208

7.2 HFCs 210

7.3 HFOs 211

7.4 HCs 212

7.5 Amônia 213

8. Propriedades físicas de fluidos refrigerantes inflamáveis 218

9. Definições de inflamabilidade para fluidos refrigerantes 219

9.1 Limites inferior e superior de inflamabilidade 222

9.1.1 Limite inferior de inflamabilidade (%, kg/m^3) 222

9.1.2 Limite superior de inflamabilidade (%, kg/m^3) 222

9.1.3 Limite prático (kg/m^3) 222

9.2 Velocidade de propagação da chama (velocidade de chama) 223

9.3 Energia mínima de ignição 224

9.4 Calor de combustão 224

9.5 Ponto de fulgor 224

9.6 Temperatura de autoignição 224

9.7 Abordagem básica para trabalhar com fluidos refrigerantes inflamáveis 225

9.7.1 O triângulo do fogo 227

9.7.2 Fontes de ignição 219

9.7.2.1 Raios 230

9.7.2.2 Chamas abertas 230

9.7.2.3 Faíscas geradas por impacto mecânico 230

9.7.2.4 Faíscas geradas por fricção mecânica 231

9.7.2.5 Faíscas elétricas / Fontes de ignição elétricas 231

9.7.2.6 Alta temperatura da superfície 232
9.7.2.7 Descarga eletrostática (ESD) 234
9.7.2.8 Radiação eletromagnética 236
9.7.3 Concentração de substâncias inflamáveis 237
10. Prevenção de acidentes na aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis 240
10.1 Vazamento, sufocamento, intoxicação, incêndio, explosão, queimadura pelo frio 240
10.1.1 Queimaduras químicas / queimaduras pelo frio 241
10.1.2 Asfixia 243
10.1.3 Pressão 248
10.1.4 Perigos físicos 248
10.1.5 Danos no cilindro 249
10.1.6 Incêndio e explosão 250
10.1.7 Proteção contra incêndio 252
10.1.7.1 Extintores de incêndio 253
10.1.7.2 Manutenção 254
10.1.7.3 Classificação 255
10.1.7.4 Tipos de extintores de incêndio 255
10.1.8 Primeiros socorros 257
10.1.8.1 Emergência 258
10.1.8.2 Primeiros socorros gerais em caso de exposição ao fluido refrigerante 260
10.1.8.3 Primeiros socorros envolvendo acidentes causados por correntes elétricas 261
10.2 Equipamentos de proteção individual 262
10.2.1 Visão geral de EPIs 265
10.2 Equipamentos de proteção respiratória 268
11. Ferramentas e equipamentos de trabalho específicos para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis 274
12. Determinação das cargas máximas permitidas de fluido refrigerante 284

12.1 Adoção das normas de produto da IEC nas normas nacionais 284

12.2 Norma IEC 60335-2-40: bombas de calor elétricas, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores 285

12.2.1 Determinação do limite máximo de carga dos fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3 287

12.2.2 Determinação da área da sala não ventilada 288

12.2.3 Carga permissível para sistemas de refrigeração de estanqueidade elevada usando fluido refrigerante A2L ou A3 em áreas não ventiladas 290

12.2.4 Medições adicionais para fluidos refrigerantes inflamáveis, para aumentar a quantidade da carga de fluidos refrigerantes 292

12.2.5 Requisitos para sistemas de refrigeração empregando trocadores de calor secundários 299

12.2.6 Requisitos de ventilação mecânica para as salas em conformidade com a ISO 5149-3[17] 300

12.3 Norma IEC 60335-2-89: exigências específicas para aparelhos de refrigeração e máquinas de gelo comerciais com uma unidade frigorífica incorporada ou remota, ou com um compressor 301

12.4 EN 378 parte 1— quase equivalente à ISO 5149 Parte 1 e ABNT NBR ISO 5149 Parte 1 304

12.4.1 Categorias de ocupação de acordo com EN 378-1, ISO 5149-1 e ABNT NBR ISO 5149 305

12.4.2 Classificação do local dos sistemas de refrigeração 307

12.4.3 Limites de concentração 309

12.4.4 Restrição no tamanho da carga de acordo com EN 378 309

12.4.5 Limitações de carga para sistemas de ar condicionado ou bombas de calor para conforto humano 312

12.4.5.1 Exemplo de cálculo 1 313

12.4.5.2 Exemplo de cálculo 2 315

12.4.5.3 Exemplo de cálculo 3 316

12.4.6 Tipos genéricos de sistemas de refrigeração de acordo com a EN 378 e ISO 5149 / ABNT NBR ISO 5149 317

12.4.6.1 Sistemas de liberação direta 318

12.4.6.2 Sistema do tipo split 319

12.4.6.3 Sistema do tipo split — evaporador dentro de um gabinete 320

12.4.6.4 Sistema do tipo split — unidade de tratamento de ar (AHU) do evaporador incorporada a um sistema de dutos 321

12.4.6.5 Sistemas indiretos....322

13. Classificação e etiquetagem de zonas inflamáveis....326

13.1 Divisão por zonas....326

13.2 Requisitos de construção....329

13.2.1 Ventilação de locais de instalação para sistemas de refrigeração e componentes do sistema....330

13.2.2 Proteção contra perigos de incêndio e explosão....332

13.2.3 Proteção do sistema de refrigeração contra excesso de pressão exceto no caso de incêndio externo....335

13.2.3.1 Sistemas de AVAC-R inerentemente seguros....335

13.2.3.2 Dispositivos de alívio de pressão de segurança e pressostatos....338

13.2.3.3 Válvulas de alívio....341

13.2.3.4 Sistemas hidráulicos....341

13.2.3.5 Pressostatos de limitação de pressão....342

13.2.4 Carga de fluido refrigerante e área/local de instalação....343

13.2.5 Considerações gerais para instalações elétricas....343

13.2.6 Equipamento elétrico em casas de máquinas e sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis....344

13.2.7 Trabalho em áreas de zonas inflamáveis....345

13.3 Medidas de segurança....348

13.3.1 Avaliação de perigos devido à liberação de substâncias e explosão....348

13.3.2 Medidas organizacionais....348

13.3.3 Instrução dos funcionários pelo empregador....349

13.3.4 Documento de proteção contra explosões....349

13.4 Dispositivos e sistemas de detecção de gás para fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3....351

13.4.1 Requisitos para equipamento em atmosferas potencialmente explosivas....352

13.4.2 Equipamento usado para detecção de gás....353

13.4.3 Monitor pessoal de gás usado como EPI (exemplo)....354

13.4.4 Dispositivos fixos de detecção de gás (exemplo) 354

13.4.5 Testes de vazamento com gás marcador 355

14. Avaliação de risco 359

14.1 Avaliação de risco de último minuto (LMRA) 362

14.2 Permissões de trabalho (PTW) 363

14.3 As cinco regras de segurança para trabalhar com sistemas elétricos (veja também a EN 50110-1) 364

14.4 Isolamento seguro de sistemas elétricos — riscos e precauções de segurança (veja também a EN 50110-1) 365

15. Instalação 367

15.1 Projeto de sistema em condições seladas 367

15.2 Montagem dos componentes (exemplo com aparelho de ar condicionado do tipo split) 372

15.2.1 Temperatura ambiente 372

15.2.2 Considerações para a instalação da unidade interna (unidade evaporadora) 373

15.2.3 Considerações para a instalação da unidade externa (unidade condensadora) 374

15.2.4 Esboço do local de instalação 376

15.2.5 Rotinas de instalação (exemplo com aparelho de ar condicionado do tipo split) 379

15.2.6 Ventilação (casa de máquinas e local de trabalho) 388

16. Comissionamento 390

16.1 Rotinas gerais de trabalho, manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis 390

16.2 Testes de pressão e estanqueidade com OFDN 394

16.2.1 Procedimentos padrão para testes de pressão e estanqueidade 394

16.2.2 Manuseio do regulador de pressão 398

16.2.3 Fases do teste de pressão com OFDN 400

16.2.4 Lei de Amontons 401

16.2.5 Reparo de vazamentos 403

16.2.6 Certificado de teste de pressão 403

16.3 Requisitos de verificação de vazamento do circuito de refrigeração 404
16.3.1 Métodos indiretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante 407
16.3.2 Métodos diretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante 408
16.4 Flushing do circuito de refrigeração com OFDN e remoção de resíduos do fluido refrigerante 410
16.4.1 Preparação de ferramentas e equipamento para flushing do circuito de refrigeração 410
16.4.2 Processo — Flushing com OFDN 411
16.5 Como lidar com gases não condensáveis (GNC) e umidade 413
16.5.1 O que causa a presença de gases não condensáveis (GNC) em um circuito de refrigeração?.....413
16.5.2 Quais são os problemas associados a gases não condensáveis? 413
16.5.3 Reações químicas no circuito de refrigeração e seus efeitos 414
16.5.4 Identificação da água no circuito de refrigeração.....416
16.5.5 Remoção de gases não condensáveis e água dos circuitos de refrigeração 416
16.5.6 Recolhimento do fluido refrigerante e a presença de gases não condensáveis 417
16.6 Evacuação do circuito de refrigeração 417
16.6.1 Secagem do sistema durante a evacuação 420
16.6.2 Processo — evacuação do sistema 422
16.7 Carga do fluido refrigerante inflamável 426
16.8 Proteção contra excesso de pressão de fluido refrigerante 430
16.8.1 Pressão máxima permitida (PS).....431
16.8.2 Vasos de pressão 431
16.8.3 Sistemas de AVAC-R inerentemente seguros 431
16.8.4 Componentes de segurança para proteção contra baixa e alta pressões 432
16.8.5 Pressostatos para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis 433
16.8.6 Configuração de dispositivos de rearme automático para limitação da pressão — de acordo com a EN 378-1 cláusula 3.6.6 436
16.8.7 Válvulas de segurança de alívio — dispositivos de alívio de pressão para sistemas de refrigeração 441

16.8.8 Determinação da pressão máxima permitida para sistemas de AVAC-R 444

16.8.9 Diagrama de instalação de tubulação incluindo pressostatos de segurança para limitação de alta e baixa pressões 447

16.9 Documentação 448

16.10 Teste final do sistema e "relatório de entrega" 451

16.10.1 Verificação de funcionalidade dos componentes do circuito de refrigeração e equipamentos elétricos 451

16.10.2 Procedimento de teste genérico para instalação, modificação ou reparo 451

16.10.3 Teste de resistência do isolamento 453

16.11 Troca do tipo de fluido refrigerante 455

16.11.1 Categorias de troca de fluidos refrigerantes 457

16.11.1.1 Retrofit de substituição imediata ("*drop-in*") 457

16.11.1.2 Retrofit simples / econômico 457

16.11.1.3 Otimização do sistema ou retrofit projetado 458

16.11.2 Projeto e planejamento de mudança para outro fluido refrigerante 459

17. Serviço e manutenção 466

18. O "efeito diesel", combustão por autoignição e explosão 474

18.1 Por que o motor a diesel também é chamado de motor de ignição por compressão (autoignição)? 474

18.2 Qual é a relação com RAC e quando isso pode acontecer durante reparos em equipamentos de RAC? 475

19. Descarte, armazenamento e transporte de cilindros de gás 480

19.1.1 Cilindro descartável 484

19.1.1.1 Detalhes técnicos para cilindros descartáveis 485

19.1.1.2 Código de cores do cilindro de fluido refrigerante descartável DOT 39 de acordo com a AHRI N 2017 e atualização de 2019 487

19.1.1.3 Cilindros descartáveis que viram sucata 489

19.1.2 Cilindros de fluido refrigerante recarregáveis 489

19.1.3 Cilindros de recolhimento de fluido refrigerante 492
19.1.4 Conexões do cilindro 492
19.1.5 Equipamentos para cilindros 494
19.1.6 Cilindros para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis 496
19.2 Descarte de fluidos refrigerantes inflamáveis 498
19.2.1 Descarte de fluidos refrigerantes A2 / A2L 498
19.2.2 Descarte de fluidos refrigerantes A3 (hidrocarbonetos) 498
19.2.2.1 Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera — aspectos gerais 498
19.2.2.2 Requisitos para a mangueira de liberação de HC (linha de ventilação) 500
19.2.2.3 Precauções a serem tomadas 500
19.2.2.4 Ferramentas para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 501
19.2.2.5 Preparação para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 502
19.2.2.6 Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera — o processo 503
19.2.2.7 Depois da liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera 503
19.2.2.8 Recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis — visão geral 504
19.2.2.9 Uso de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis 505
19.2.2.10 Aviso de gases não condensáveis 509
19.2.2.11 Procedimento de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis gasosos ou líquidos 510
19.2.2.12 Equipamentos e ferramentas 512
19.2.2.13 Equipamentos de segurança 513
19.2.2.14 Precauções de segurança 513
19.2.2.15 Preparativos gerais 514
19.2.2.16 Processo de recolhimento 515
19.2.2.17 Etapas finais de recolhimento 516
19.2.2.18 Após o recolhimento 516
19.3 Armazenamento interno e externo dos cilindros 518

19.3.1 Precauções gerais contra perigos 518
19.3.2 Armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos 519
19.3.2.1 Configuração do depósito interno 522
19.3.2.2 Condições de armazenamento 522
19.3.2.3 Gases inflamáveis 523
19.3.3 Armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos 525
19.3.3.1 Configuração de depósito externo 526
19.3.3.2 Gases inflamáveis 526
19.3.3.3 Condições de armazenamento 526
19.4 Transporte de cilindros 527
19.4.1 Perigos e precauções 527
19.4.2 Transporte de cilindros de gás em ambientes internos 527
19.4.3 Transporte de cilindros de gás em ambientes externos 529
19.4.4 Ventilação durante o transporte 532
19.5 Regulamentos sobre o transporte de fluidos refrigerantes 533
Referências 546
Anexos 556

1 Introdução

1. Introdução

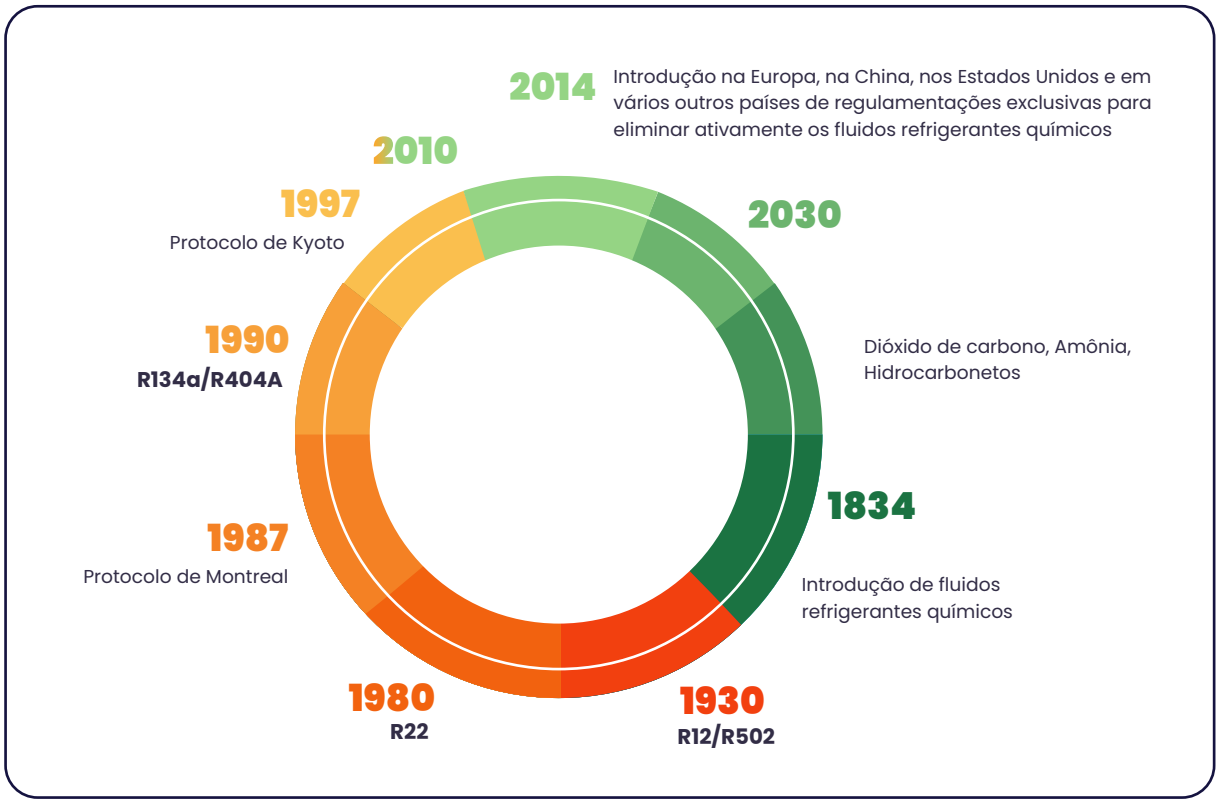
O setor de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R) vai passar por muitas mudanças nos próximos anos. O consumo de muitos fluidos refrigerantes atuais será eliminado ou reduzido gradualmente, de acordo com o Protocolo de Montreal e a sua Emenda de Kigali, por causa dos danos que causam ao meio ambiente quando liberados para a atmosfera. Isso inclui o Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO) e o Potencial de Aquecimento Global (GWP). Além disso, a eficiência energética dos equipamentos está se tornando cada vez mais importante. Para profissionais capacitados do setor de AVAC-R, isso representa muitos desafios, pois novas tecnologias estão entrando no mercado.

Existem diversos riscos relacionados ao trabalho no setor de AVAC-R. Por um lado, danos ambientais podem ser causados por meio da liberação de substâncias durante a operação e a manutenção, o que contribui para a destruição do ozônio e para o aquecimento global. Por outro lado, a segurança pessoal dos profissionais qualificados que lidam com os equipamentos e com os fluidos refrigerantes, bem como a segurança dos usuários, precisa ser garantida. Os perigos incluem: intoxicação, queimadura por causa do fluido refrigerante, sufocamento, incêndio e explosão, além de falhas elétricas que podem provocar incêndio ou choque elétrico, ou instalações malfeitas que levam ao vazamento do fluido refrigerante.

A redução de gases causadores do efeito estufa, como os hidrofluorcarbonos (HFCs) geralmente exige uma combinação entre mudanças tecnológicas, ação regulatória e desenvolvimento de capacidades humanas. Com a transição dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e HFCs (saturados) com alto Potencial de Aquecimento Global (GWP) para os fluidos refrigerantes não nocivos ao clima, incluindo fluidos refrigerantes naturais e uma série de HFCs insaturados (HFOs) com GWP muito baixo, as características técnicas dos fluidos refrigerantes mudam drasticamente no que diz respeito à inflamabilidade, toxicidade e/ou nível de pressão operacional.

Os atuais candidatos a fluidos refrigerantes com GWP de “moderado” a “ultrabaixo” não são realmente uma novidade. O primeiro fluido refrigerante “profissional” usado foi o éter etílico (R-610), seguido da amônia (R-717). A amônia tem sido usada em sistema de refrigeração industrial há mais de 130 anos e é considerada inofensiva para o meio ambiente, econômica e com eficiência energética. Nos processos industriais, os hidrocarbonetos e o dióxido de carbono (R-744) têm sido usados desde os primeiros anos do século XIX. A maioria dos fluidos refrigerantes mencionados anteriormente é inflamável (exceto o R-744). Nos primeiros anos do século XX, preocupações com a segurança levaram à invenção e ao uso predominante dos chamados fluidos refrigerantes de segurança, levando em consideração o problema da inflamabilidade, a ausência de normas de segurança e uma falta de componentes projetados para o uso seguro de substâncias inflamáveis. Em 1987, com a assinatura do Protocolo de Montreal e, depois, do Protocolo de Kyoto (1997), gradualmente foram feitas reconsiderações fundamentais e fornecidas orientações para retomar o uso de sustâncias naturais e de fluidos refrigerantes com baixo GWP no setor de AVAC-R moderno (veja a Figura 1). A rápida destruição global da Camada de Ozônio, que protege a Terra da perigosa radiação UV, e as mudanças do clima, provocadas principalmente pela emissão de fluidos refrigerantes sintéticos no meio ambiente, são as razões para esses desdobramentos recentes.

Figura 1 — Revoluções causadas por invenções com fluidos refrigerantes



Fonte: SECOP.

2

Impacto ambiental da refrigeração e políticas relacionadas

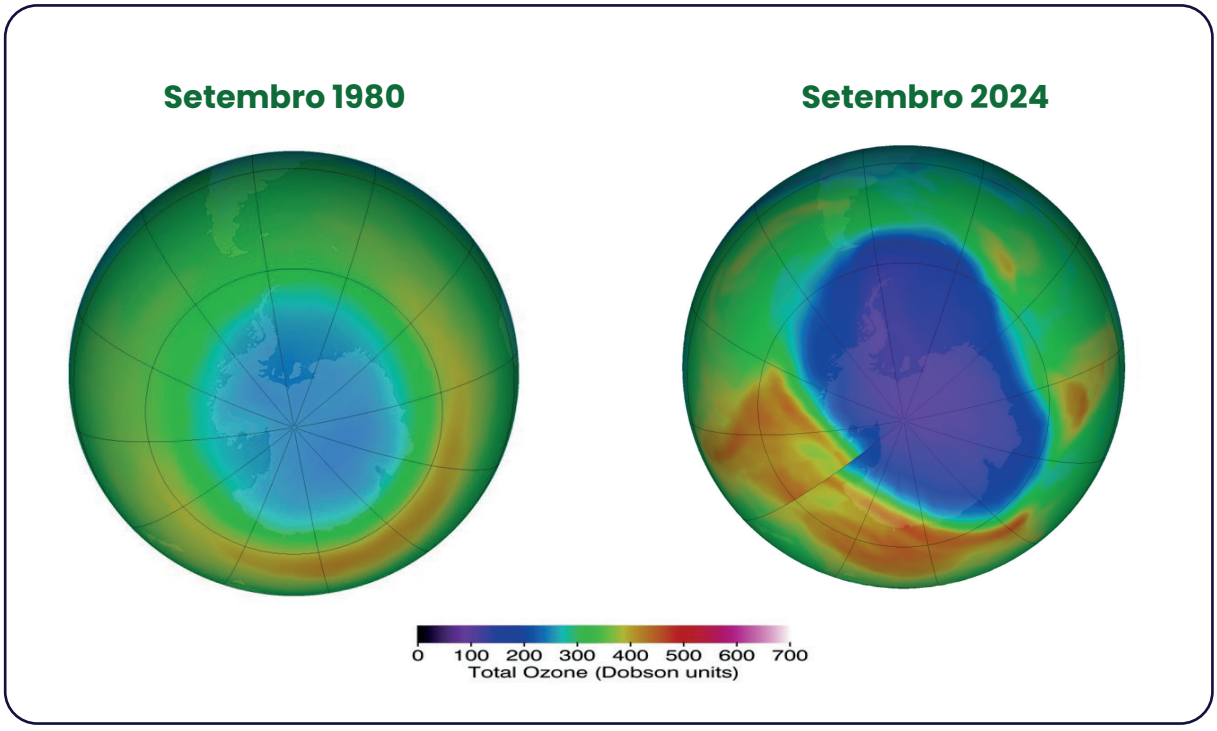
2. Impacto ambiental da refrigeração e políticas relacionadas

O desenvolvimento recente da refrigeração no século XX foi impulsionado pela descoberta dos clorofluorcarbonos (CFCs) como fluidos refrigerantes "seguros" em 1930 por Thomas Midgley e equipe. Os CFCs não são tóxicos nem inflamáveis, e logo foram usados em todas as áreas de aplicação de tecnologias de refrigeração e ar condicionado, além de várias outras, como aerossois e agentes de expansão. Hoje, a disponibilidade de equipamentos de refrigeração e ar condicionado em todos os lugares, em especial nos veículos automotores, no setor comercial e nas residências particulares, acontece sob a grande influência da invenção dos CFCs.

2.1 Destruição do ozônio e o Protocolo de Montreal

De igual importância foi a descoberta do perigoso impacto dos CFCs na atmosfera terrestre, notadamente a contribuição deles para a destruição do ozônio, feita por Rowland e Molina em 1974. O CFC R-11 é uma das mais potentes substâncias químicas responsáveis por criar o buraco na Camada de Ozônio na estratosfera sobre o Hemisfério Sul. Um único átomo de cloro emitido por CFCs pode resistir por até 100 anos na atmosfera e é capaz de destruir 100.000 moléculas de ozônio. Sendo assim, a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, adotada em 1985, e o Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, adotado em 1987, foram criados para proteger a Camada de Ozônio de uma maior destruição (veja a Figura 2).

Figura 2 — Evolução do buraco da Camada de Ozônio



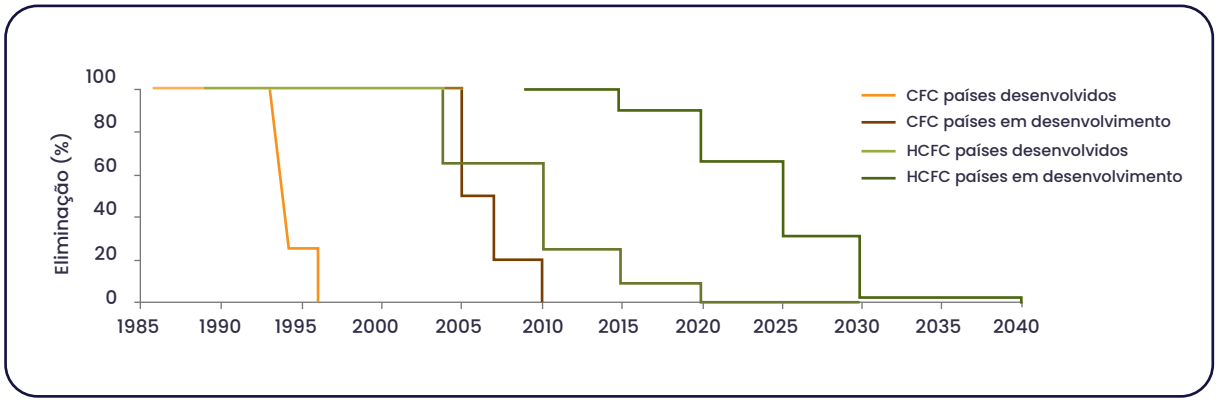
Fonte: Observatório de Ozônio da NASA.

Com as ações adotadas pelos países no âmbito do Protocolo de Montreal, a estimativa é que, entre 2050 e 2075, a Camada de Ozônio acima da Antártida volte aos níveis que tinha em 1980. As estimativas indicam que, sem as medidas globais acionadas pelo Protocolo, a destruição da Camada de Ozônio teria aumentado em pelo menos 50% no Hemisfério Norte e 70% no Hemisfério Sul. Isso significa que o dobro de raios ultravioleta teria atingido o Norte da Terra, e o quádruplo teria atingido o Sul. A quantidade de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) na atmosfera seria cinco vezes maior.

O Protocolo de Montreal foi ratificado por todos os países do mundo. O Brasil adotou a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal por meio do Decreto nº 99.280, de 06 de junho de 1990. O Protocolo de Montreal estabelece a eliminação gradual do consumo e da produção de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), com diferentes cronogramas para países desenvolvidos (chamados de “países do Artigo 2”) e para países

em desenvolvimento (chamados de “países do Artigo 5”). Houve uma proibição mundial dos CFCs desde 2010. Os HCFCs, usados inicialmente como substitutos dos CFCs, estão proibidos na maioria dos países do Artigo 2 desde 2010, mas ainda são amplamente usados em países do Artigo 5, inclusive no Brasil, onde devem ser eliminados até 2040 (veja a Figura 3).

Figura 3 — Cronogramas de eliminação do uso de CFCs e HCFCs em países desenvolvidos e em desenvolvimento, conforme o Protocolo de Montreal



Fonte: HEAT GmbH.

2.2 Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH)

Na 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, realizada em Montreal em 2007, as partes concordaram, conforme a Decisão XIX/6, que trata do ajuste ao Protocolo de Montreal referente ao Anexo C, substâncias do Grupo I (HCFCs), em acelerar a eliminação da produção e do consumo de hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), o que exigiu uma ação urgente para a eliminação do consumo de HCFCs.

Potencial de Destruição da Camada de Ozônio

O Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (PDO) de um composto químico é a quantidade relativa de degradação que ele pode causar à Camada de Ozônio. O PDO é um valor sem unidade e possibilita mostrar o potencial de danos ambientais de fluidos refrigerantes em relação a uma substância de referência. A substância de referência é o fluido refrigerante R-11 com valor PDO de 1 (100%).

As Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) são substâncias que prejudicam a Camada de Ozônio da Terra na estratosfera. As SDOs incluem clorofluorcarbonos (CFCs) como R-12 e R-502; substâncias bromadas (ex.: R-1301, R-1211) em geral com PDOs mais altos 5—15, por conta da reação mais agressiva do bromo com o ozônio; hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) como R-22, R-123, R-142b; e misturas de substituição imediata (“drop-in”) como R-408A (retrofit de sistemas de refrigeração à base de R-502). Os HCFCs ainda são usados como fluido refrigerante em muitos edifícios em equipamentos de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R). A definição de SDOs pode ser encontrada no Anexo A do Protocolo de Montreal.

A destruição da Camada de Ozônio aumenta a quantidade de radiação UVB que atinge a superfície da Terra e causa os seguintes impactos negativos sobre a vida terrestre:

Efeitos na saúde humana: aumento nos casos de câncer de pele; os raios UVB estão associados ao desenvolvimento de catarata, que deixa turvo o cristalino do olho;

Efeitos nas plantas: os raios UVB prejudicam o material genético e as proteínas, podendo ocorrer mutações. As flores em especial são sensíveis à radiação UVB, que pode provocar distúrbios reprodutivos e assim reduzir o rendimento das plantas cultivadas;

Efeitos nos ecossistemas marinhos: pesquisas mostram que altos níveis de radiação solar atrapalham significativamente a fotossíntese, a absorção de nutrientes e o crescimento de algumas espécies no ambiente marinho; e

Efeitos nos ciclos biogeoquímicos: um maior nível de radiação UVB pode afetar a composição química dos tecidos das plantas, a decomposição de partes mortas das plantas, a liberação de monóxido de carbono e a atividade de decompositores microbianos e de organismos.

Com a finalidade de atender à Decisão XIX/6 de 2007 do Protocolo de Montreal, o Brasil elaborou o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), que contempla a estratégia de controle, redução e eliminação dos HCFCs, por meio de ações apoiadas com recursos do Fundo Multilateral para implementação do Protocolo de Montreal. Nesse contexto, o Brasil implementou com êxito a Etapa I do PBH congelando o consumo de HCFCs, em 2013, e eliminando 16,6% do consumo de HCFCs, em 2015. A implementação da Etapa II do PBH vem ocorrendo desde 2017, com eliminação do consumo de HCFCs de 39,3%, em 2020, e de 51,6%, em 2021. A Etapa III do PBH contemplará medidas futuras para eliminar o consumo de HCFCs em 67,5%, até 2025, e em 100% a partir de 2030. Todavia, Protocolo de Montreal permite a importação de 2,5% da linha de base em média ao longo de 10 anos (2030 a 2040), até 1º de janeiro de 2040, para a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado existentes em 1º de janeiro de 2030 (veja a Figura 4).

Figura 4 — Cronograma de eliminação do consumo de HCFCs no Brasil

ANO		AÇÃO	CONSUMO MÁXIMO (t PDO)
ETAPA I	2013	Congelamento da linha de base*	1.327,30
	2015	Redução de 16,6%	1.107,00
ETAPA II	2020	Redução de 39,3%	806,10
	2021	Redução de 51,6%	642,94
ETAPA III	2024	Redução de 63,5%	484,08
	2025	Redução de 67,5%	431,40
	2027	Redução de 88,5%	152,64
	2030 - 2040	Redução de 100%	Permitido até 2,5% da linha de base no período de 01 de janeiro de 2030 a 01 de janeiro de 2040, apenas para usos nos setores definidos no Artigo 5 parágrafo 8 ter (e)(i) do Protocolo de Montreal, conforme Instrução Normativa Ibama nº 20, de 16 de dezembro de 2022.

*Linha de Base: média do consumo de HCFCs de 2009 e 2010.

Fonte: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br.

Com a finalidade de prover assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento, foi instituído em 1990 o Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal (FML). O FML é administrado pelo Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, composto por sete países desenvolvidos e sete em desenvolvimento. Os projetos financiados pelo FML são executados em 147 países em desenvolvimento, por meio de agências multilaterais da ONU e agências bilaterais dos países desenvolvidos.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), que atua como Unidade de Ozônio, é a entidade responsável pela coordenação das políticas públicas e decisões aprovadas no âmbito do Protocolo de Montreal. O MMA é apoiado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que é a instituição vinculada responsável pelo controle da importação, exportação, comércio, uso, destruição térmica, recolhimento, reciclagem e regeneração de SDOs, e atua com medidas de definição e controle das cotas dessas substâncias, de prevenção ao comércio irregular e de fiscalização das empresas. O Ibama sistematiza os dados registrados no sistema de controle e monitoramento (CTF/APP) e os reporta ao MMA, para que seja realizada a comunicação anual e oficial ao FML e ao Secretariado do Protocolo de Montreal sobre o consumo brasileiro de substâncias controladas, oferecendo assim uma base adequada de conhecimento para subsidiar as decisões políticas inerentes ao tema e propiciar informação para a elaboração de regulamentações, planejamento de atividades de treinamento e campanhas de conscientização no País (veja a Tabela 1).

Tabela 1 — Atos regulatórios sobre a eliminação do consumo de HCFCs e HFCs no Brasil

Ano	Instrumento legal	Entidade	Assunto
1990	Decreto nº 99.280, de 6 de junho de 1990	Presidência da República	Promulga a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio e do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio.
2012	Portaria nº 212, de 26 de junho de 2012	MMA	Institui o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), no âmbito do Plano Nacional sobre Mudança do Clima.
2018	Instrução Normativa nº 5, de 14 de fevereiro de 2018	Ibama	Regulamenta o controle ambiental do exercício de atividades potencialmente poluidoras referentes às substâncias sujeitas a controle e eliminação, conforme o Protocolo de Montreal.

(Continuação)

Ano	Instrumento legal	Entidade	Assunto
2021	Portaria nº 78, de 11 de janeiro de 2021	Ibama	Revoga a portaria nº 2.231 e estabelece a classificação de risco de atividades econômicas associadas aos atos de liberação sob responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama e dá outras providências.
2022	Instrução Normativa nº 20, de 16 de dezembro de 2022	Ibama	Dispõe sobre as exigências e os procedimentos relacionados ao controle de importação de HCFCs e de misturas que contêm HCFCs, e estabelece os limites máximos anuais de importação de substâncias que destroem a Camada de Ozônio em toneladas de PDO. Revoga a Instrução Normativa nº 4, de 14 de fevereiro de 2018.
2023	Instrução Normativa nº 29, de 18 de dezembro de 2023	Ibama	Regulamenta as exigências e os procedimentos relacionados ao controle de importação de Hidrofluorcarbonos – HFC e misturas contendo HFC, em atenção à emenda de Kigali do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, promulgada por meio do Decreto nº 11.666, de 24 de agosto de 2023.

Fonte: MMA/Ibama.

O Brasil recebe suporte técnico do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) como agência implementadora líder, e da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH como agências cooperadoras.

A estratégia da Etapa II do PBH inclui projetos para reduzir o consumo de HCFC-22 no setor de serviços e manufatura de sistemas de refrigeração comercial (supermercados e outros) e ar condicionado; e também a eliminação do HCFC-141b, usado na manufatura de espumas de poliuretano (veja a Figura 5). É importante ressaltar que o PBH foi desenvolvido de maneira conjunta e participativa, através de um processo aberto, transparente e democrático, no qual foi importantíssima a participação de todos os setores envolvidos, governo e iniciativa privada.

Figura 5 — Estratégia de redução do consumo de HCFCs – PBH Etapa II

SDO	Setor	Aplicação	Consumo a ser eliminado (t PDO)	Data limite
HCFC-141b	Ação Regulatória	PU Rígido	131,82	Até 2021
	Manufatura de Poliuretano (PU)	PU Rígido	169,08	
Subtotal			**300,90**	
HCFC-22	Ação Regulatória	RAC	1,50	Até 2023
	Manufatura de RAC	RAC	61,06	
	Manufatura de PU	PU Rígido	0,60	
	Serviços de RAC	RAC	100,00	
Subtotal			**163,16**	
Total			**464,06**	

*PU: espuma de poliuretano; RAC: refrigeração e ar condicionado.

Fonte: www.boaspraticasrefrigeracao.com.br.

A GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) é uma empresa federal alemã com atuação voltada à cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável, que atua na Etapa II do PBH como agência implementadora bilateral para projetos relacionados ao setor de serviços.

Entre os projetos, está o "Treinamento e capacitação para o uso seguro e eficiente de fluidos inflamáveis de zero PDO e baixo GWP em sistemas de ar condicionado", que inclui o fornecimento de material didático e de demonstração para cinco escolas técnicas de ensino profissionalizante. Este treinamento visa a introdução segura de tecnologias modernas e avançadas de ar condicionado a partir da utilização de fluidos refrigerantes inflamáveis (como hidrocarbonetos) e pela divulgação das boas práticas de projeto, instalação e reparos desses aparelhos.

Considerando que no Brasil o setor de serviços de refrigeração e ar condicionado representa cerca de 85% do consumo total de HCFC-22, torna-se urgente a necessidade de melhorar as competências no manuseio de ferramentas e equipamentos para o uso seguro e eficiente de novas tecnologias e substâncias alternativas aos HCFCs e HFCs.

Portanto, o projeto melhorará a capacitação no Brasil, em âmbito nacional, em todo o setor de instalação e manutenção de RAC, com o treinamento de 700 técnicos nas Boas Práticas de Refrigeração, e ajudará na introdução segura e energeticamente eficiente de fluidos refrigerantes naturais e de outras alternativas de baixo impacto ambiental.

Outras atividades para o setor de serviços de RAC no âmbito da Etapa II do PBH incluem:

Construir e aprimorar as competências institucionais para o treinamento de 8.238 técnicos em boas práticas para melhor contenção do HCFC-22 em sistemas de ar condicionado e refrigeração comercial;

Reforçar o conceito de recolhimento, reciclagem e regeneração para reduzir a demanda por HCFC-22 virgem e permitir que os equipamentos à base de HCFC já existentes sejam usados até o fim da sua vida útil, evitando os custos adicionais de uma substituição antecipada;

Construir competências institucionais para o treinamento de 300 técnicos de refrigeração em boas práticas para o uso seguro e eficiente de fluidos refrigerantes alternativos com zero PDO e baixo GWP em sistemas de refrigeração comercial, incluindo a implantação de dois centros de treinamento piloto para o uso de CO_2/HC em sistemas de refrigeração comercial em cascata; e

Aumentar a conscientização do setor de serviços por meio da divulgação de boas práticas e de tecnologias alternativas como zero PDO e baixo GWP.

2.3 Mudança do Clima e a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

Em parte, como substituto direto dos CFCs, em parte, como substituto dos HCFCs, uma terceira classe de produtos químicos fluorados foi introduzida no mercado, os hidrofluorcarbonos (HFCs). Eles não possuem Potencial de Destruição do Ozônio (PDO), mas ainda apresentam Potencial de Aquecimento Global (GWP) milhares de vezes mais alto que o CO_2. A Figura 51, no Capítulo 7, mostra diversos fluidos refrigerantes com o respectivo GWP.

Potencial de Aquecimento Global

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é uma medida relativa da estimativa de quanto determinada massa de gás de efeito estufa contribui para o aquecimento global. Ele é calculado em um período de tempo específico, arbitrariamente em 100 anos, mas às vezes também em períodos de 20 ou 500 anos. O GWP é expresso em relação ao dióxido de carbono, com GWP = 1. Quanto mais alto o valor do GWP, mais uma substância contribui para o aquecimento global.

O Potencial de Aquecimento Global de muitos fluidos refrigerantes é revisado regularmente para aplicar novas descobertas sobre o efeito do CO_2 sobre o aquecimento global e o comportamento das substâncias na atmosfera.

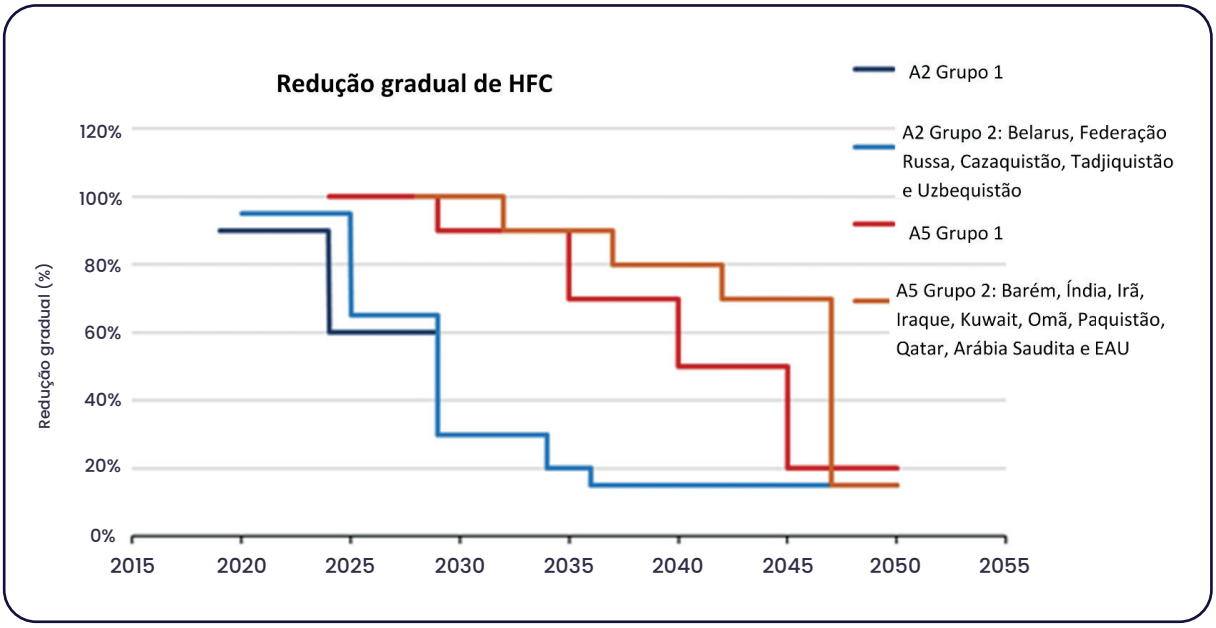
A vida útil de muitos HFCs é bem menor que 100, portanto o impacto deles no clima será em um horizonte temporal bem mais curto. O GWP20 médio para HFCs é 94% maior do que o GWP100 médio (Greenpeace, 2010).

Considerando esse cenário, em 2016 foi aprovada a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, e em 2019 ela entrou em vigor. Ela inclui o terceiro grupo de gases de alto GWP, os HFCs, em sua estrutura global. A Emenda define um cronograma de redução gradual de HFCs para países do Artigo 5 e do Artigo 2. Para a maioria dos países do Artigo 5, inclusive o Brasil, que ratificou a Emenda de Kigali por meio do Decreto nº 11.666, de 24 de agosto de 2023, o consumo de HFCs será gradualmente reduzido para 20% da linha de base[1] até 2045 (veja a Figura 6 e a Tabela 2). Isso exige que os países façam ainda outra mudança, migrando de HFCs de alto GWP para substâncias de baixo GWP (incluindo fluidos refrigerantes naturais), ou dando logo um salto de substâncias que destroem a Camada de Ozônio para substâncias sintéticas ou naturais com baixo GWP, sem introduzir HFCs de alto GWP, como R-134a, R-404A e R-410A.

A aprovação da Emenda de Kigali é um marco para a mitigação das mudanças climáticas. Ainda que a redução das emissões de HFCs faça parte do Protocolo de Kyoto para a UNFCCC desde 2005, nunca foram estabelecidas obrigações vinculativas nem cronogramas para a redução gradual.

[1]Países 5 — Grupo 1 (todos os países A5, exceto países do CCG, Índia, Irã, Iraque e Paquistão): linha de base = consumo médio dos anos 2020-2022 + 65% da linha de base do componente HCFC.

Figura 6 — Redução gradual do consumo de HFCs de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal



Fonte: PNUMA (2016), gráfico da HEAT GmbH.

Tabela 2 — Cronograma de redução gradual para Partes A5 e A2 para fluidos refrigerantes HFC de acordo com a Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

	Partes do Artigo 5				Partes que não estão no Artigo 5 (Partes A2)			
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 1		Grupo 2	
	Grupo principal		Barém, Índia, Irã, Iraque, Kuwait, Omã, Paquistão, Catar, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos		Grupo principal		Belarus, Federação Russa, Cazaquistão, Tadjiquistão, Uzbequistão	
Anos da linha de base	2020, 2021 e 2022		2024, 2025 e 2026		2011, 2012 e 2013		2011, 2012 e 2013	
Cálculo de linha de base	Produção/ consumo médio de HFCs em 2020, 2021 e 2022 mais 65% da produção/ consumo de HCFCs na linha de base		Produção/ consumo médio de HFCs em 2024, 2025 e 2026 mais 65% da produção/ consumo de HCFCs na linha de base		Produção/ consumo médio de HFCs em 2011, 2012 e 2013 mais 15% da produção/ consumo de HCFCs na linha de base		Produção/ consumo médio de HFCs em 2011, 2012 e 2013 mais 25% da produção/ consumo de HCFCs na linha de base	
Congelamento	2024		2028		N/A		N/A	
Redução Passo 1	2029	10%	2032	10%	2019	10%	2020	5%
Redução Passo 2	2035	30%	2037	20%	2024	40%	2025	35%
Redução Passo 3	2040	50%	2042	30%	2029	70%	2029	70%
Redução Passo 4	2045	80%	2047	85%	2034	80%	2034	80%
Redução Passo 5	N/A	N/A	N/A	N/A	2036	85%	2036	85%

Fonte: MMA.

2.4 Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global (TEWI)

Com o TEWI, foi desenvolvido um método de cálculo para avaliar individualmente a contribuição para o efeito estufa durante a vida útil do sistema de refrigeração (TEWI = Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global, do inglês "*Total Equivalent Environmental Impact*"). Você também pode encontrar referências na norma EN 378 Parte 1 (Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção), no Anexo "B".

O quadro a seguir mostra uma fórmula comum usada no cálculo do valor característico do TEWI, na qual as respectivas áreas de influência estão subdivididas adequadamente.

O TEWI possui três partes, que são somadas para calcular o valor total.

$$TEWI = GWP \times L \times n + GWP \times m \times [1- \alpha_{rec}] + n \times E_{anno} \times \beta$$

L	taxa de vazamento por ano (kg/a)
n	vida útil de operação do sistema em anos (a)
m	carga do fluido refrigerante (kg)
α_{rec}	fator de recolhimento/reciclagem de 0 a 1
E_{anno}	consumo de energia por ano (kW/a)
β	fator de emissão de CO_2 da geração de energia (kg/kWh)

Como diversas pressuposições e fatores nesse método de cálculo, em geral, são específicos de uma aplicação em uma localização em particular, o TEWI permite apenas uma comparação em um local específico (ex.: Brasil, Alemanha, ou outro lugar) e as comparações entre diferentes aplicações ou diferentes localizações não são apropriadas. O cálculo do TEWI é importante na fase do projeto ou para respaldar uma decisão de retrofit (EN 378-1, Anexo B).

2.5 Subproduto da degradação persistente

De acordo com o Regulamento Europeu F-Gas sobre gases fluorados de efeito estufa, o consumo de propelentes e fluidos refrigerantes fluorados, prejudiciais ao meio ambiente, deve ser drasticamente reduzido na União Europeia (UE) até 2030. Os gases costumam ser substituídos por substâncias fluoradas de vida útil curta com menor Potencial de Aquecimento Global. Porém, essas substâncias formam ácido trifluoroacético (TFA) como subproduto da degradação. O TFA é o subproduto proveniente da degradação de diversos fluidos refrigerantes.

O TFA tem sido cada vez mais detectado em água corrente e até em água potável. O TFA é uma substância muito estável e persistente que não se degrada na natureza e, portanto, continua se acumulando com o tempo. Os atuais métodos comuns e conhecidos de tratamento da água potável (carbono ativado, ultrafiltração e nanofiltração, aeração e ozonização) não apresentam efeito de redução mensurável.

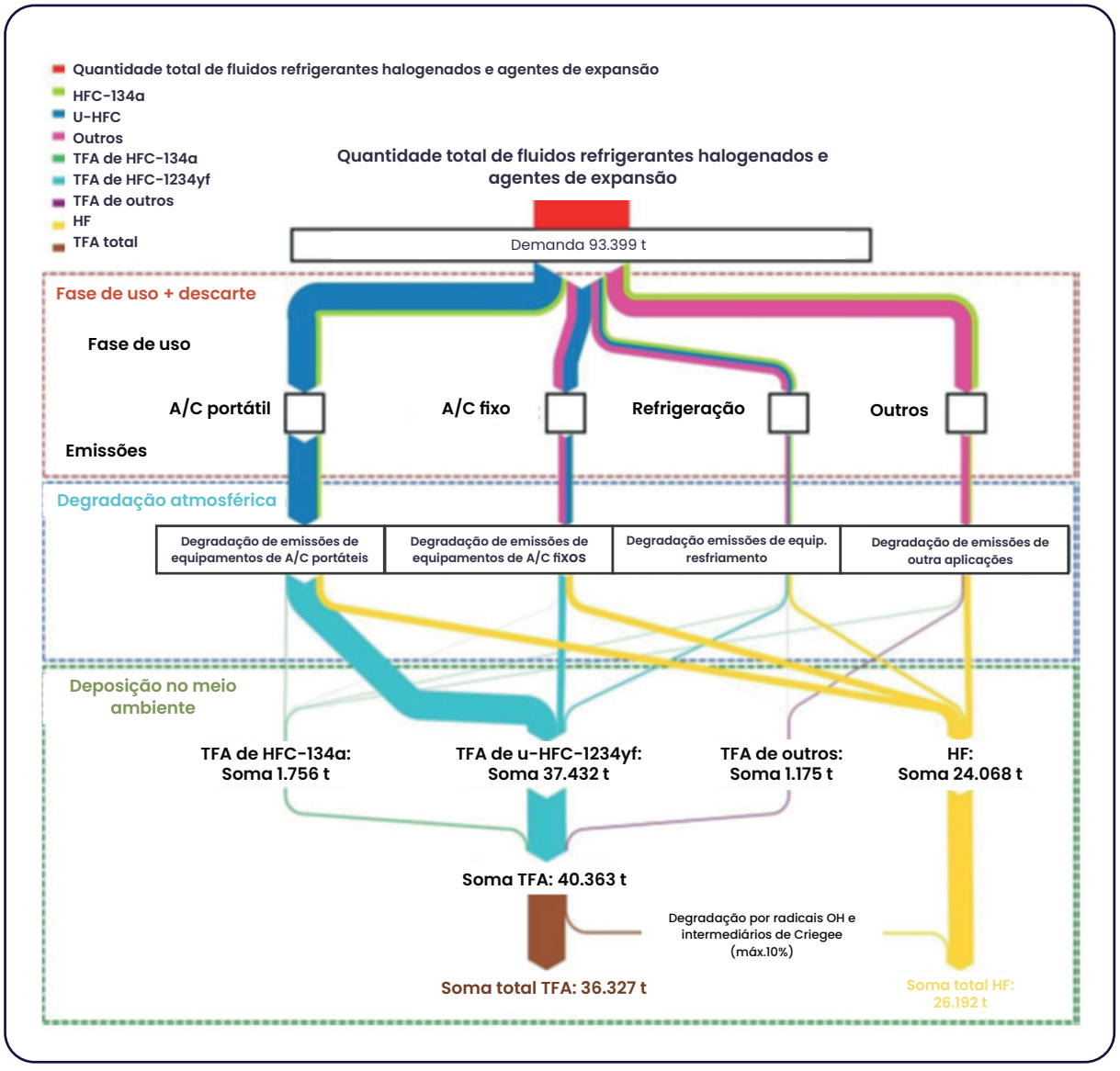
Desde 2017, todos os carros novos da UE vêm recebendo fluido refrigerante R-1234yf no sistema de ar condicionado veicular. Quando o fluido refrigerante é lançado na atmosfera, é quase 100% degradado para TFA em aproximadamente duas semanas, e entra nos corpos d'água via precipitação.

Um estudo encomendado pela Agência Ambiental Federal Alemã (UBA) modelou o desenvolvimento quantitativo de propulsores e fluidos refrigerantes fluorados e seus respectivos subprodutos de degradação atmosférica para a UE até o ano 2050. Para a Europa, a previsão é de um aumento de três a quatro vezes na carga de TFA de emissões de fluidos refrigerantes, chegando a 50.000 toneladas em 2050. O principal motivo é a substituição do HFC R-134a pelo fluido refrigerante R-1234yf, que forma cerca de cinco vezes mais TFA em comparação com o R-134a.

Visualização dos fluxos de massa para o ano 2030

Para estimar a contribuição dos fluidos refrigerantes halogenados e agentes de expansão nos diferentes setores de aplicação, a Figura 7, apresentada na sequência, mostra o fluxo de massa de todas as emissões europeias de diversos setores para o ano de 2030 para diferentes substâncias e as quantidades resultantes de TFA depositadas nas regiões e no globo. Fica bem clara a crescente tendência nas emissões de TFA oriundas de substâncias com altas taxas de formação de TFA usadas e emitidas em grandes quantidades, como o R-134a, atualmente, e o R-1234yf, no futuro. Com o consumo crescente de substitutos halogenados com baixo Potencial de Aquecimento Global, a deposição de TFA no meio ambiente aumentará muito.

Figura 7 — Diagrama de Sankey mostrando as emissões europeias totais (UE-28) das substâncias halogenadas



Fonte: UBA, Öko-Institut e Öko-Recherche[2].

[2]Valores modelados a partir do consumo e descarte em variados setores e os subprodutos da degradação atmosférica ácido trifluoroacético (TFA) e fluoreto de hidrogênio (HF) para o ano de 2030. Os setores de agentes de expansão, propulsores à base de spray, solventes e agentes de extinção de incêndio, bem como a indústria de semicondutores e emissões decorrentes da produção de HFC estão resumidos como "Outros".

2.6 De olho no futuro: tecnologias de refrigeração verde

Hoje, a indústria tem duas opções principais referentes ao uso futuro dos fluidos refrigerantes. As empresas podem usar os HFCs insaturados (os chamados "HFOs"), que possuem GWP mais baixo, porém causam impactos desconhecidos sobre o meio ambiente (veja também o Capítulo 2.5). Ou podem optar pelos fluidos refrigerantes naturais, como hidrocarbonetos, amônia, CO_2 e água.

Fluidos refrigerantes naturais

Os fluidos refrigerantes naturais não destroem a Camada de Ozônio e possuem GWP desprezível ou nulo.

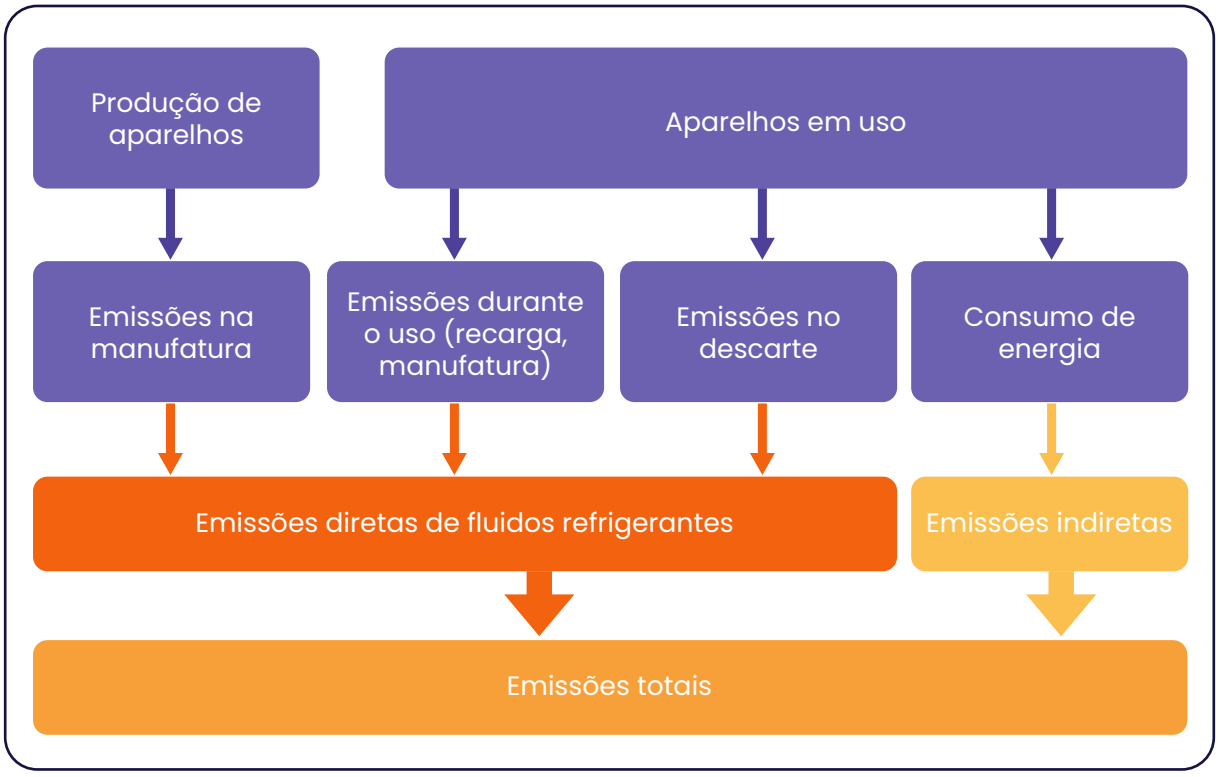
Os fluidos refrigerantes naturais foram em parte usados em processos de refrigeração até meados do século XX. Embora algumas substâncias como a amônia tenham sido usadas continuamente no último século, outras como dióxido de carbono e hidrocarbonetos foram "redescobertas" mais recentemente como opções eficientes na refrigeração.

Os fluidos refrigerantes naturais costumam apresentar maior nível de toxicidade, inflamabilidade e alta pressão de operação. Portanto, o uso deles exige treinamento adicional para os técnicos/as.

Além da escolha de um fluido refrigerante adequado, o projeto completo do sistema de refrigeração tem influência decisiva no consumo de energia. A eficiência de um sistema de refrigeração é consideravelmente mais influenciada pelo conceito geral (até 50%) do que pela escolha do fluido refrigerante (TEAP, 2018).

Mais recentemente, o foco nas emissões totais de gases de efeito estufa durante a vida útil do equipamento (veja a Figura 8) passou a ser uma questão de maior atenção, exigindo que a redução do impacto negativo dos fluidos refrigerantes liberados na atmosfera andasse lado a lado com uma redução no consumo de energia. O movimento em direção à maior eficiência em nível de equipamento ou da edificação é um conceito complementar a evitar o consumo e o desperdício de energia em termos absolutos (maior suficiência ecológica). Reduzir o uso de equipamentos mecânicos com o maior uso de métodos tradicionais de refrigeração, usar refrigeração passiva ou sombreamento, ou influenciar o comportamento humano para a melhor operação são exemplos de como adotar o conceito de eficiência energética nas aplicações de refrigeração.

Figura 8 — Emissões de equipamentos de AVAC-R



Fonte: HEAT GmbH.

Eficiência energética

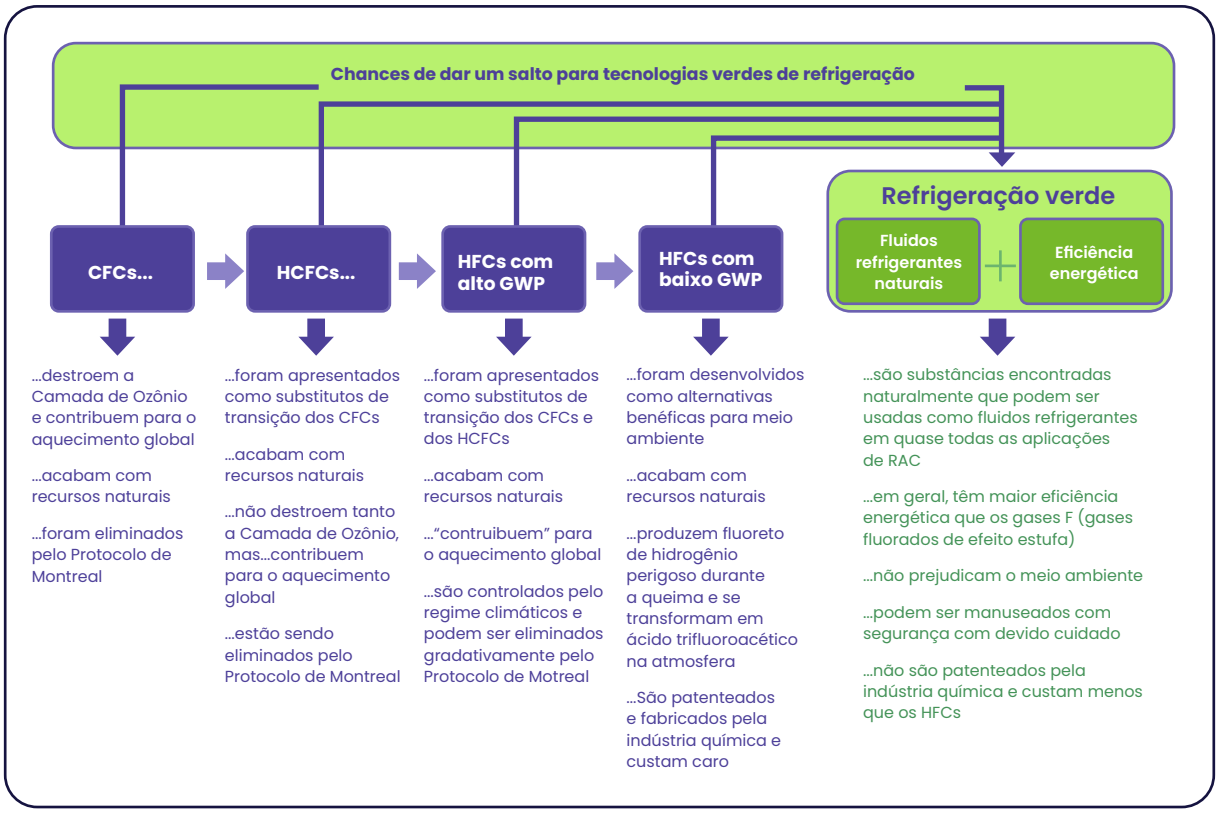
No mundo todo, cerca ⅕ a ¼ das emissões de gases de efeito estufa (GEE) são causadas por fluidos refrigerantes lançados na atmosfera, provocando um impacto direto no aquecimento global. São as chamadas emissões diretas. As emissões remanescentes GEE são causadas pelo consumo de energia durante a produção, o transporte, a operação e o descarte de sistemas de AVAC-R. São as emissões indiretas. Durante a vida útil do equipamento de AVAC-R, as emissões diretas e indiretas levam ao impacto total sobre o clima, geralmente expresso com o Desempenho Climático durante o Ciclo de Vida (LCCP, "*Life Cycle Climate Performance*") ou TEWI (Impacto Total Equivalente de Aquecimento Global).

A maior eficiência energética dos sistemas de refrigeração e a menor necessidade geral por refrigeração não só economizam o dinheiro do consumidor, mas também aliviam a carga das distribuidoras de energia elétrica, já tão atarefadas. Elas também evitam os apagões, que podem afetar de modo negativo o desenvolvimento de indústrias e serviços competitivos. A eficiência energética também diminui a necessidade de fazer investimentos adicionais em infraestrutura de energia, o que pode ser uma enorme carga financeira para países menos desenvolvidos.

Equipamentos com maior eficiência energética e uso de fluidos refrigerantes naturais, que, portanto, diminuem o impacto ambiental, são chamados de "tecnologias de refrigeração verde" neste manual. As tecnologias de refrigeração verde oferecem alternativas de longo prazo para quase todos os tipos de sistemas e aparelhos no setor de AVAC-R.

A substituição de substâncias que destroem a Camada de Ozônio e de substâncias fluoradas que afetam o clima por fluidos refrigerantes naturais em sistemas e aplicações com eficiência energética é chamada de “grande salto” (veja a Figura 9). Encontrar oportunidades de dar esse “grande salto” pode evitar que países e indústrias passem pela fase de novos conjuntos de gases fluorados, uma vez que os acordos internacionais irão ficar cada vez mais exigentes nos próximos anos.

Figura 9 — “Grande salto” para tecnologias de refrigeração verde



Fonte: HEAT GmbH.

3

Revisão dos fundamentos básicos de refrigeração e ar condicionado

3. Revisão dos fundamentos básicos de refrigeração e ar condicionado

3.1 O que significa ar condicionado?

Ar condicionado é um sistema de ventilação e ar condicionado que produz e mantém a qualidade do ar interno confortável ou como desejada (temperatura, umidade, pureza, concentração de CO_2), independentemente do tempo, do calor residual e das emissões humanas e técnicas.

O sistema de ar condicionado tem a tarefa de deixar o ar da sala em um estado específico e mantê-lo daquele jeito ("condicionado"). Contudo, o aparelho de ar condicionado é por vezes entendido simplesmente como um meio de refrigerar o ar de uma sala.

Logo, são essas as funções de um aparelho de ar condicionado:

- Mudar a temperatura do ar (aquecimento ou refrigeração);
- Mudar a umidade do ar (umidificando ou secando); e
- Remover conteúdo / contaminantes do ar (filtração ou troca).

Para determinadas funções de tratamento do ar (refrigeração, aquecimento, desumidificação), é usado um equipamento de refrigeração.

3.1.1 Classificação dos sistemas de ar condicionado conforme a norma EN 16798-3

Um sistema de ar condicionado é uma combinação de aparelhos designados para fornecer ar condicionado para o espaço. O "sistema completo de ar condicionado" inclui um sistema de ventilação (projetado para fornecer ar externo ao espaço interno e extrair o ar poluído do ambiente interno) e quatro funções termodinâmicas de tratamento do ar (aquecimento, refrigeração, umidificação e desumidificação). Os diversos sistemas estão listados na Tabela 3.

Você pode encontrar mais informações na norma europeia EN-16798-3 Requisitos de desempenho para sistemas de ventilação e de ar condicionado de pequeno porte.

Com base nas funções térmicas e de ventilação, um sistema de ventilação ou ar condicionado pode ser especificado por funções. Os sistemas podem ser reunidos para oferecer mais funções.

Tabela 3 — Tipos de sistemas de ventilação, ar condicionado central e ar condicionado de pequeno porte baseados em funções

	Sistema	Ventilador de ar de insuflamento	Ventilador de ar de extração	Ventilador secundário	Recuperação de calor	Bomba de calor residual	Filtração	Aquecimento	Refrigeração	Umidificação	Desumidificação
a	Sistema de ventilação de ar de insuflamento unidirecional	X	-	-	-	-	O	O	-	-	-
b	Sistema de exaustão de ar unidirecional	-	X	-	-	O	-	-	-	-	-
c	Sistema de ventilação bidirecional	X	X	-	X	O	X	O	-	-	-
d	Sistema de ventilação bidirecional com umidificação	X	X	-	X	O	X	O	-	X	-

(Continuação)

	Sistema	Ventilador de ar de insuflamento	Ventilador de ar de extração	Ventilador secundário	Recuperação de calor	Bomba de calor residual	Filtração	Aquecimento	Refrigeração	Umidificação	Desumidificação
e	Sistema de ar condicionado bidirecional	X	X	-	X	O	X	O	(X)	O	(X)
f	Sistema completo de ar condicionado	X	X	-	X	O	X	X	X	X	X
g	Sistema de ar condicionado de pequeno porte (*fan coil*, sistema do tipo split DX, VRF, bombas de calor de circuito de água local, etc.)	-	-	X	-	-	O	O	X	-	(X)
h	Sistemas de aquecimento de ar de pequeno porte	-	-	X	-	-	O	X	X	-	-
i	Sistemas de ar condicionado de pequeno porte	-	-	-	-	-	-	O	X	-	-

X	Incluído.
(X)	Incluído, mas a função pode ser limitada.
-	Não incluído.
O	Pode ou não estar incluído, dependendo dos requisitos.

Fonte: EN 16798-3.

Há ainda uma diferenciação usando as seguintes categorias:

- Aparelho de ar condicionado residencial;
- Aparelho de ar condicionado comercial; e
- Aparelho de ar condicionado portátil.

3.1.2 A condição subjetiva de uma sala confortável

As condições climáticas para descrever o conforto térmico podem ser atribuídas a quatro variáveis básicas:

1. Temperatura do ar;
2. Umidade do ar;
3. Velocidade do fluxo de ar; e
4. Temperatura média de radiação do ambiente ou radiação de calor.

Os valores médios desses fatores em um recinto devem atender aos critérios de conforto (critérios globais de conforto). Do ponto de vista energético, deve-se procurar manter a temperatura do recinto o mais alta possível no verão (no caso do resfriamento) e o mais baixa possível no inverno (no caso do aquecimento). Os aparelhos modernos de ar condicionado ou bombas de calor podem ser regulados com a temperatura certa do recinto, e muitos aparelhos vêm com a função "*sleep*" (dormir).

Porém, deve-se tomar cuidado para que os recintos não fiquem com o aparelho de ar condicionado ligado quando estiverem vazios. Se alguém aumentar a temperatura do recinto no verão e abaixar no inverno, isso já tem um efeito decisivo sobre o consumo de energia (carga de CO_2 no meio ambiente) e nos custos de energia elétrica. Cada grau economiza energia. No verão, para cada grau em que o aparelho de ar condicionado é ajustado a mais, a economia é de cerca de 4% de energia elétrica. Se, por exemplo, a temperatura do recinto for reduzida em apenas 1 grau durante o período de aquecimento, isso já diminui os custos de aquecimento em 6%.

O clima ideal de bem-estar (conforto) é subjetivo, mas a maioria das pessoas acha agradável quando a temperatura do recinto está entre 19 °C e 22 °C com umidade relativa de 40 a 60% (veja a Figura 10).

Ajustes individuais de temperatura para diferentes recintos também são úteis e eficazes. Conforme a norma internacional ISO 7730, os seguintes valores padrão são ideais:

Estúdio (escritório, sala de estar): 20 °C a 22 °C;

Quarto: 16 °C a 18 °C;

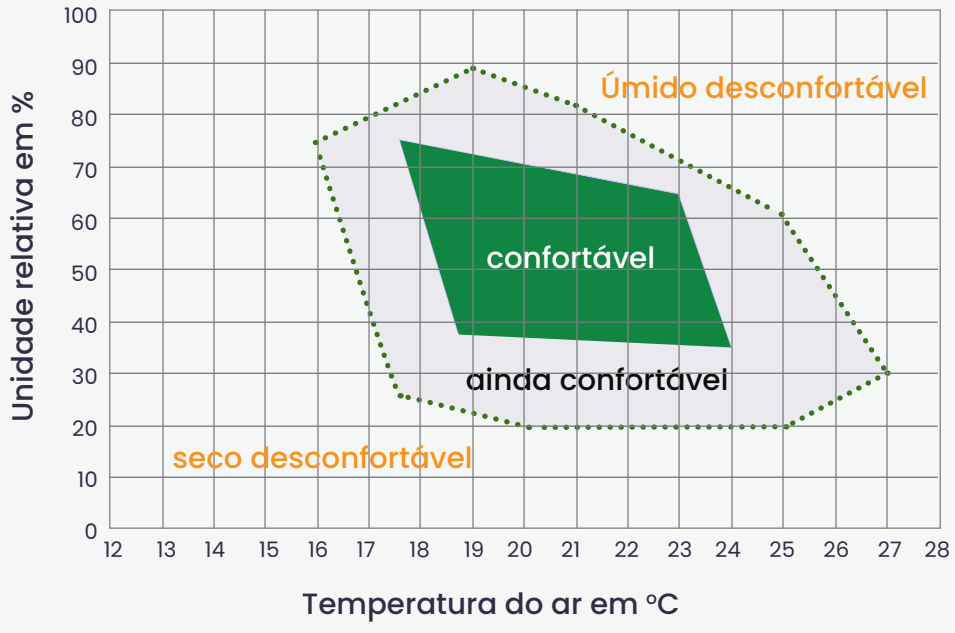
Cozinha: 18 °C a 20 °C;

Banheiro: 24 °C a 26 °C; e

Quarto de criança: 20 °C a 22 °C.

Atenção: Recomenda-se que a diferença entre a temperatura externa e interna seja de no máximo 7 °C. Por exemplo: se a temperatura externa for 30 °C, a temperatura do recinto não deve ficar abaixo de 23 °C. Como consequência positiva, o organismo humano se regenera e se recupera mais rápido depois de um dia quente de verão e o funcionamento do sistema de ar condicionado apresenta maior eficiência energética.

Figura 10 — Zona de conforto em relação a umidade e temperatura



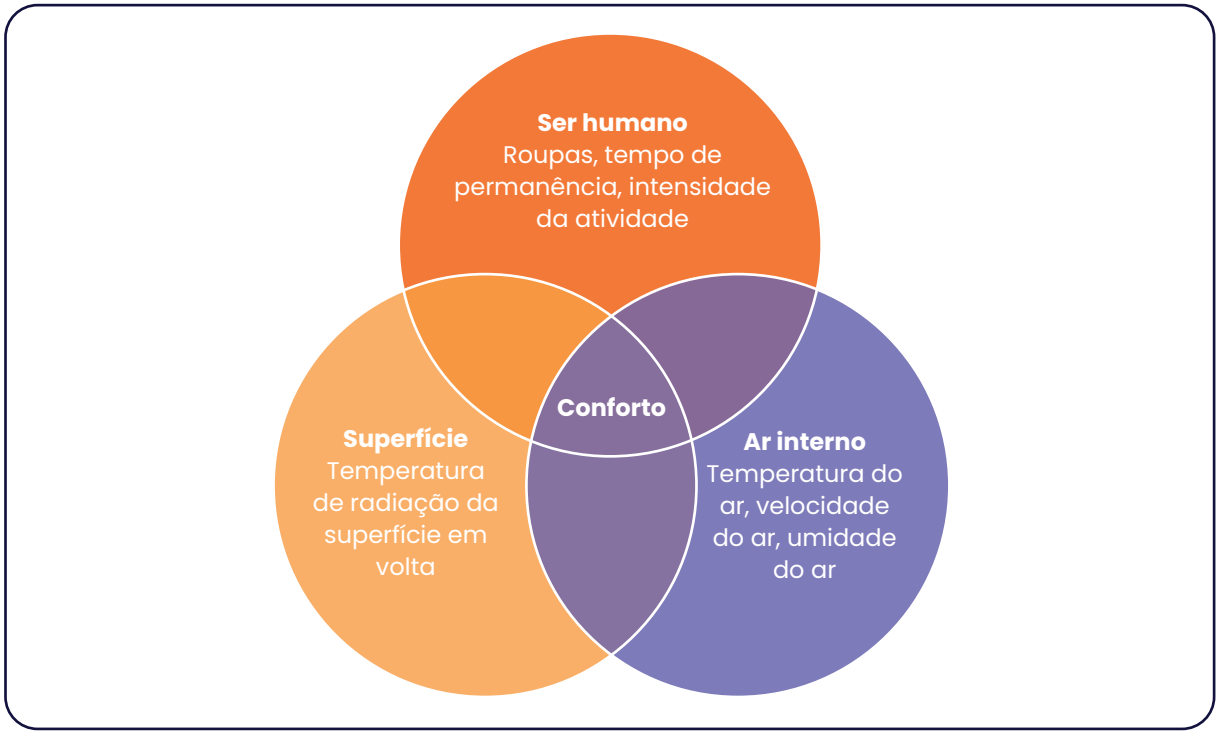
Fonte: Rolf Huehren.

Se houver desvios individuais apesar da conformidade com os critérios gerais de conforto, isso pode levar a condições desconfortáveis. A densidade de transferência de calor local na superfície da pele da pessoa passa a mostrar diferenças maiores, o que é percebido como desconfortável. São exemplos de condições desse tipo os locais de trabalho próximos a janelas abertas, que podem provocar correntes de ar. Além disso, uma forte estratificação de temperatura, assimetria de radiação desfavorável (frente de janela fria) ou pisos frios podem ser percebidos como desconfortáveis.

Os efeitos fisiológicos dessas variáveis climáticas sobre uma pessoa só podem ser avaliados considerando a interação deles e outras influências, como a atividade da pessoa (intensidade de trabalho), isolamento das roupas, constituição/disposição pessoal, e qualidade do ar interno (veja a Figura 11).

A alteração de uma dessas variáveis afeta a pessoa e provoca uma mudança na sensação de conforto.

Figura 11 — Influências que determinam o bem-estar térmico

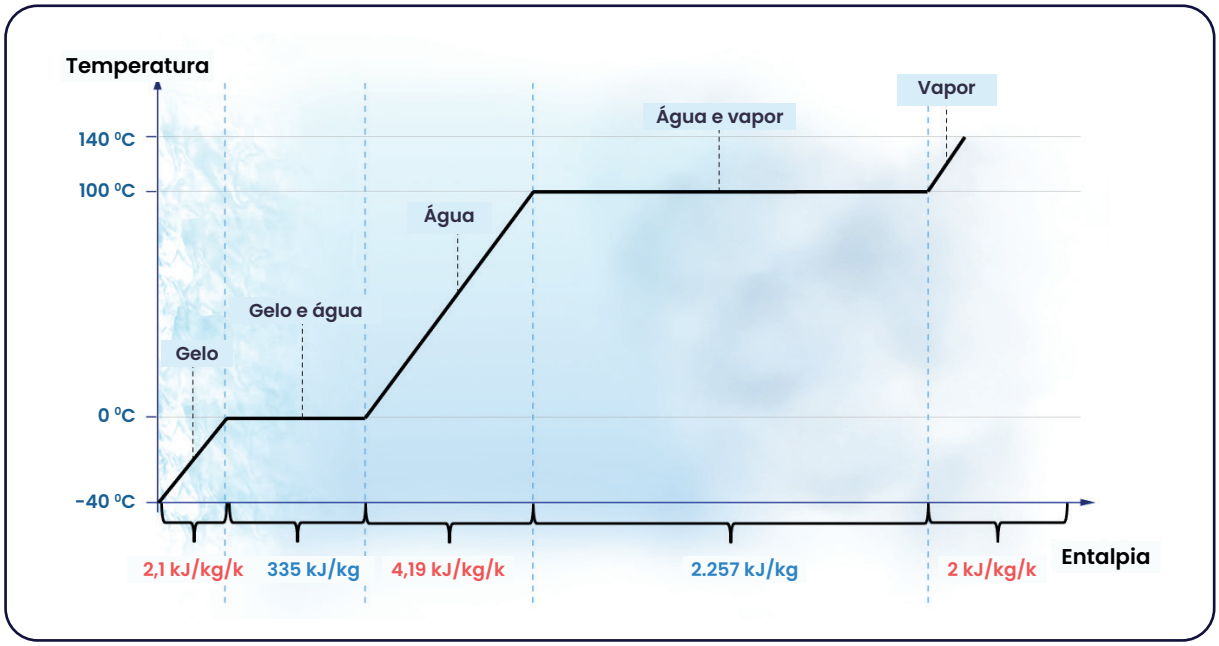


Fonte: Introdução à tecnologia de climatização - Heinz Eickenhorst ISBN3-8027-2371-6.

3.1.3 Carga térmica de refrigeração e aquecimento

Para selecionar o tamanho do equipamento (capacidade de refrigeração/aquecimento), é importante saber qual é a carga térmica necessária de refrigeração ou aquecimento da aplicação, isto é, o aquecimento necessário que precisa ser subtraído ou acrescentado para manter o espaço condicionado na temperatura e na umidade pretendidas. A carga devida a mudanças de temperatura é conhecida como carga sensível, enquanto a carga devida a mudanças na umidade é a carga latente. Especificamente, é a quantidade de energia necessária para provocar uma mudança de fase (para os fins deste documento, de líquido para gás, ou de gás para líquido) sem mudar a temperatura real de uma substância (veja a Figura 12 para referência).

Figura 12 — Diagrama de temperatura/entalpia da água



Fonte: HEAT GmbH.

No diagrama de temperatura/entalpia da água, podemos ver o consumo de calor para mudanças de temperatura e mudanças de estado de agregação. O calor que deve ser acrescentado ou removido para alterar a temperatura de uma substância é chamado de calor sensível. O calor necessário para mudar o estado da matéria é chamado de calor latente.

Pode-se ganhar ou perder calor por condução, convecção e radiação. Além disso, quando se analisa um volume que não está totalmente contido (isto é, existe uma massa entrando ou saindo, como fluxo de ar, fluxo de água, produtos refrigerados ou congelados, etc.), isto deve ser levado em consideração na hora de calcular a carga térmica.

A Figura 13 mostra um exemplo de interações de calor (que ilustram o tema "carga térmica de refrigeração") entre uma sala e o ambiente, que podem ser resumidas da seguinte forma:

Transmissão de calor ($\dot{Q}_{trans}$): transferência de calor pelas paredes, piso, telhado, janela de vidro, duto de ar condicionado, etc. Vai depender principalmente da diferença de temperatura entre o ambiente interno/externo, condutividade térmica da parede, coeficiente de transferência de calor de convecção entre o ambiente interno e externo, espessura da parede e área transversal;

Radiação ($\dot{Q}_{rad}$): por exemplo, o calor radiante do sol, que aquece o interior através das janelas e aquece as paredes externas. Logo, é importante saber a orientação da edificação ou de qualquer outro espaço afetado por esse tipo de transferência de calor;

Calor gerado internamente ($\dot{Q}_{gen}$): depende...

- Da ocupação do prédio, como o número de pessoas, a agenda e o tipo de atividade (calor sensível e latente). Parte do calor sensível é transferido por radiação;

- Dos aparelhos como computadores, eletrodomésticos de cozinha, geladeiras, etc. (calor sensível e latente, conforme o equipamento/atividade). Parte do calor sensível é transferido por radiação;

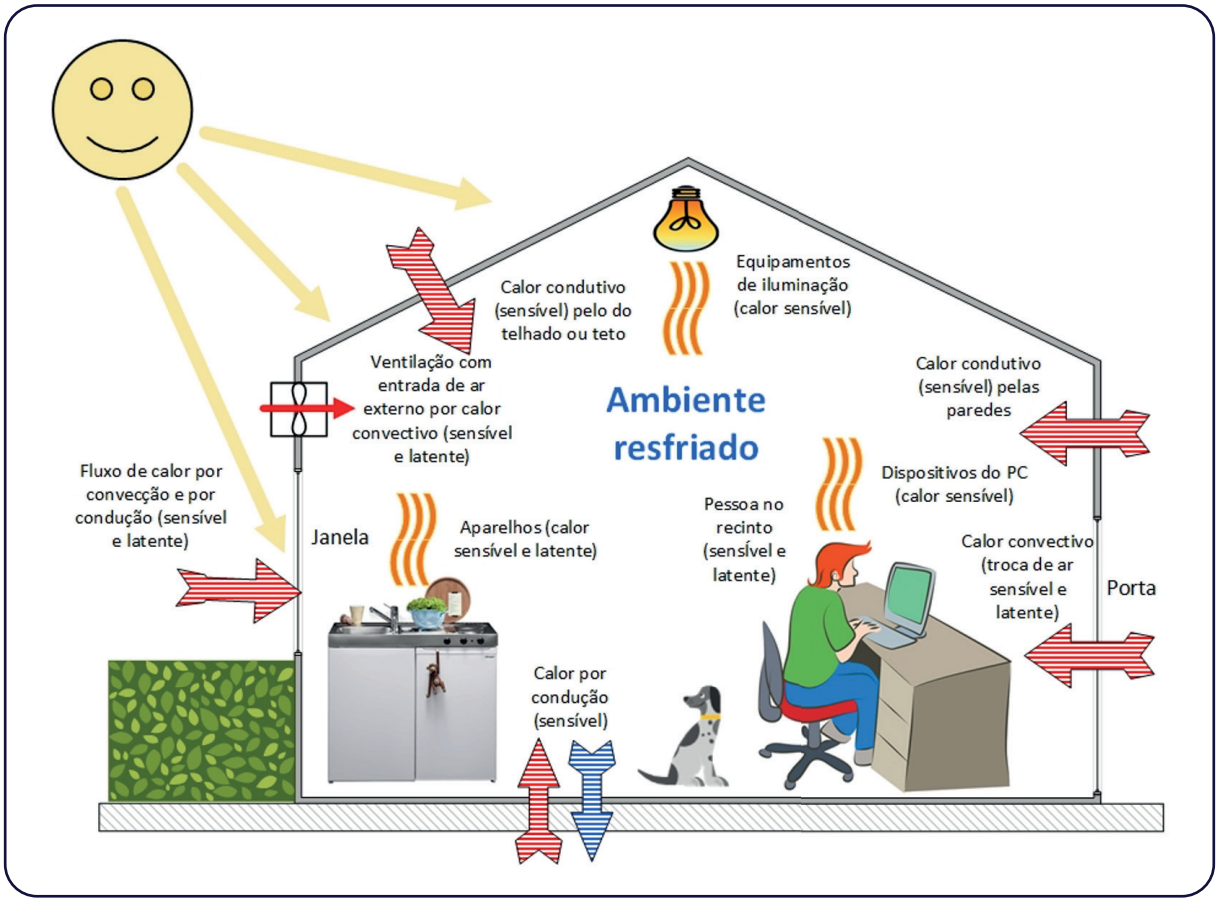
Troca de ar ($\dot{Q}_{air}$): como infiltração de ar (janela, porta, etc.) e ventilação. Pode ser exigida uma troca mínima de ar[3] para manter a qualidade do ar. Vai depender do tipo de sala, ocupação, etc. Devem-se considerar tanto o calor sensível quanto o latente no cálculo de carga térmica. O calor sensível está relacionado à diferença de temperatura do ar, enquanto o calor latente refere-se a alterações na umidade (ex.: desumidificação ou umidificação); e

Processo ($\dot{Q}_{prod}$): Carga para tráfego humano ou de produtos trazidos de fora a uma temperatura diferente. Essa carga pode ser grande em aplicações de câmaras frigoríficas. Alguns produtos, como frutas e legumes, além do calor sensível devido à diferença de temperatura, também geram calor pela respiração.

[3]Os países incluem uma troca de ar mínima (geralmente no volume do espaço por hora) para diferentes situações em suas regulamentações e normas. Sendo assim, as exigências podem mudar de um país para outro. Para referência como regra geral, pode-se usar a seguinte lista: https://www.engineeringtoolbox.com/air-change-rate-room-d_867.html

A contribuição das diferentes interações de calor para a carga total depende das condições do ambiente e do tipo de aplicação. Por exemplo: em um sistema de ar condicionado, a expectativa é que a carga interna seja maior que a carga devido à troca de ar (aparelho de ar condicionado do tipo split). Por outro lado, a expectativa é que a carga de troca de ar seja maior em aplicações de ar condicionado devido às regulações de ventilação e aos esforços de manter o ar interno a uma determinada temperatura e umidade para conforto das pessoas.

Figura 13 — Conceito de carga interna[4]



Fonte: MITSUBISHI Electric.

[4]Esse diagrama mostra a situação para refrigeração. No caso de aquecimento, o sentido dos itens fica invertido, exceto os itens 1, 7, 8 e 9).

3.1.3.1 Cálculo da carga térmica de refrigeração/ aquecimento

Existem vários métodos para calcular a carga térmica de refrigeração/ aquecimento, desde cálculos simples que podem ser feitos à mão até cálculos transientes detalhados feitos por software que consideram a condição a cada hora e detalhada geometria. Há também inúmeras diretrizes que fornecem métodos de cálculo de carga térmica para considerar as diferentes cargas de radiação, pessoas, ventilação, etc. e o efeito disso ao longo do tempo. Por exemplo: diretrizes alemãs VDI 2078 (norma VDI 2078) e *Handbook of Fundamentals* (manual de princípios básicos) da Sociedade Americana ASHRAE (ASHRAE, 2021).

Quanto mais exato o método, melhores as decisões tomadas na hora de selecionar um equipamento de AVAC-R. No entanto, embora um software complexo ofereça resultados mais exatos, ele pode exigir o fornecimento de dados detalhados para produzir resultados com baixo grau de incerteza; caso contrário, todo o esforço para construir um modelo detalhado pode ser em vão.

Esta seção apresenta as equações básicas que podem ser usadas para calcular a carga térmica de refrigeração/aquecimento para diferentes aplicações. Deve-se ressaltar que são necessárias modificações nessas equações para considerar os efeitos transientes.

A carga térmica total de refrigeração pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\dot{Q}_{load} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{gen} + \dot{Q}_{air} + \dot{Q}_{proc}$$

Você pode obter mais informações de exemplo no *software CoolPack*: https://www.ipu.dk/products/coolpack/

O *CoolPack* é um programa *freeware* (distribuído gratuitamente).

O *CoolPack* foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Mecânica (MEK), Seção de Energia Térmica (TES) da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU). O desenvolvimento do *CoolPack* foi financiado pela

Agência Dinamarquesa de Energia como parte do projeto SysSim até a versão 1.33. A IPU hospeda as páginas de *download* do *CoolPack*.

As seguintes finalidades de simulação são cobertas:

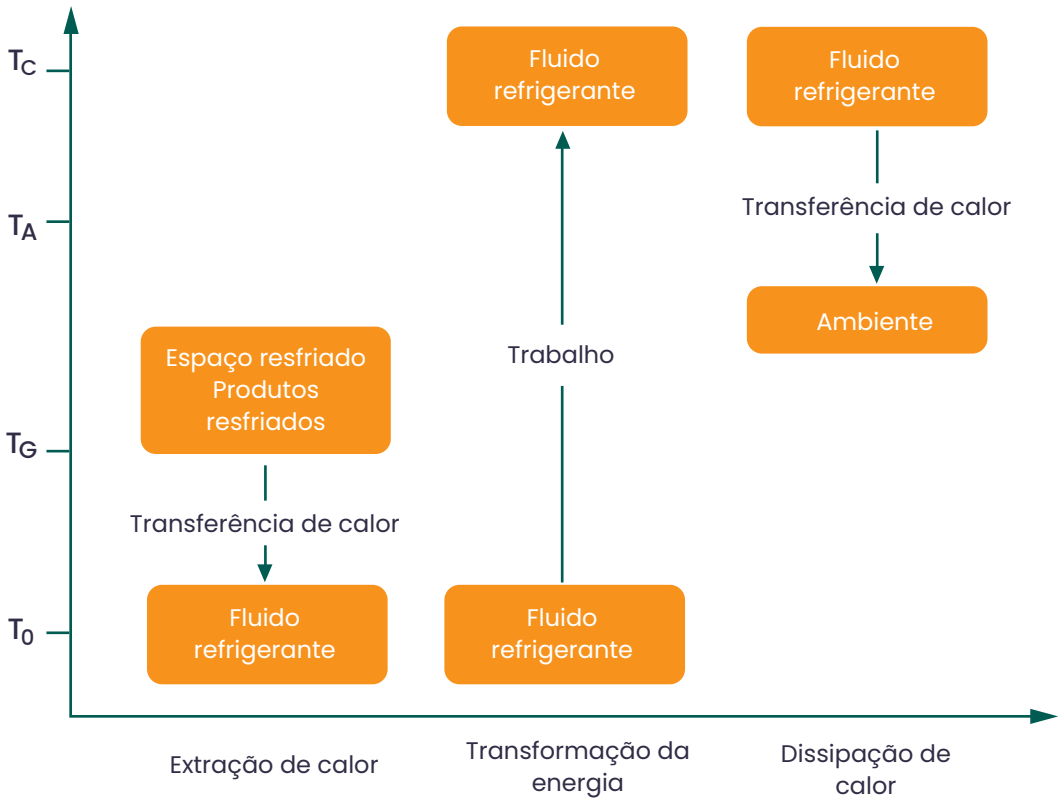
- Análise de circuito (design de processo);
- Dimensionamento do sistema;
- Simulação do sistema;
- Cálculos de componentes;
- Análise de condições de operação;
- Simulação transiente (refrigeração de um objeto/sala);
- Cálculos de fluidos refrigerantes (plots de propriedade, propriedades termodinâmicas e de transporte e comparação de fluidos refrigerantes); e
- Custo do ciclo de vida (LCC).

3.2 O que significa refrigeração?

Refrigeração é a tecnologia usada para gerar, reter e usar uma temperatura mais baixa em uma área limitada comparada com o entorno. Refrigeração significa a remoção do calor de uma área confinada. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, não é possível transferir o calor de um objeto mais frio para um objeto mais quente. Para conseguir isso, é preciso que um trabalho seja feito.

A Figura 14 mostra os mecanismos de transporte de calor que ocorrem durante esse processo. O calor só pode ser removido de determinado espaço se o calor for transferido de um corpo de temperatura mais alta para um corpo de temperatura mais baixa. Essa temperatura mais baixa é mantida no fluido refrigerante (fluido de transferência de calor) usando equipamento de refrigeração.

Figura 14 — Mecanismo de transporte de calor



Tc	Temperatura de condensação do fluido refrigerante
TA	Temperatura do ambiente
TG	Temperatura dos objetos ou espaço refrigerado
T0	Temperatura de evaporação do fluido refrigerante

Fonte: Rolf Huehren.

A palavra *refrigerar* é usada para se referir ao processo contínuo, e o termo *refrigeração* é usado para se referir a algo que está concluído, como o equipamento (equipamento de refrigeração).

O *sistema de refrigeração* é um misto de peças interconectadas contendo fluido refrigerante, que constituem um circuito fechado no qual o fluido refrigerante circula para transportar, remover e rejeitar o calor com a finalidade de refrigerar e/ou aquecer.

O trabalho do transporte de calor é tradicionalmente feito de forma mecânica, mas também pode ser realizado por calor, magnetismo, eletricidade, laser ou outros meios.

Há ainda uma diferenciação usando as seguintes categorias:

- Refrigeração doméstica;
- Refrigeração comercial;
- Refrigeração industrial; e
- Refrigeração para transporte.

3.3 Propriedades termodinâmicas e unidades básicas do sistema internacional

3.3.1 O sistema internacional de unidades — SI

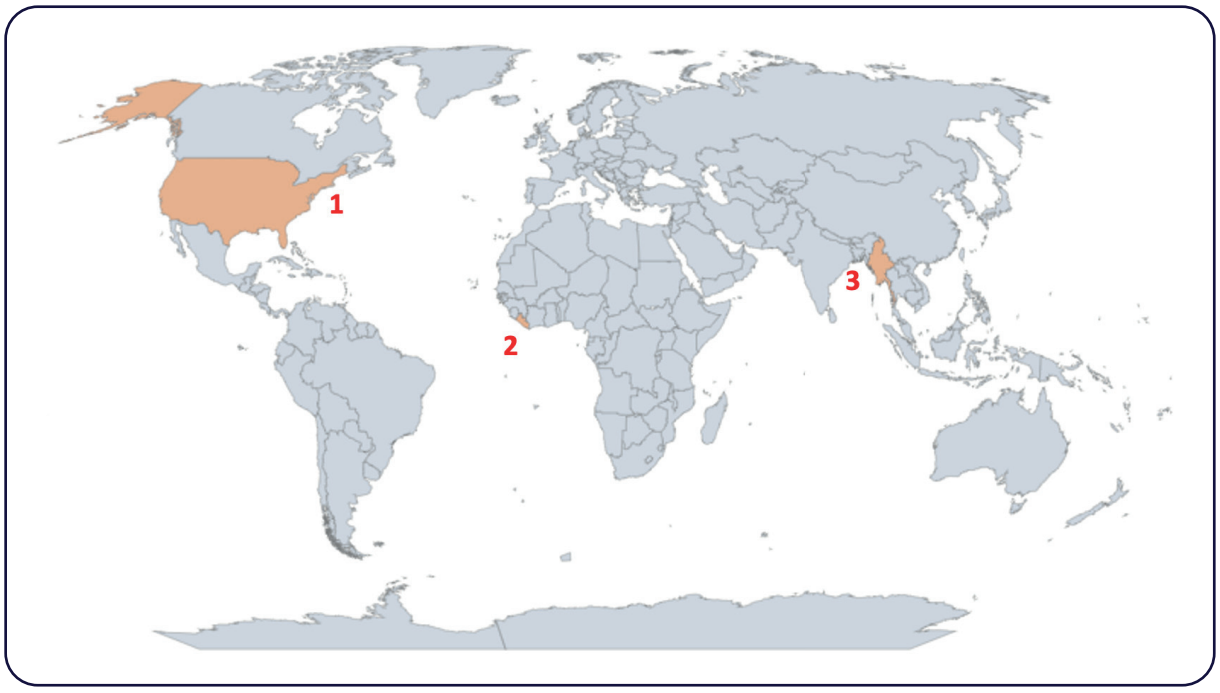
As unidades de medida aceitas nos setores de refrigeração e ar condicionado na maioria dos países são as que foram harmonizadas pela ISO (Organização Internacional de Normalização). A Norma ISO 1000 recomenda o uso do sistema internacional de unidades (SI).

Atualmente, o sistema SI é usado praticamente no mundo inteiro, com exceção dos Estados Unidos, Libéria e Miamar, onde as unidades imperiais mais antigas ainda são amplamente utilizadas (veja a Figura 15).

O sistema internacional de unidades é a forma moderna padrão do sistema métrico. O nome desse sistema pode ser abreviado para SI, oriundo do francês *Système International d'unités*.

Durante uma reunião na Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) em Versailles, na França, os representantes votaram para redefinir o Sistema Internacional de Unidades (SI), mudando a definição mundial de quilograma, ampère, kelvin e mol. As alterações entraram em vigor no dia 20 de maio de 2019. Existem sete (7) unidades/grandezas de base e vinte e duas (22) unidades/grandezas derivadas das sete unidades de base. As unidades mais importantes para o setor de refrigeração e ar condicionado (RAC) estão listadas na Tabela 4.

Figura 15 — Uso de unidades SI nos países em cinza; não utilização das unidades SI nos países em laranja



Fonte: Statista.com.

Tabela 4 — Unidades relevantes relacionadas à refrigeração básica

Temperatura (unidade de base SI) A escala de Kelvin (k), que usa grau Celsius (°C) para incrementos de unidades.	**Velocidade** (unidade derivada coerente) Metros por segundo (m/s)
Pressão (unidade derivada) Pascal (Pa) 100kPa = 1 bar	**Taxa de fluxo de massa** (unidade derivada coerente) Metros cúbicos por segundo (m^3/s)
Massa (unidade de base SI) Quilograma (kg)	**Densidade** (unidade derivada coerente) A densidade é a razão da massa (peso) de uma substância comparada com seu volume $= \frac{Massa}{Volume} = \frac{kg}{m^3}$ (kg/m³)
Comprimento (unidade de base SI) Metro (m)	**Energia** (unidade derivada com nome especial) Joule (J)

(Continuação)

Tempo (unidade de base SI) Segundo (s)	**Potência** (unidade derivada com nome especial) Watt (W) é o equivalente a 1 joule por segundo 1kW = 1.000W = 1.000J/s.
Volume (unidade derivada coerente) Metros cúbicos (m^3) Litro (l) é 1/1.000º de um metro cúbico de água, ou 1 decímetro cúbico (dm^3), que são 1.000 cm^3	**Capacidade elétrica** (unidade de base SI) 1 Ampere = 1 Coulomb / Segundo = 1 C/s

Fonte: Rolf Huehren.

A Figura 16 fornece recursos para a conversão das unidades SI em unidades tradicionais.

Figura 16 — Tabelas de conversão de unidades

POTÊNCIA	BUT/h	Kcal/h	KW	W	KJ	Hp	RT
1 BUT/h	1	0,252	0,000293	0,293	1,055	0,00039	0,000083
1 Kcal/h	3,968	1	0,001163	1,163	4,186	0,00155	0,000329
1 KW	3.412,00	860,00	1	1.000,00	3.601,00	1,33	0,283
1 W	3,412	0,86	0,001000	1	3,601	0,00133	0,000283
1 KJ	0,948	0,239	0,000278	0,278	1	0,00037	0,000079
1 Hp	2.559,00	645,00	0,750	750,00	2.700,00	1	0,212
1 RT	12.000,0	3.024,00	3,516	3.516,00	12.660,00	4,68	1

PRESSÃO	Psi	kPa	kg/cm²	inHg	mmHg	oz/in²	bar	mbar
1 psi	1	6,895	0,07031	2,036	51,715	16,00	0,0689	68,948
1 kPa	0,1450	1	0,01020	0,2953	7,501	2,321	0,0100	10,00
1 kg/cm²	14,2233	98,067	1	28,959	735,559	227,573	0,9807	1.013,25
1 inHg	0,4912	3,386	0,03453	1	25,400	7,858	0,0339	33,864
1 mmHg	0,0193	0,133	0,00136	0,0394	1	0,309	0,0013	1,333
1 oz/in²	0,0625	0,431	0,00439	0,1273	3,232	1	0,0043	4,309
1 bar	14,5038	100,00	1,01972	29,53	750,063	232,061	1	1.000,00
1 mbar	0,0145	0,100	0,00102	0,0295	0,750	0,232	0,0010	1

VÁCUO								
Evap. H_2O °F	Evap. H_2O °C	mbar	Pascal (Pa)	Mícrons (millitorr)	psi	Torr	inHg	% Vácuo
212	100,0	1.013,070	101.307	759.968,00	14,69800	759,968	0,00	0
205	96,1	713,150	71.315	535.000,00	10,34690	535,000	8,86	29,59
194	90,0	700,530	70.053	525.526,00	10,16200	525,530	9,23	30,63
176	80,0	473,340	47.334	355.092,00	6,86600	355,100	15,94	53,13
158	70,0	311,500	31.150	233.680,00	4,51900	233,680	20,72	69,15
140	60,0	199,090	19.909	149.352,00	2,88000	149,350	24,04	80,29
122	50,0	123,240	12.324	92.456,00	1,78800	92,460	26,28	87,8
104	40,0	73,470	7.347	55.118,00	1,06600	55,120	27,75	92,72
86	30,0	42,320	4.232	31.750,00	0,61400	31,750	28,67	95,81
80	26,7	33,860	3.386	25.400,00	0,49100	25,400	28,92	96,65
76	24,4	30,470	3.047	22.860,00	0,44200	22,860	29,02	96,98
72	22,2	27,090	2.709	20.320,00	0,39300	20,320	29,09	97,32
69	20,6	23,700	2.370	17.780,00	0,34400	17,780	29,12	97,65
64	17,8	20,550	2.055	15.420,00	0,29500	15,420	29,31	97,96
59	15,0	16,930	1.693	12.700,00	0,24600	12,700	29,42	98,32
53	11,7	13,540	1.354	10.160,00	0,19600	10,160	29,55	98,65
45	7,2	10,150	1.015	7.620,00	0,14700	7,620	29,62	98,99
32	0,0	6,090	609	4.572,00	0,08800	4,570	29,82	99,4
21	-6,1	3,390	339	2.540,00	0,04900	2,540	29,84	99,66
6	-14,4	1,690	169	1.270,00	0,02450	1,270	29,86	99,83
1,4	-17,0	1,330	133	1.000,00	0,01934	1,000	29,88	99,87
-4	-20,0	0,990	99	750,00	0,01450	0,750	29,89	99,9
-9,4	-23,0	0,670	67	500,00	0,00967	0,500	29,90	99,93
-24	-31,1	0,340	34	254,00	0,00490	0,254	29,905	99,97
-35	-37,2	0,170	17	127,00	0,00245	0,127	29,910	99,98
-40	-40,0	0,133	13,3	100,00	0,00193	0,100	29,916	99,986
-60	-51,1	0,034	3,4	25,40	0,00049	0,025	29,917	99,996
-70	-56,7	0,017	1,7	12,70	0,00024	0,013	29,918	99,998
-90	-67,8	0,003	0,3	2,50	0,00005	0,002	29,919	99,999
		0,000	0	0,00	0,00000	0,000	29,920	100

Fonte: Rolf Huehren.

3.3.2 O que é calor?

O calor físico é uma forma de energia também conhecida como energia térmica. Existem várias formas de energia:

- Energia térmica;
- Energia elétrica;
- Energia química;
- Energia mecânica (de movimento);
- Energia nuclear;
- Energia radiante;
- Energia gravitacional; e
- Energia de ionização ou potencial de ionização.

A energia não pode ser criada nem destruída (é a primeira lei da termodinâmica); ela só muda de uma forma para outra. Por exemplo: O vento (energia cinética) é convertido em energia elétrica em uma usina eólica. A energia elétrica é convertida em calor (energia térmica) em uma chaleira, ou convertida em luz (energia radiante) no bulbo de uma lâmpada.

O calor é uma forma de energia e se deve ao movimento das moléculas das quais todas as substâncias são compostas. Todas as substâncias podem existir como sólidas, líquidas ou gasosas. A mudança de um estado a outro ocorre com o acréscimo ou a remoção de calor da substância.

Atenção: o calor só passa de um corpo quente para outro frio. Essa transferência de calor pode acontecer de três maneiras: condução, convecção e radiação. Esses três processos podem ocorrer isoladamente ou ao mesmo tempo.

3.3.3 O que é temperatura?

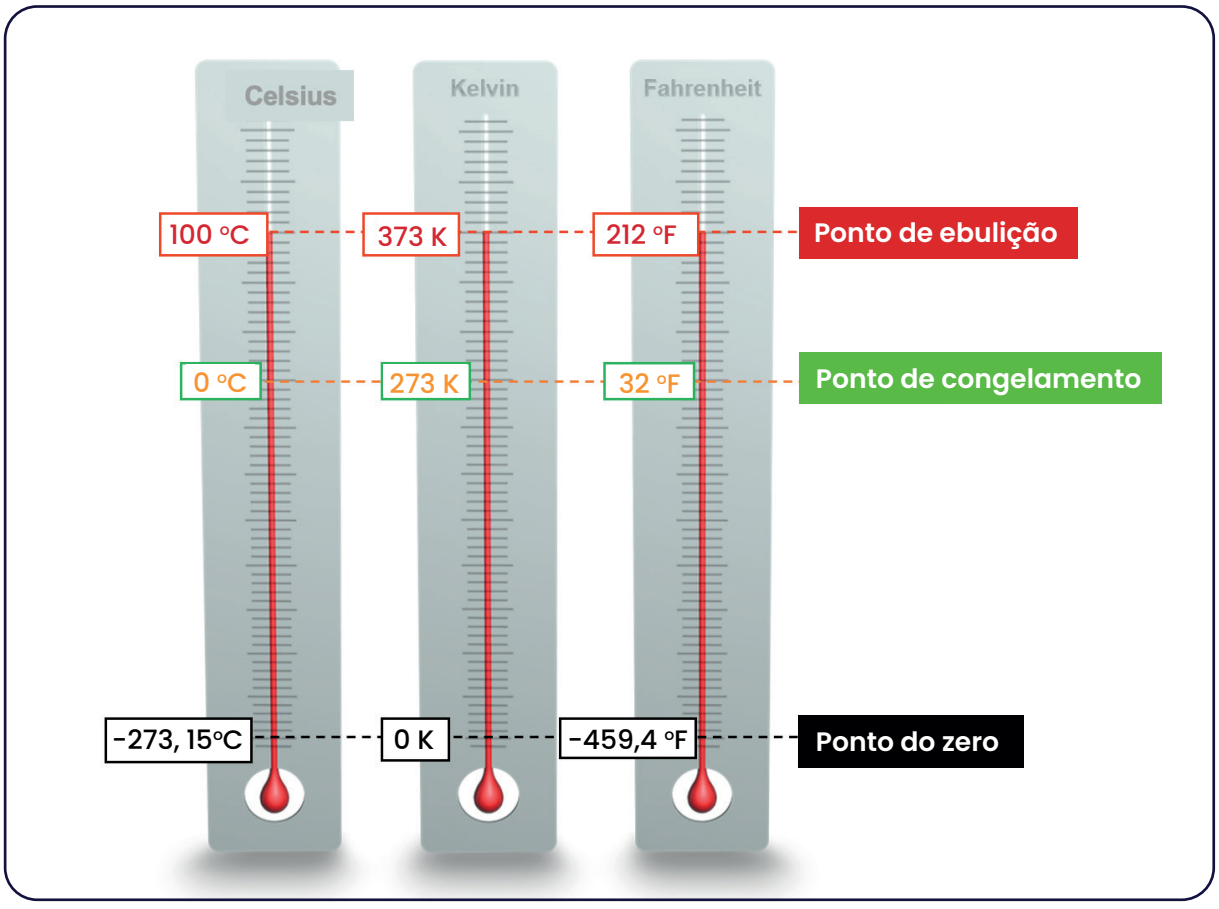
A temperatura é um parâmetro físico importante na termodinâmica. Quando você toca em um corpo com as mãos, consegue sentir se ele está frio ou quente. Porém, o ser humano só consegue sentir a temperatura do corpo até determinado grau. Influências externas podem afetar a percepção.

No dia a dia, a escala Celsius (°C) e a escala Fahrenheit (°F) são usadas. As duas escalas de temperatura receberam os nomes dos físicos Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 a 1736) e Anders Celsius (1701 a 1744). Para desenvolver a escala de temperatura, Anders Celsius adotou dois pontos fixos. A temperatura de uma mistura de água líquida e gelo (0 °C) e de água fervendo (100 °C). Fahrenheit adotou como pontos fixos a temperatura corporal de uma pessoa saudável, a temperatura de uma mistura refrigerada de gelo, água e cloreto de amônia, e a temperatura mais baixa em Danzig no inverno frio de 1708/1709. Os intervalos entre os pontos fixos foram divididos para criar a escala de temperatura que usamos até hoje.

Na segunda metade do século XIX, entendeu-se que o calor é o movimento de átomos e moléculas. A temperatura depende do calor contido e da capacidade de calor de uma substância. Sendo assim, a temperatura mais baixa possível deve ser aquela de quando os átomos ou moléculas não estão mais se movimentando. Essa temperatura é de -273 °C. William Thomson (que posteriormente recebeu o título de nobreza de Lord Kelvin de Largh) indicou em 1864 que essa temperatura poderia ser o ponto zero de uma escala de temperatura. Uma escala de temperatura desse tipo foi adotada em 1960, e a unidade é conhecida como Kelvin.

A temperatura “t” é a variável determinante para o grau de calor de uma substância. A unidade de temperatura é °C (Celsius) ou °F (Fahrenheit). O ponto do zero absoluto, no qual não existe mais energia vibracional molecular, é medido com 0 Kelvin ou também com -273,15 °C (veja a Figura 17). A unidade Kelvin (K) descreve em geral uma diferença de temperatura em refrigeração.

Figura 17 — Termômetro com escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit para água (p = 1.013 mbar)



Fonte: Vulkan Lokring.

3.3.4 O que é pressão?

Quando uma força pressiona uma superfície, chamamos de pressão. A pressão pode ser medida ou calculada. A unidade SI para pressão é Pascal (Pa); o símbolo da pressão é p.

Por exemplo: 1 Pa equivale ao peso de cem gramas de areia distribuída uniformemente por um metro quadrado.

A fórmula é usada para calcular uma pressão:

$$p = \frac{F}{A}$$

p = pressão em *Pa*
F = força em *N*
A = área em m^2

Outra unidade comum de pressão é bar. É usada comumente em medidas de pressão atmosférica ou de refrigeração.

1 bar é igual a 100.000 Pa, 100 kPa, ou 0,1 mPa.

A pressão atmosférica é criada porque nosso ar ambiente é atraído pela gravidade da Terra. A superfície da Terra funciona como área de superfície, o ar atraído atua como uma força. Quanto mais ar houver sobre a superfície, maior o peso e a pressão. No nível do mar, a pressão atmosférica é de 1,013 bar. Tem menos ar acima de uma montanha. Logo, a pressão atmosférica é mais baixa. A 1.000 m acima do nível do mar, a pressão atmosférica é de 0,89 bar.

A maioria dos manômetros de pressão usados na prática são manômetros de sobrepressão (por questão de custos). Quando se mede a pressão, o valor obtido geralmente exclui a pressão atmosférica ambiente e é chamado de (manômetro de) sobrepressão pe.

Para obter a pressão absoluta ("real") p_{abs}, a pressão ambiente p_{amb} deve ser acrescentada à leitura do manômetro de pressão (P_g).

A pressão absoluta é necessária para calcular e determinar as propriedades físicas.

A Figura 18 mostra um manômetro de pressão indicando a pressão absoluta e a sobrepressão.

Figura 18 — Manômetro indicando pressão absoluta e sobrepressão

Fonte: Vulkan Lokring.

$p_{abs} = p_{amb} + p_g$ (em bar)

p_{abs}: pressão absoluta

p_g: sobrepressão (pressão do manômetro)

p_{amb}: pressão atmosférica

Observação 1: As leituras do manômetro em refrigeração geralmente indicam uma sobrepressão!

Observação 2: O valor numérico da sobrepressão é de exatamente 1 bar mais baixo que a pressão absoluta.

Observação 3: O termo "amb" deriva do latim "ambire" ou "entorno". Também pode corresponder à palavra "ambiente", em português.

Por exemplo:

- Em um sistema de refrigeração recém-instalado sem carga de fluido refrigerante, já existe uma pressão atmosférica p_{amb} = 1 bar;
- Quando é realizada a carga no sistema com fluido refrigerante, por exemplo, com pressão manométrica de 3 bar, a pressão absoluta é p_{abs} = 4 bar;
- Durante a evacuação, os procedimentos ficam no intervalo negativo de pressão manométrica. A pressão do sistema fica menor do que a pressão ambiente; e
- Uma pressão manométrica negativa p_g = —0,6 bar é equivalente a uma pressão absoluta de cerca de p_{abs} = 0,4 bar.

3.3.5 Relação entre conteúdo de calor e temperatura

Para mudar a temperatura de uma substância, é preciso adicionar ou remover energia (na forma de calor). A capacidade de calor específico (símbolo “c”) é uma constante material. Ela indica quanto calor deve ser absorvido ou liberado por 1 kg da substância para mudar em 1 K. A capacidade de calor específico varia de uma substância para outra; para a água é c = 4.184 J / (kg K).

Para aumentar a temperatura de 1 kg (ou 1 litro) de água em 1 K (ou 1° C), deve-se acrescentar 4.184 J de energia de calor à água. Por exemplo: se a temperatura de 1 kg de água aumentou de 14 °C para 15 °C, a água deve conter agora mais 4.184 Joules de energia térmica.

Para calcular quanto calor é necessário para mudar a temperatura, isso resulta em:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Q = quantidade de energia térmica em Joule (J) ou kJ

m = massa em quilogramas

c = capacidade de calor específico da água

ΔT = mudança de temperatura em Kelvin

Por exemplo: Uma pessoa quer aquecer 10 litros (l) de água, de 20 °C para 30 °C. De quanto calor ela precisa (qual é o valor Q)?

m = 10 kg (1 l de água pesa 1 kg a 4 °C e 1 bar)

c = 4184 $\frac{J}{kg \times K}$

ΔT = 10 K (303 K – 293 K = 10 K)

Cálculo:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$Q = 10\ kg \times 4184\ \frac{J}{kg \times K} \times 10\ K$$

$$Q = 418{,}400\ J\ ou\ 418.40\ kJ$$

Resposta:

Ela precisa de 418,40 kJ de calor.

3.3.6 Como transferir calor

Como transferir calor? A transferência de calor só acontece do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa (essa é a segunda lei da termodinâmica). Essa regra é válida para todos os tipos de transferência de calor. As três possibilidades de transferência de calor são condução, convecção e radiação.

3.3.6.1 Condução

A condução descreve a transferência de calor dentro de um corpo sólido ou entre corpos que se tocam. O calor sempre flui do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. O calor é transferido até que a temperatura de ambas as substâncias fique balanceada. A temperatura da mistura fica entre as temperaturas iniciais.

São exemplos de condução:

- Em um ferro de solda elétrico, a energia térmica do elemento de aquecimento é transferida alguns centímetros para a ponta da solda;
- Em um aperto de mãos, a mão mais quente aquece a mão mais fria;
- O radiador de um sistema de aquecimento central costuma ser de metal, de modo que a energia térmica da água quente seja bem conduzida de dentro para a superfície externa; e
- A maçaneta de uma porta de metal passa a sensação de ser fria porque ela dissipa bem o calor do corpo humano.

3.3.6.2 Convecção

A convecção do calor ocorre quando o calor é transferido de um local para outro em uma massa fluida pela movimentação real da própria massa. Por exemplo: o transporte de calor pelo vapor, ar quente ou água quente em tubulações. O fluxo é acionado por uma diferença em densidade, que o fluido experimenta como resultado da mudança na temperatura. O processo é descrito como convecção natural. A convecção só ocorre em líquidos e gases, já que os sólidos não fluem.

São exemplos de convecção:

- Durante o processo de aquecimento, o radiador aquece o ar. O ar quente se expande, fica mais leve (a densidade diminui) e sobe. No teto, o ar refrigera e desce para o piso de novo; e
- Um elemento de aquecimento elétrico aquece água em um tanque de água quente. Por meio de convecção natural, a água aquecida é distribuída por todo o volume do tanque de armazenamento.

3.3.6.3 Radiação

Radiação é uma forma de movimento de calor comparável ao da luz, só que não conseguimos enxergá-la. Na radiação, o calor é sempre transferido do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. O calor radiante é transmitido sem o auxílio de nenhum meio material. O exemplo mais comum nesse caso é a do calor do sol, que viaja pelo vácuo do espaço e aquece a Terra.

São exemplos de radiação:

- O Sol aquece a Terra com calor radiante; e
- O fogo aquece a pele mesmo sem contato direto.

A maior parte das transferências de calor usa vários métodos ao mesmo tempo. Por exemplo: os aquecedores transferem a maior parte do calor para dentro da sala usando convecção e radiação.

3.3.7 Estado da matéria

Os estados de agregação são os diferentes estados de uma substância que podem se transformar entre eles por mera mudança de fase (veja a Figura 19).

Figura 19 — Ilustrações visuais de mudanças de fases

Sólido	Líquido	Gasoso ou vapor
Arranjo de ligação fixa: moléculas firmamente conectadas	Arranjo plástico: as moléculas variam juntas	Sem ordem: moléculas livres em qualquer direção

Fonte: Vulkan.

Estado sólido:

A substância muda do estado líquido para o sólido. Para isso, o calor da solidificação deve ser removido da substância: no caso da água, a temperatura do gelo permanece constante a 0 °C até que todo o líquido tenha mudado para o estado sólido.

Estado líquido:

A substância muda do estado sólido para o estado líquido quando o calor é acrescentado a ela para derretê-la. No caso da água, a temperatura permanece constante a 0 °C apesar do acréscimo de calor, até que todo o gelo tenha derretido.

Estado gasoso:

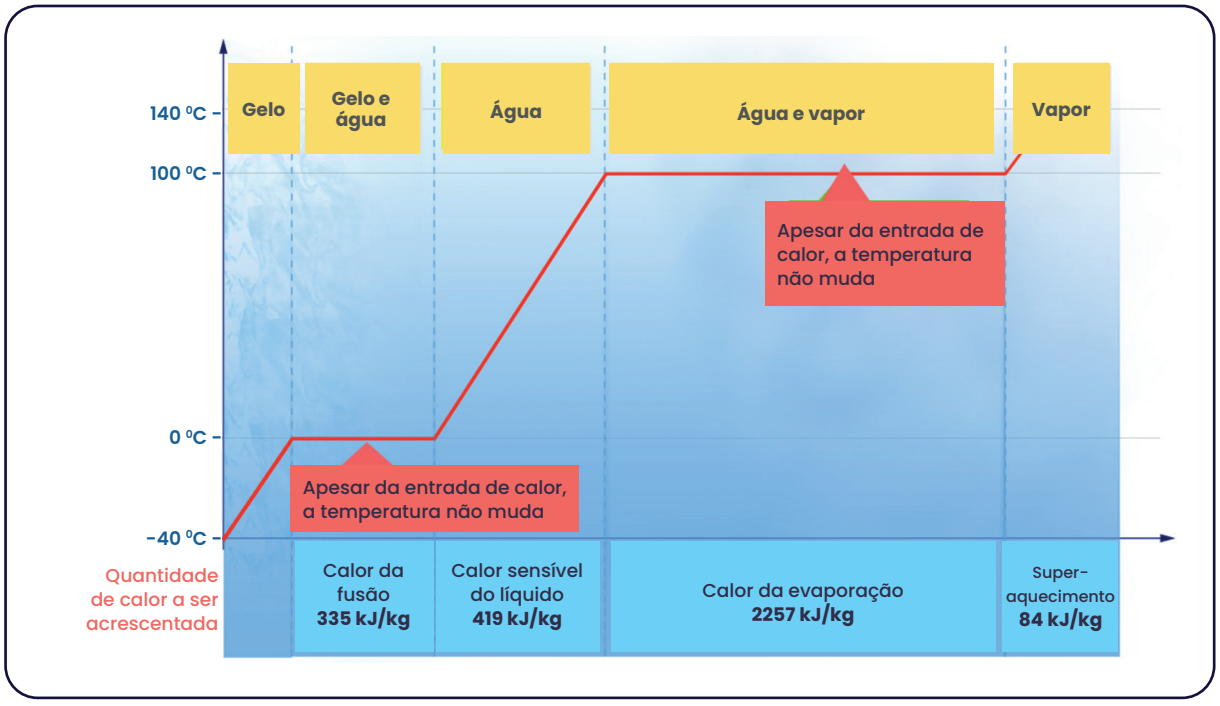
A substância muda do estado líquido para o estado gasoso quando o calor de vaporização é acrescentado a ela. No caso da água, a temperatura permanece constante a 100 °C (a 1.013 mbar), apesar do acréscimo de calor, até que a última gota de líquido tenha evaporado. Só então o vapor d'água começa a superaquecer quando mais calor é adicionado.

A substância muda do estado gasoso para o líquido. Para isso, o calor da condensação deve ser removido da substância. A temperatura na qual ocorre essa mudança no estado de agregação se chama temperatura de condensação.

3.3.8 Influências da temperatura e da pressão

A grande capacidade específica de calor da água tem um significado importante nos sistemas de ar condicionado dos prédios (como o sistema de água gelada e as torres de resfriamento) e no clima do nosso planeta. Por causa dessa alta capacidade específica de calor, o mar armazena quantidades significativas de energia no verão sem aquecer muito. Essa energia é liberada novamente no inverno. O clima no mar é, portanto, relativamente equilibrado durante o ano inteiro, com apenas leves diferenças na temperatura. Em áreas mais distantes do mar (no meio dos continentes), as diferenças de temperatura são bem maiores do que em áreas próximas ao mar (→ clima continental). A Figura 20 mostra o diagrama de temperatura-entalpia da água.

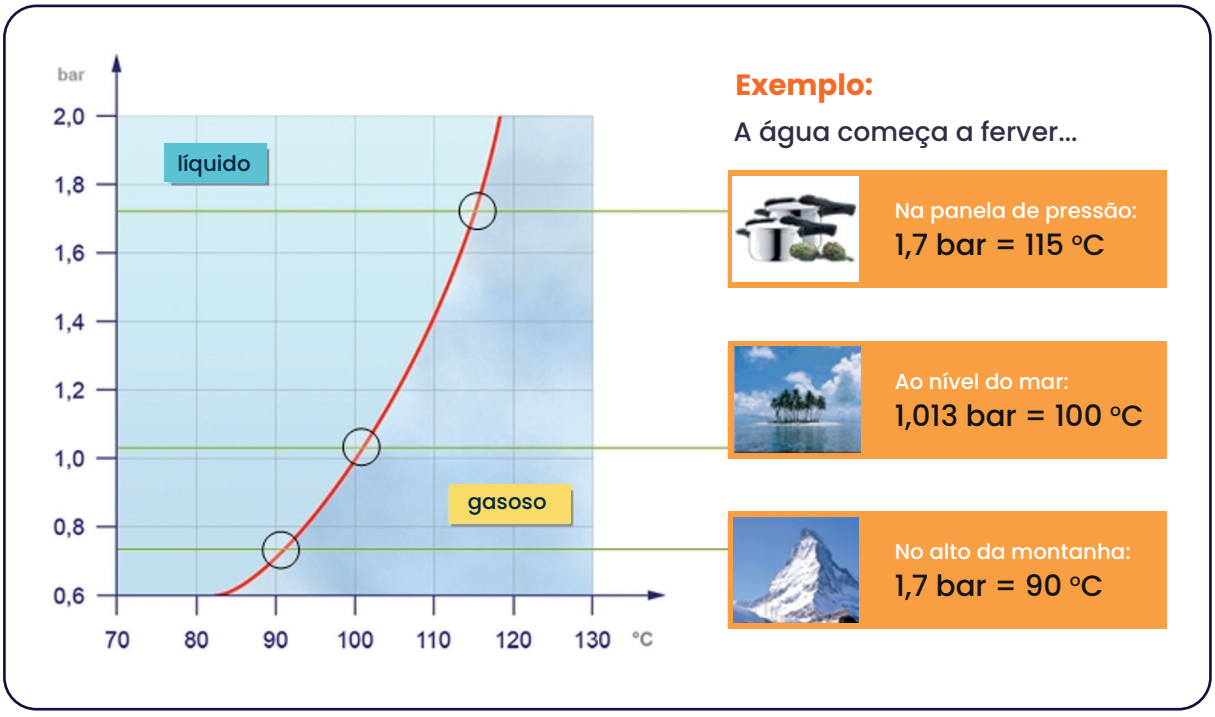
Figura 20 — Diagrama de temperatura-entalpia da água



Fonte: Rolf Huehren.

A temperatura de evaporação de uma substância depende da pressão. Por exemplo: a Figura 21 mostra o diagrama de pressão-temperatura da água. A uma pressão normal ambiente (1.013 mbar) a água se evapora (ferve) a 100 °C, enquanto em uma montanha com pressão ambiente de cerca de 700 mbar ela ferve (evapora) a 90 °C. Se colocar água em uma panela de pressão a 1,7 bar, ela ferve a 115 °C.

Figura 21 — Diagrama de temperatura-pressão da água

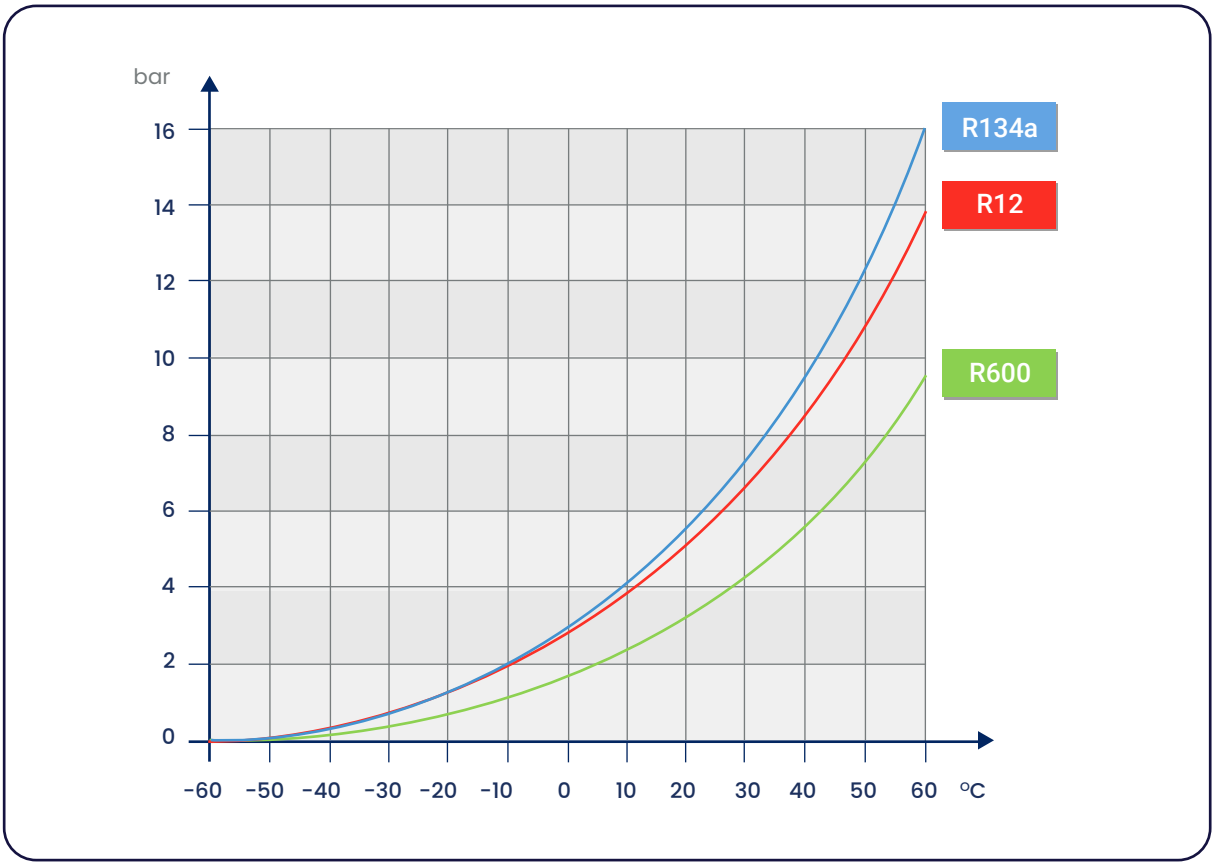


Fonte: Vulkan.

3.3.9 Reconciliação e comparação com fluidos refrigerantes

O ponto de evaporação ou de condensação de uma substância depende da temperatura e da pressão. Para cada temperatura de evaporação, existe apenas uma pressão de evaporação associada, e para cada pressão de evaporação existe apenas uma temperatura de evaporação correspondente. A Figura 22, na sequência, mostra o diagrama de pressão-temperatura de alguns fluidos refrigerantes.

Figura 22 — Diagrama de pressão-temperatura de alguns fluidos refrigerantes



Fonte: Vulkan.

3.3.10 Princípio da refrigeração

Como podemos usar o processo termodinâmico discutido anteriormente para a refrigeração?

Um líquido com temperatura mais baixa do que a do ambiente é necessário, e é preciso ocorrer a evaporação para remover calor da área ou do líquido que será refrigerado.

O propano (R-290) tem temperatura de evaporação de 31 °C a 11 bar e fica líquido a temperatura ambiente em um recipiente fechado. Se baixarmos a pressão para 1 bar, o propano tem temperatura de evaporação de -42 °C. Ele começa a evaporar imediatamente e absorve calor do ambiente para o processo de evaporação.

Atenção: o processo de evaporação exige muito mais calor do que uma mudança na temperatura.

Sendo assim, se o propano for comprimido a 11 bar, a temperatura dele subirá para 31 °C. Quando ele esfriar até a temperatura ambiente, ele vai começar a condensar, liberando calor no ambiente.

A repetição dessas duas etapas de maneira consecutiva resulta na refrigeração.

Os seguintes pontos são essenciais para entender o princípio de funcionamento de um sistema de refrigeração:

- Quando o líquido começa a evaporar (mudar do estado líquido para gasoso), ele absorve calor latente do entorno;
- A temperatura na qual o líquido evapora depende da pressão a que ele está sujeito;
- Sendo assim, a temperatura na qual uma substância, ou espaço, é refrigerada pode variar alterando-se a pressão na qual o líquido evapora; e
- O vapor formado no processo de evaporação pode ser condensado de volta para líquido aumentando-se a pressão dele (o que aumenta o ponto de ebulição dele) e refrigerando o líquido a uma temperatura abaixo do ponto de ebulição.

3.3.11 Evaporação na refrigeração

Como pode ser realizada a evaporação para a refrigeração?

A evaporação para a refrigeração ocorre dentro de um tubo ou serpentina (evaporador), posicionado de modo que o calor necessário seja removido do espaço a ser refrigerado. A Figura 23 mostra um exemplo de arranjo para um aparelho de ar condicionado do tipo split com unidade interna (evaporador) e uma unidade externa (compressor e condensador), também chamado de unidade condensadora.

O evaporador é mostrado em formato de diagrama. Em um sistema moderno, ele consiste em uma serpentina com o ar ambiente circulando em um ventilador. A saída do evaporador é conectada ao lado de sucção do compressor, usado para diminuir a pressão no evaporador.

O líquido entra no evaporador através da válvula de expansão. Devido à baixa pressão, esse líquido evapora, absorvendo calor de seu ambiente e, consequentemente, refrigerando a sala.

A velocidade de refrigeração depende da quantidade de líquido que entra na serpentina do evaporador pela válvula de expansão. A abertura da válvula do líquido, no entanto, será sempre de modo que o calor disponível seja suficiente para evaporar o líquido por completo e garantir que só o vapor entre na sucção do compressor.

Agora o ciclo de refrigeração está concluído.

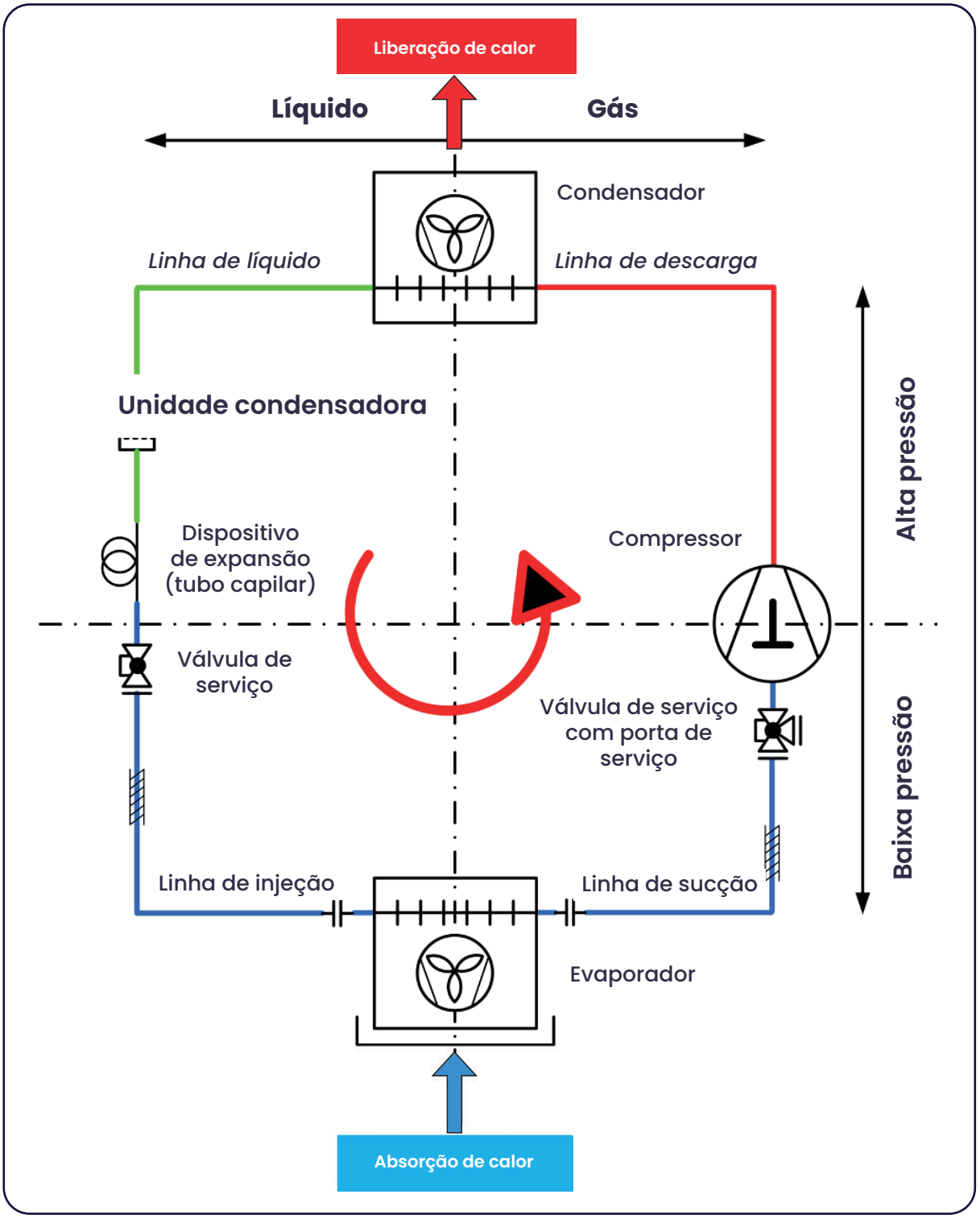
Para um circuito de refrigeração contínuo, o fluido refrigerante gasoso tem que mudar a fase para líquido (regeneração do líquido). Portanto, o vapor do fluido refrigerante no evaporador a baixa pressão é removido do compressor, comprimido e transferido a alta pressão e temperatura para dentro do condensador, que liquefaz o fluido refrigerante na medida em que ele vai liberando calor no ambiente. Depois, o fluido refrigerante líquido retorna para o dispositivo de expansão para recomeçar o ciclo de refrigeração.

Isso acontece conectando a saída do compressor com a outra serpentina (condensador). O compressor eleva a pressão dentro dessas serpentinas de modo que o ponto de ebulição do líquido usado no processo de evaporação fique acima do ar circundante.

O vapor que sai do evaporador a baixa pressão e temperatura é comprimido, pela ação do compressor, e entregue a alta pressão e temperatura no condensador.

O calor adicionado ao fluido refrigerante no evaporador (removido do ar) deve ser rejeitado para que o ciclo possa começar de novo. Essa rejeição do calor (liberação) ocorre no condensador, onde ele é transferido do vapor comprimido quente para o ar ambiente mais frio.

Figura 23 — Sistema genérico de expansão direta do circuito de refrigeração do ar condicionado do tipo split



Fonte: Rolf Huehren.

A condensação começa a ocorrer quando o calor é removido do vapor, e o fluido refrigerante líquido é formado a alta pressão. Assegure-se que haja líquido suficiente no sistema para que a válvula de expansão sempre receba líquido.

Esse sistema de refrigeração é chamado de "ciclo de compressão a vapor", já que funciona usando o princípio de comprimir o vapor. Os pontos a seguir são essenciais para o ciclo de compressão a vapor:

- O evaporador deve sempre ficar em baixa pressão, para garantir a evaporação a baixa temperatura e refrigeração eficaz (adsorção do calor);
- O condensador deve sempre ficar em alta pressão, para garantir que o respectivo ponto de ebulição do fluido refrigerante usado fique ACIMA do ponto do ar de refrigeração, de modo que ocorra a condensação do fluido refrigerante (liberação de calor); e
- A diferença essencial de pressão entre o lado do evaporador e do condensador do sistema é criada pelo compressor, funcionando em conjunto com o dispositivo de expansão no evaporador de baixa pressão.

3.4 O circuito de refrigeração com compressão a vapor

Com exceção dos *chillers* de absorção, a maioria dos sistemas de ar condicionado comercial se baseia no ciclo de compressão a vapor. O processo pode ser usado para coletar calor do ar (ar condicionado) ou da água (*chiller*). Ele pode rejeitar o calor no ar externo (refrigerado a ar) ou na água (refrigerado a água). O processo pode até mesmo ser aplicado como um sistema de aquecimento transferindo calor de um fluido frio (ar externo) para um fluido quente (ar interno). Isso costuma ser chamado de bomba de calor.

Um equipamento de ar condicionado com refrigeração a ar, por exemplo, usa o ciclo de compressão a vapor para refrigerar o ar de um espaço ocupado (unidade interna com ventilação forçada) e rejeitar o calor absorvido do ar do ambiente refrigerado mais o calor do compressor (trabalho de compressão do fluido refrigerante e fricção) para uma unidade condensadora geralmente localizada na área externa (unidade externa), rejeitando o calor com ar ambiente circulante (ventilação forçada).

A Figura 24 mostra o circuito básico do fluido refrigerante de uma bomba de calor do aparelho de ar condicionado do tipo split no modo de refrigeração. Ele consiste em quatro componentes principais:

Evaporador (o)
O evaporador é um trocador de calor que remove o conteúdo de calor do ar ambiente, abaixando a temperatura do recinto durante o processo. O conteúdo de calor é usado para modificar o estado do fluido refrigerante, de líquido para gasoso. A seta indica o sentido do ar;

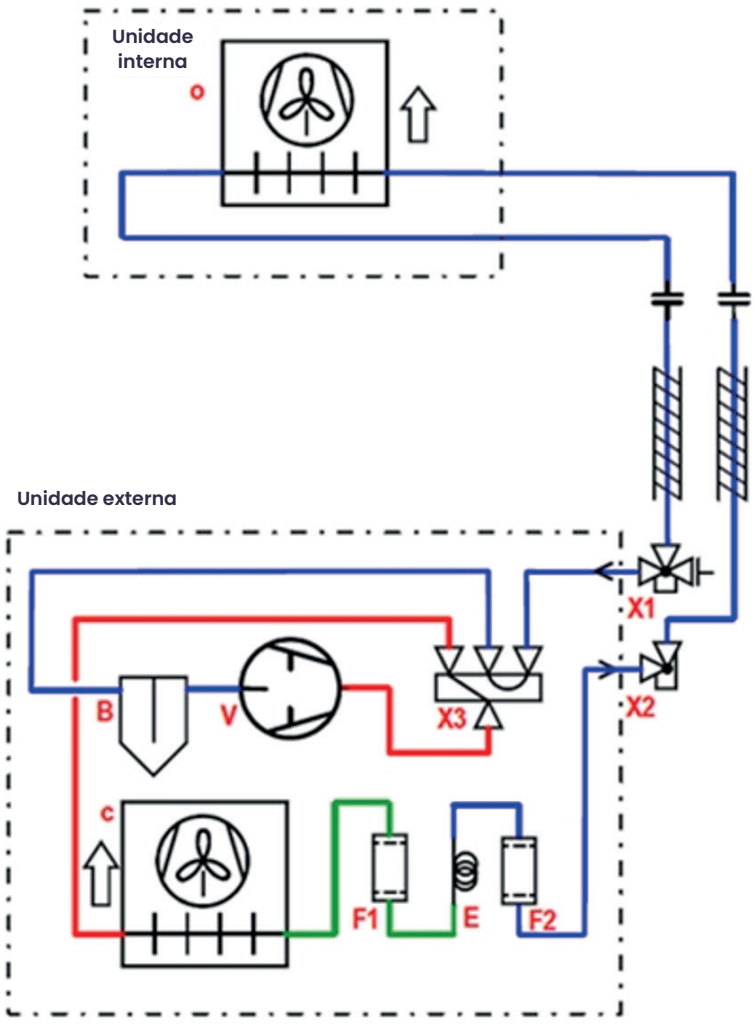
Compressor (V)
O conjunto do compressor é composto por um acionamento principal (em geral um motor elétrico) e um compressor. O compressor eleva a pressão e a temperatura do fluido refrigerante;

Condensador (c)
Assim como o evaporador, o condensador é um trocador de calor. Nesse caso, ele remove calor do fluido refrigerante provocando a condensação de gás para líquido. O calor é admitido pelo ar ambiente circulante e eleva a temperatura do ar. A seta indica o sentido do ar; e

Dispositivo de expansão (E)

Depois que o fluido refrigerante se condensa em líquido, ele passa por um dispositivo de medição de redução de pressão. Pode ser bem simples, como um tubo capilar, ou complicado, como uma válvula de expansão com modulagem termostática e eletrônica.

Figura 24 — Circuito de refrigeração de ar condicionado do tipo split — bomba de calor — no modo de refrigeração



Fonte: Rolf Huehren.

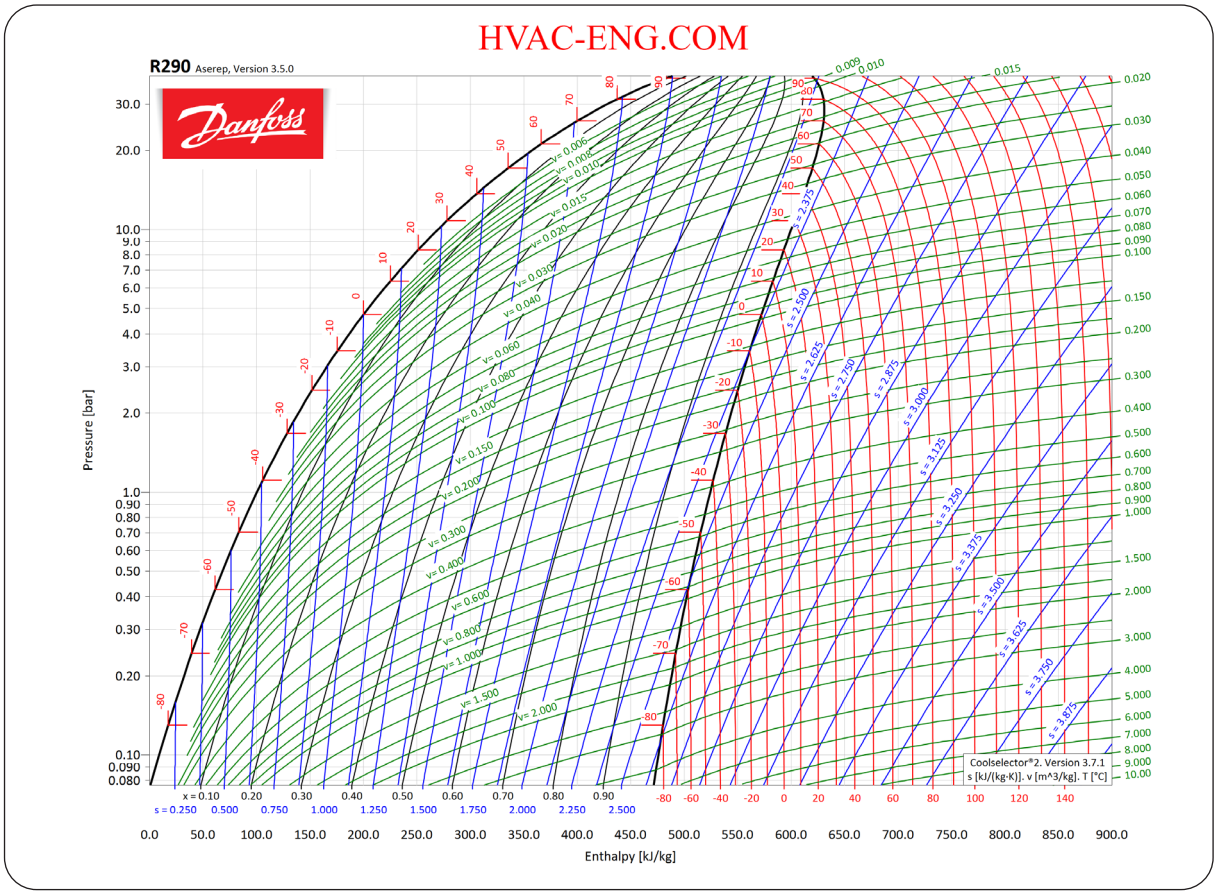
Tabela 5 — Legendas dos símbolos — Aparelho de ar condicionado do tipo split na versão "bomba de calor"

Símbolo	Componente
0	Evaporador
c	Condensador
B	Acumulador de líquido
V	Compressor rotativo
E	Dispositivo de expansão
F1/F2	Filtro
X1	Válvula rotalock com porta de serviço
X2	Válvula rotalock
X3	Válvula de transição para os modos de refrigeração e aquecimento

Fonte: Rolf Huehren.

O diagrama log P/h (também conhecido como diagrama de Mollier) é uma representação gráfica das propriedades termodinâmicas e dos estados de fluidos refrigerantes envolvendo "Entalpia" (eixo X) e "Pressão" (eixo Y) (veja a Figura 25). O uso de um diagrama log P/h dá a possibilidade de representar os processos no sistema de refrigeração de tal modo que a análise e a avaliação do processo passam a ser simples. Usando um diagrama para determinar as condições de operação do sistema (temperaturas e pressões), a capacidade de refrigeração do sistema pode ser determinada de forma relativamente simples e rápida.

Figura 25 — Diagrama log P/h do R-290



Fonte: https://hvac-eng.com/pt/diagrama-de-ph-dos-refrigerantes/

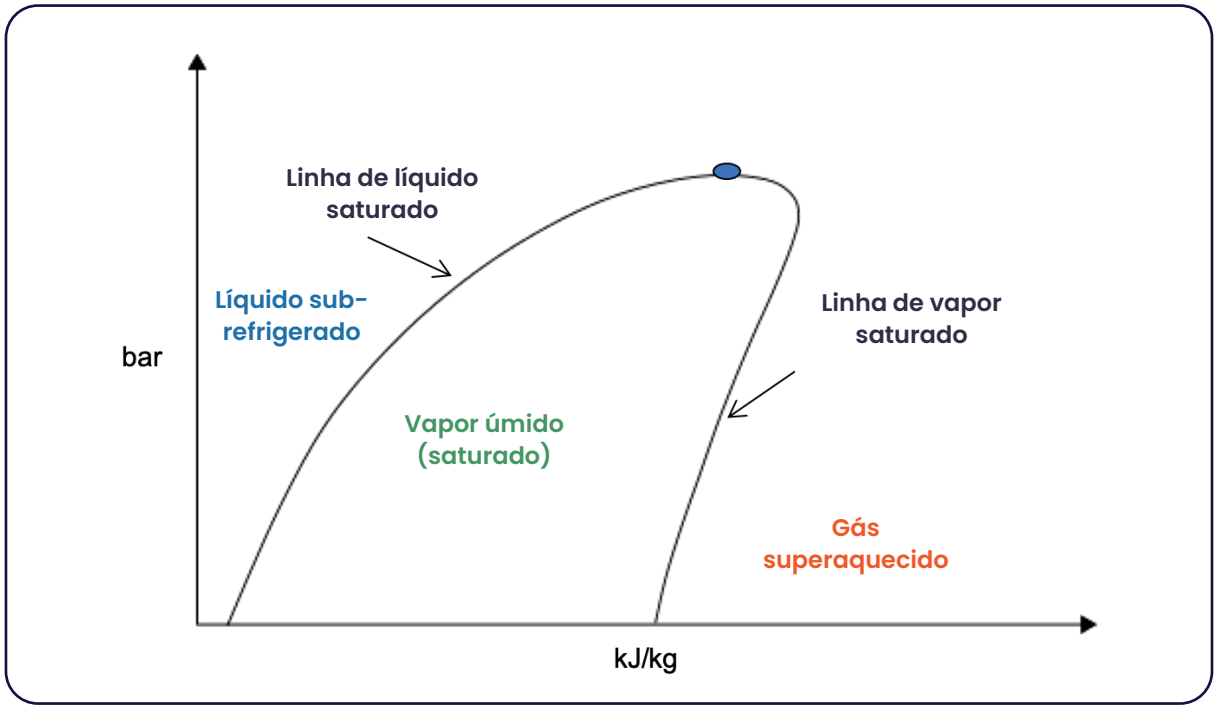
3.4.1.1 Linha de líquido saturado e linha de vapor saturado

A Figura 26, apresentada na sequência, está dividida em três partes.

À esquerda da linha de líquido saturado, o fluido refrigerante é sempre líquido sub-refrigerado. À direita da linha de vapor saturado, o fluido refrigerante é sempre gás superaquecido. Entre as linhas, o fluido refrigerante é parcialmente gasoso e parcialmente líquido (saturado). Quanto mais nos deslocamos para a direita entre essas linhas, maior fica o conteúdo de gás. A parte líquida vai ficando menor proporcionalmente.

No ponto crítico, as propriedades de líquido e vapor são idênticas. A temperatura, a pressão e o volume críticos coincidem no ponto crítico. Acima da temperatura crítica ou da pressão crítica, não é possível distinguir entre líquido e vapor.

Figura 26 — Linha de líquido saturado, linha de vapor saturado e o ponto crítico



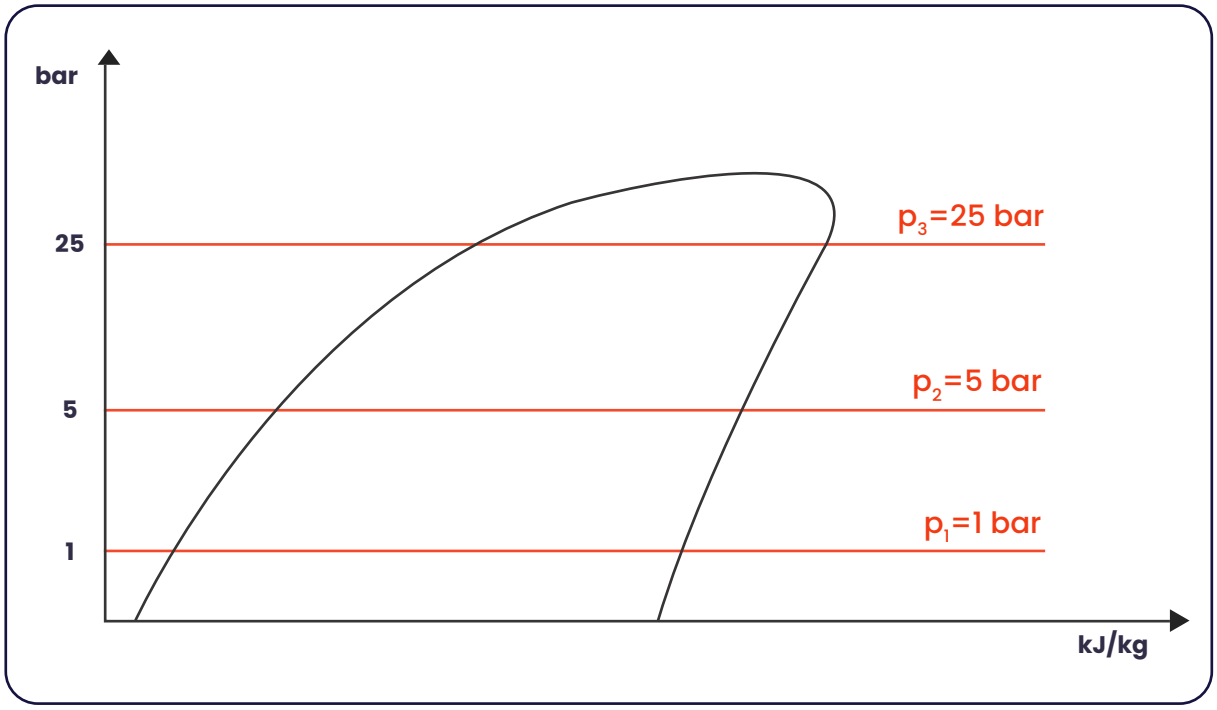
Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.2 Linhas isobáricas

As linhas isobáricas sempre correm em paralelo com o eixo x (veja a Figura 27). Na isóbara a pressão é sempre constante.

Os processos isobáricos são a absorção de calor no evaporador e a dissipação de calor no condensador. A pressão não muda porque não há válvulas ou dispositivos de expansão instalados nesses componentes.

Figura 27 — Linhas isobáricas



Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.3 Linhas isentálpicas

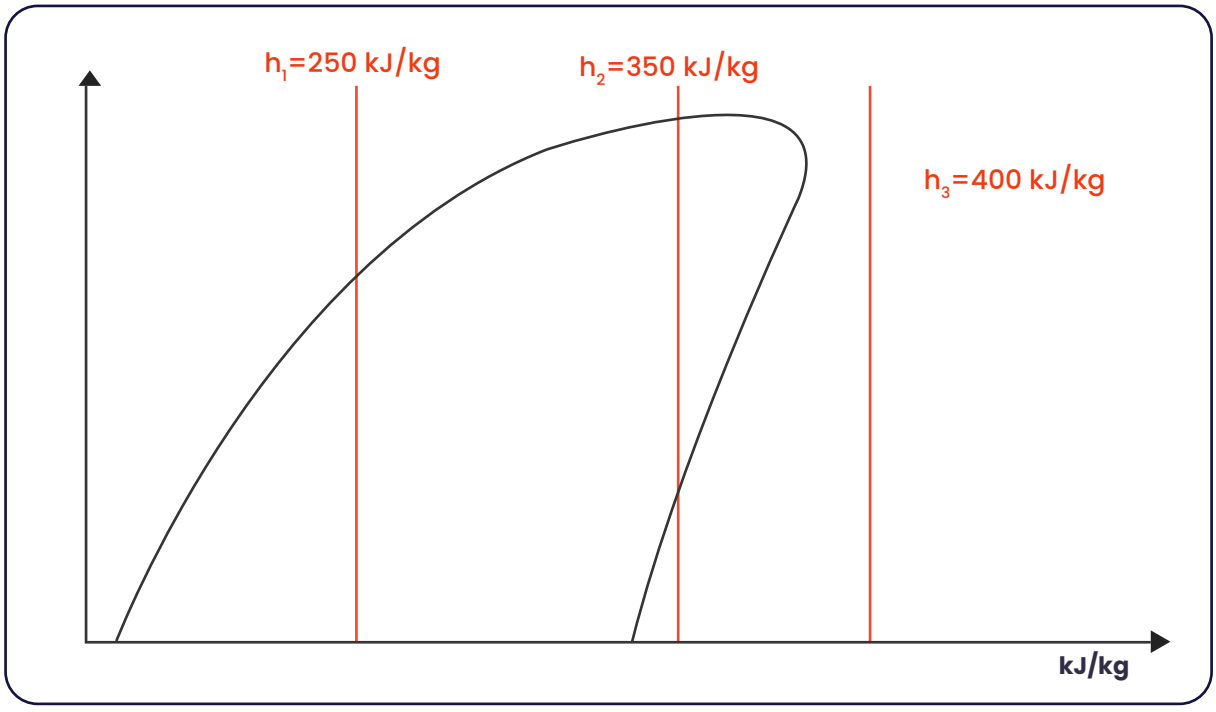
Linhas isentálpicas são aquelas com entalpia constante (veja a Figura 28). A entalpia descreve o calor interno de uma substância. Quando a pressão muda, a entalpia permanece a mesma, mas a temperatura muda. Os processos isentálpicos representam mudanças de pressão sem acrescentar nem retirar calor; por exemplo: a redução de pressão em um tubo capilar.

Entalpia: Símbolo: h

Unidade SI: J (Joule)

As linhas isentálpicas sempre correm em paralelo com o eixo y.

Figura 28 — Linhas isentálpicas



Fonte: Rolf Huehren.

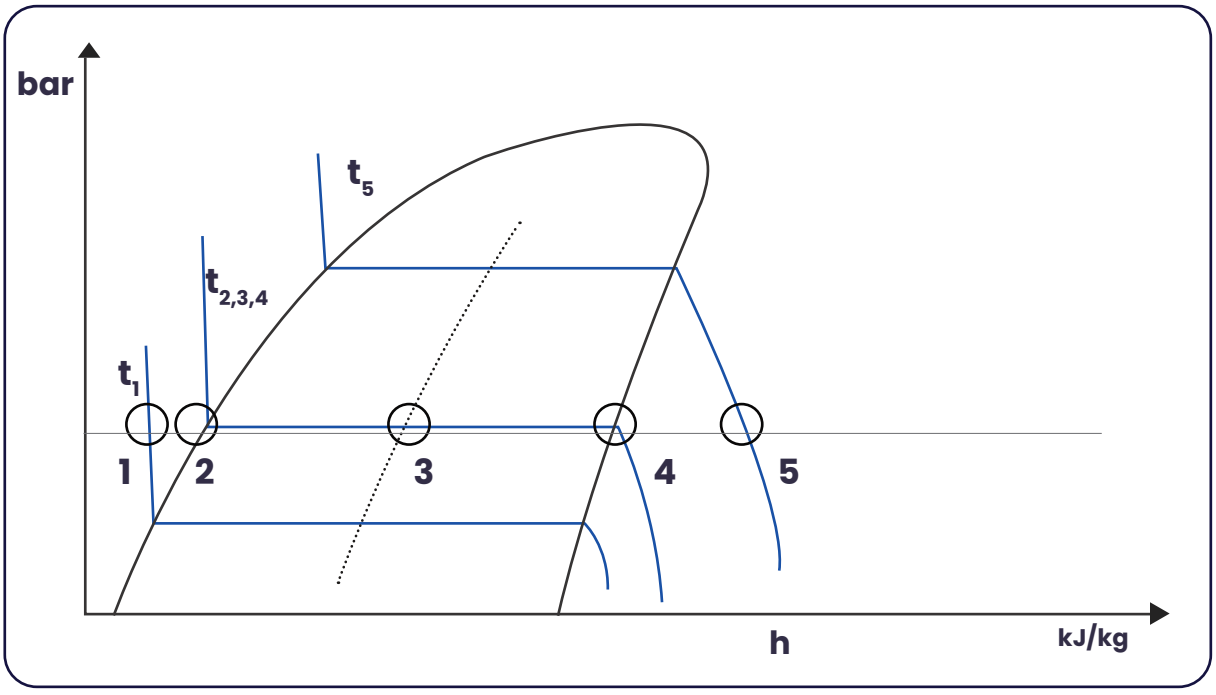
3.4.1.4 Linhas isotérmicas

Isotérmicas são linhas da mesma temperatura (veja a Figura 29).

A temperatura t_1 é menor que t_2. As temperaturas t_2, t_3 e t_4 são iguais. A temperatura na linha t_5 é ainda mais alta.

No diagrama log P/h elas caem de forma abrupta na faixa líquida, praticamente na vertical de cima a baixo para a linha de líquido saturado, depois continuam na horizontal pelo setor de vapor úmido e a seguir caem de modo abrupto mais uma vez da linha de vapor saturado.

Figura 29 — Linhas isotérmicas



Fonte: Rolf Huehren.

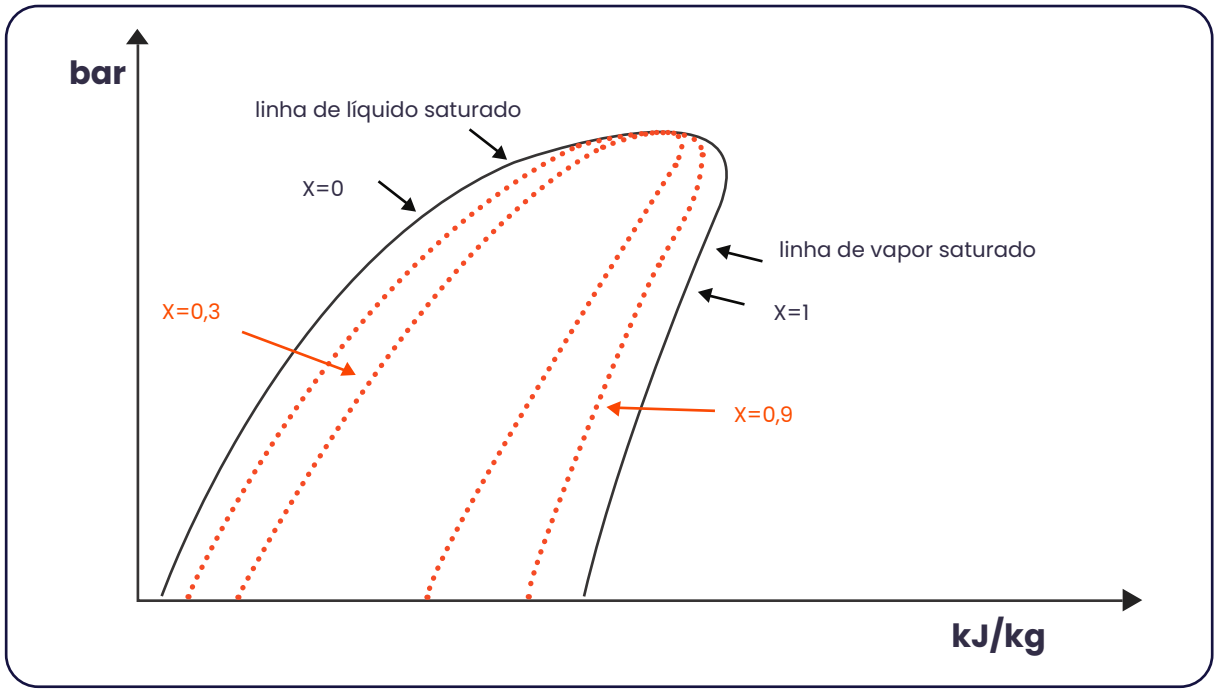
3.4.1.5. Linhas de isovapor

As linhas de isovapor são de teor de vapor constante no diagrama log P/h (veja a Figura 30).

As linhas vermelhas ligam todos os estados que possuem o mesmo teor de vapor.

Por exemplo: a linha x=0,3 liga os estados de fluido refrigerante com 30% de vapor (e 70% de líquido). A linha x=0,9 liga os estados de fluido refrigerante com 90% de vapor (e 10% de líquido).

Figura 30 — Linhas de isovapor



Fonte: Rolf Huehren.

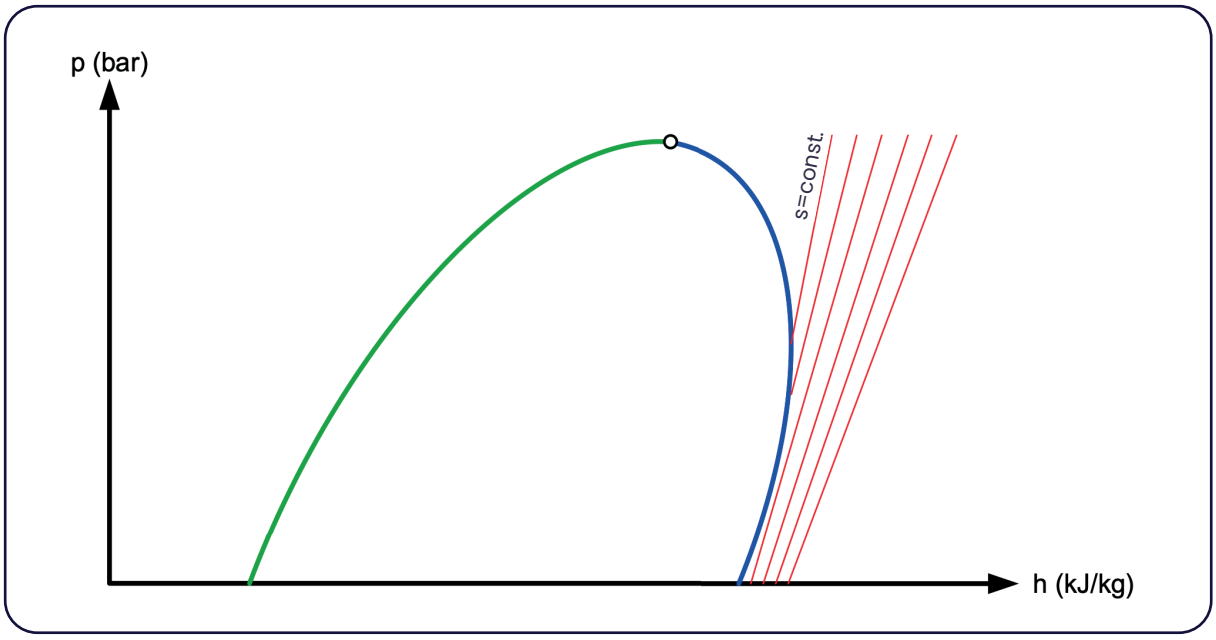
3.4.1.6 Linhas isentrópicas

Linhas isentrópicas são aquelas com entropia constante (veja a Figura 31).

Realizamos trabalho mecânico durante a mudança de pressão do compressor. Isso acrescenta energia. A compressão não pode ser exibida ao longo da linha isentálpica. Embora a entalpia mude durante a compressão, a entropia continua a mesma.

Na prática, o calor residual (ex.: por fricção) é transferido do compressor para o fluido refrigerante. Portanto, o processo real não é tão constante para a linha isentrópica.

Figura 31 — Linhas isentrópicas



Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.7 Termos e definições do diagrama log P/h

Calor específico da condensação	O fluido refrigerante da saída do compressor é condensado dentro do condensador, removendo o calor latente da condensação. É o calor latente radiado durante uma mudança de estado, a temperatura e pressão constantes.
Calor específico da evaporação	A quantidade de energia exigida por uma mudança de estado de líquido para vapor a temperatura constante é chamada de calor latente de vaporização. Quando o líquido passa por uma mudança de estado para vapor no ponto de ebulição normal, a temperatura do líquido não se eleva além da temperatura do ponto de ebulição. O calor latente específico de vaporização é a quantidade de calor necessária para converter uma unidade de massa de um líquido em vapor sem mudança de temperatura.
Curva de bolha	Linha de líquido saturado.
Curva de orvalho	Linha de vapor saturado.
Curva isotérmica	Linha de estado gráfica representando temperatura constante.
Eficiência isentrópica	A eficiência isentrópica é usada para expressar a eficiência energética de um compressor comparando o consumo de energia dele com o consumo de energia necessário para um processo de compressão ideal (reversível e adiabático).

Entalpia	Energia do calor a pressão constante. Uma variável de estado usada principalmente para descrever fluxo de fluidos. A entalpia é definida como a soma da energia interna com o produto da pressão e do volume. • O conteúdo de calor é a entalpia h. • A entalpia do líquido é representada por h'. • A entalpia do vapor é representada por h''. • A entalpia exigida para vaporização é representada por r. • A unidade de medida é kJ/kg em cada um desses casos. Diferentes substâncias possuem diferentes comportamentos de temperatura, ou seja, os valores de temperatura dos pontos de fusão e de ebulição são diferentes. Os pontos de fusão e de ebulição dependem da pressão. Ex.: água a 1 bar: Ponto de fusão = 0 °C e ponto de ebulição = 100 °C.
Entalpia específica	A entalpia específica é a diferença de entalpia tirada do "diagrama de entalpia-pressão". Por exemplo: a potência do compressor Q'_0 é determinada pelo fluxo de massa do fluido refrigerante m'k fornecido pelo compressor e pelo aumento na diferença de entalpia específica $h_1 - h_3$ do fluido refrigerante no evaporador. h_3 é a entalpia do fluido refrigerante líquido acima da válvula de expansão; h_1 é a entalpia do fluido refrigerante vaporizado na saída do evaporador. $\dot{Q}_0 = \dot{m}_k \times (h_1 - h_3)$.
Entropia	Função termodinâmica de estado de calor fornecido a uma substância na temperatura absoluta na qual ela se encontra. Expressa a razão da quantidade fornecida para um processo reversível. A unidade de entropia é s = constante (kJ/kg K). As transformações isentrópicas são de especial importância na refrigeração na zona do vapor superaquecido. A compressão em um compressor ideal sem perdas segue uma linha de entropia igual. Logo, as transformações isentrópicas possibilitam determinar o trabalho de compressão ideal (teórico) P por kg de fluido refrigerante comparando-se as entalpias inicial e final (depois da compressão). Isso, por sua vez, dá um indicativo da demanda real de potência de um compressor.
Isóbara	Linha de estado gráfica representando pressão constante usada em termodinâmica.

Linhas x com proporção de vapor	O vapor úmido é uma mistura de líquido em ebulição e as linhas x possibilitam que as proporções de gás e líquido na zona de vapor úmido sejam determinadas: x expressa a proporção de gás; 1-x expressa a proporção de líquido. Por exemplo: ao longo da linha x = 0,4, existe uma mistura de 40% de gás e 60% de fluido refrigerante em ebulição; x não está incluído nas tabelas porque ele é apenas uma série de números de proporção.
Ponto crítico	Ponto de estado no qual as propriedades de líquido e vapor são idênticas. A temperatura, a pressão e o volume críticos coincidem no ponto crítico. Acima da temperatura crítica ou da pressão crítica, não é possível distinguir entre líquido e vapor.
Processo isentálpico	O processo isentálpico ocorre sem nenhuma alteração na entalpia, H; ou na entalpia específica, h. A regulagem do fluxo do fluido refrigerante na válvula de expansão termostática é um bom exemplo de processo isentálpico.
Sub-refrigeração	Redução de temperatura de um fluido refrigerante líquido para um ponto abaixo da temperatura de condensação correspondente à sua respectiva pressão.
Superaquecimento	Vapor a uma temperatura mais alta do que a temperatura de saturação na pressão existente.
Transformação isentrópica	Uma linha de estado gráfica representando entropia constante em um diagrama de estado.
Transformações isométricas (volume específico)	O volume específico é muito importante na refrigeração. Em termos gerais, o volume específico de um fluido refrigerante deve ser o menor possível para transportar a maior quantidade de fluido refrigerante possível com o menor volume.
Volume específico	O volume específico é muito importante na refrigeração. Em termos gerais, o volume específico de um fluido refrigerante deve ser o menor possível para transportar a maior quantidade de fluido refrigerante (m’) possível com o menor volume.

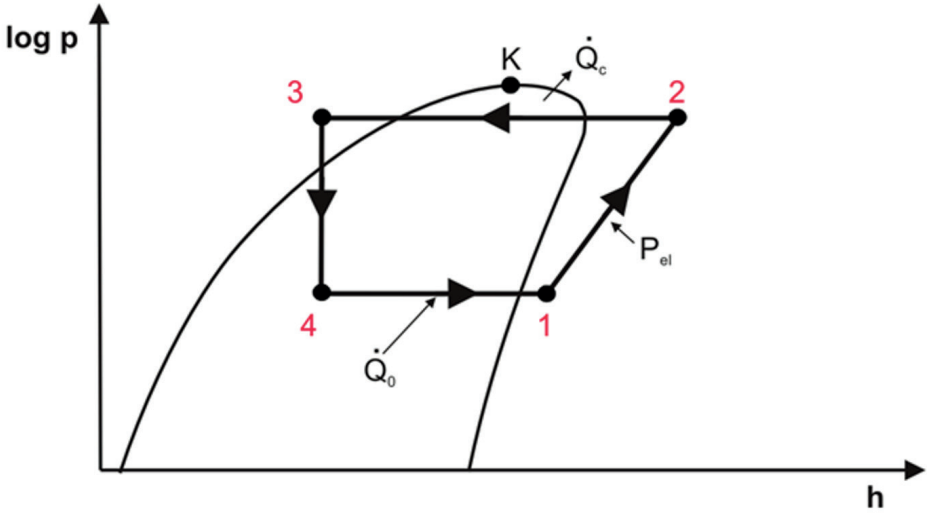
Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.8 Entrada de energia/potência no diagrama log P/h

Potência é a energia ao longo de um período de tempo e é medida em J/s (Joule por segundo) = W (Watt) (veja a Figura 32). Watt (W) é a unidade de potência no Sistema Internacional de Unidades (SI), uma homenagem a James Watt, que ficou famoso pelo aperfeiçoamento das máquinas a vapor.

Ela pode ser potência mecânica ou potência térmica. Ambas representam transmissão de energia.

Figura 32 — Entrada de energia/potência no diagrama log P/h



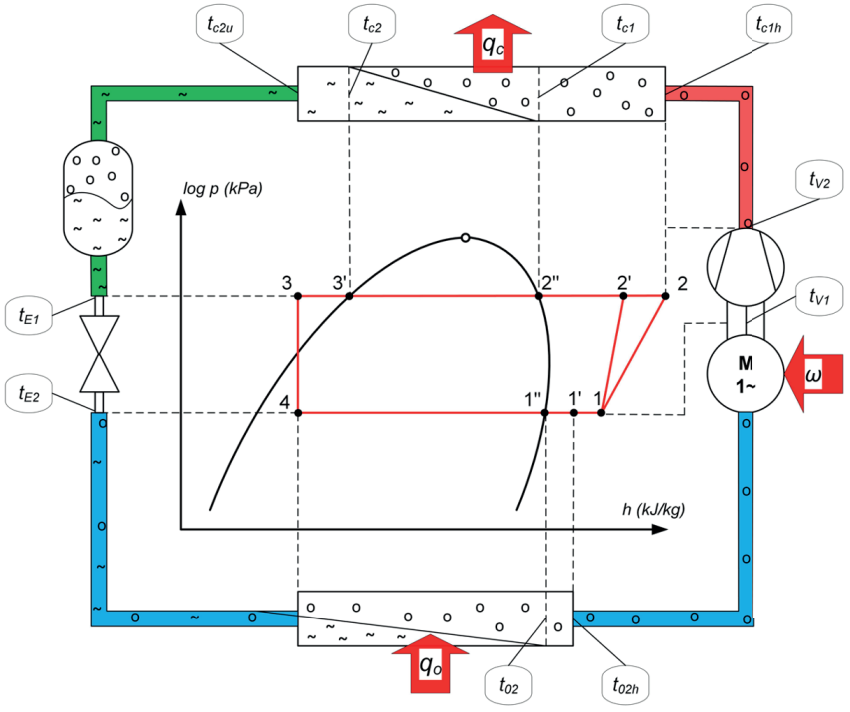
$\dot{Q}_0$ = Classificação do evaporador (potência térmica)
$\dot{Q}_c$ = Classificação do condensador (potência térmica)
P_{el} = Classificação do acionamento (potência mecânica)

Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.9 Circuito de refrigeração mostrado no diagrama log P/h

A Figura 33 ilustra os processos ocorridos dentro de um circuito de refrigeração (área externa colorida) e o diagrama log P/h. O sentido do circuito é anti-horário.

Figura 33 — Processos no diagrama log P/h

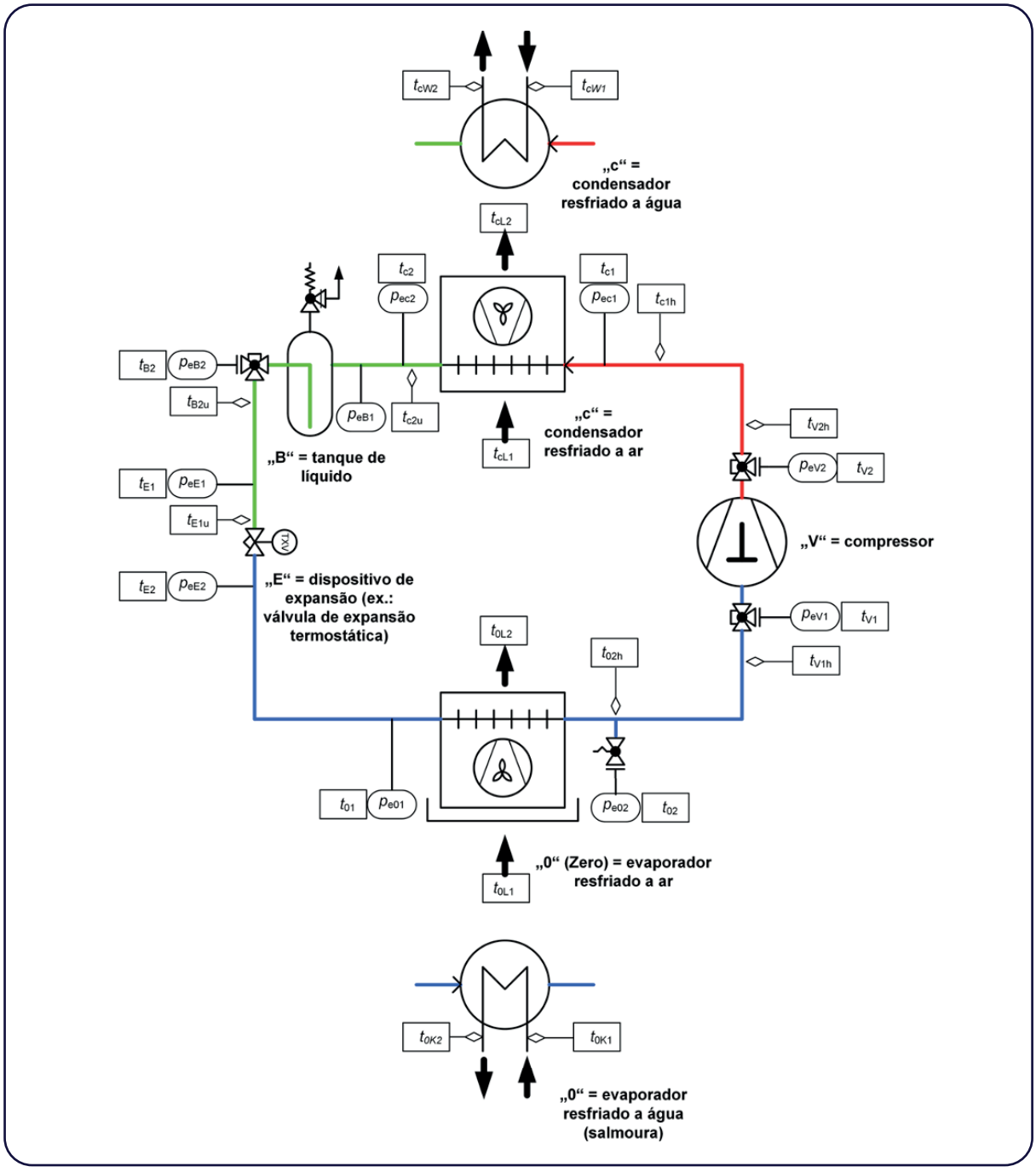


1 — 2"	Compressão isentrópica (ideal)	3 — 4	Expansão
1 — 2	Compressão indicada (prática)	4 — 1"	Evaporação dentro do evaporador
2 — 2"	Superaquecimento dentro do condensador	1" — 1'	Superaquecimento dentro do evaporador
2" — 3'	Condensação dentro do condensador	1' — 1	Superaquecimento na linha de sucção e refrigeração do motor de acionamento
3' — 3	Sub-refrigeração dentro do condensador		
o	Ilustra "gasoso"	~	Ilustra "líquido"
q_0	Calor específico no evaporador (J/kg; kJ/kg)	q_c	Calor específico no condensador
ω	Trabalho específico no compressor (J/kg; kJ/kg)		
As designações dos pontos de medição indicados estão explicadas no Capítulo 3.4.1.10.			

Fonte: Rolf Huehren.

3.4.1.10 Circuito de refrigeração genérico mostrado para determinação dos pontos de medição

Figura 34 — Designações dos pontos de medição do circuito de refrigeração para relevância em diagramas de tubulação e instrumentação (PID)



Fonte: Desenho de Rolf Huehren, extraído da norma DIN 8941.

Tabela 6 — Símbolos e unidades usadas (conforme a norma DIN 8941)

Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário	Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário
1	p	pressão	bar	1 bar = 10^5 Pa	28	t_{amb}	temperatura ambiente	ºC	
2	p_{abs}	pressão absoluta	bar	1 bar = 100 kPa	29	t_{room}	temperatura no evaporador	ºC	
3	p_{amb}	pressão ambiente	bar	1 bar = 0,1 Mpa	30	t	temperatura	ºC	t = T - 273,15 K
4	p_e	diferença entre pressão absoluta e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_e = p_{abs} - p_{amb}$	31	T	temperatura termodinâmica	k	
5	p_c	pressão de condensação (absoluta)	bar		32	h	vapor superaquecido		
6	p_{ec}	diferença entre pressão de condensação e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_{ec} = p_c - p_{amb}$	33	u	líquido sub-refrigerado		
7	p_o	pressão de evaporação (absoluta)	bar		34	Δ	diferença (delta)		
8	p_{eo}	diferença entre pressão de evaporação e pressão atmosférica ambiente (pressão manométrica)	bar	$p_{eo} = p_o - p_{amb}$	35	1	entrada		
9	p_{eV1} / p_{eV2}	pressão na entrada / saída do compressor (manométrica)	bar		36	2	saída		
10	t_{v1} / t_{v2}	temperatura do fluido refrigerante na entrada / saída do compressor (manométrica)	ºC	$pe_{V1/2}$ conver-tido	37	B	tanque de líquido		ex.: tanque de líquido

(Continuação)

Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário	Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário
11	t_{V1h} / t_{V2h}	temperatura do fluido refrigerante superaquecido na entrada / saída do compressor	°C		38	c	condensador		
12	Δt_{V1h}	Superaquecimento na entrada do compressor	K	$\Delta t_{V1h} = t_{V1h} - t_{v1}$	39	E	dispositivo de expansão		Ex.: válvula de expansão termostática
13	p_{ec1} / p_{ec2}	pressão na entrada / saída do condensador (manométrica)	bar		40	F	filtro		desvio da DIN
14	t_{c1h}	temperatura do fluido refrigerante superaquecido na entrada do condensador	°C		41	H	aquecedor		
15	t_{c2u}	temperatura do fluido refrigerante líquido sub-refrigerado na saída do condensador	°C		42	K	fluido secundário		ex.: água, salmoura
16	t_c	temperatura de condensação saturada	°C	em p_c	43	L	ventilador		
17	Δt_{c2u}	sub-refrigeração na saída do condensador	K	$\Delta t_{c2u} = t_{c2} - t_{c2u}$	44	M	motor		
18	t_{cL1} / t_{cL2}	temperatura do ar na entrada / saída do condensador	°C		45	o	evaporador		dito “zero”
19	p_{eE1} /p_{eE2}	pressão na entrada / saída do dispositivo de expansão (manométrica)	bar		46	P	bomba		
20	t_{E1u}	temperatura do fluido refrigerante líquido sub-refrigerado na entrada do dispositivo de expansão	°C		47	S	visor de líquido		desvio da DIN
21	Δt_{E1u}	sub-refrigeração na entrada do dispositivo de expansão	K	$\Delta t_{E1u} = t_{E1} - t_{E1u}$	48	T	transdutor		desvio da DIN
22	p_{eo1} / p_{eo2}	pressão na entrada / saída do evaporador (manométrica)	bar		49	U	sub-refrigerador, pós-refrigerador		

(Continuação)

Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário	Nº	Símbolo	Termo	Unid. SI	Comentário
23	t_{o2h}	temperatura do fluido refrigerante em vapor superaquecido na saída do evaporador	°C		50	V	compressor		
24	Δt_{o2h}	Superaquecimento na saída do evaporador	K	Δt_{o2h} = to2h - to2	51	W	fluido de transferência de calor		água, óleo...
25	t_{o2}	temperatura do gás de sucção saturado na saída do evaporador	°C	p_{eo2} convertido	52	WT	trocador de calor interno		líquido / gás
26	t_o	temperatura de evaporação saturada	°C	em p_o	53	X	válvula		desvio da DIN
27	t_{oL1} / t_{oL2}	temperatura do ar na entrada / saída do condensador	°C		54	Z	*intercooler*		

Fonte: Norma DIN 8941.

3.5 Fluidos refrigerantes

O fluido refrigerante é usado para transportar calor dentro de um circuito de refrigeração de um circuito de compressão a vapor. O fluido refrigerante não é usado somente para refrigeração; ele também pode ser usado para aquecimento.

Conforme a norma de segurança de refrigeração EN 378-1, o fluido refrigerante é *"um fluido usado para transferência de calor em um sistema de refrigeração, que absorve calor a uma temperatura baixa do fluido e rejeita o calor a uma temperatura mais alta e pressão mais alta, geralmente envolvendo mudanças nos estados do fluido refrigerante"*.

Uma mudança de estado no sentido proposto pela norma significa uma mudança do estado de agregação. Isso significa que no evaporador o fluido refrigerante costuma ser transferido do estado líquido para o estado gasoso durante a expansão seca, e no condensador (em sistemas subcríticos) do estado gasoso para o estado líquido.

Logo, o fluido refrigerante é necessário quando o nível de temperatura é elevado, para liberar calor para o entorno. Se não for necessário aumentar a temperatura, um segundo fluido refrigerante também pode ser usado (consulte o Capítulo 3.5.4).

3.5.1 Fluidos refrigerantes primários

Os fluidos refrigerantes primários (naturais ou sintéticos) são aqueles usados como fluidos refrigerantes de transferência de calor, por exemplo, em sistemas de refrigeração com compressão a vapor. Os fluidos refrigerantes primários transportam entalpia (isto é, energia de calor) da sala refrigerada para o meio ambiente. Quando usados em um circuito de compressão a vapor (ou sistemas de absorção), esses fluidos proporcionam refrigeração passando por um processo de mudança de fase no evaporador e no condensador.

Os fluidos refrigerantes primários para sistemas de refrigeração podem ser divididos em dois grupos: substâncias orgânicas e suas misturas, e fluidos refrigerantes inorgânicos. As substâncias orgânicas contêm carbono, enquanto os fluidos inorgânicos não contêm, com exceção do CO_2 usado como fluido refrigerante.

As **substâncias orgânicas** são produzidas em fábricas e contêm átomos de carbono (símbolo químico: C) e de hidrogênio (H). No caso dos HFCs, os átomos de hidrogênio são substituídos por átomos de flúor (F); e

As **substâncias inorgânicas** são compostos que não contêm átomos de carbono. Por exemplo: o R-717 (NH_3) consiste em um átomo de nitrogênio (N) e três átomos de hidrogênio (H).

Existe um número muito grande de fluidos refrigerantes primários, mas o número usado na prática é bem menor. Alguns fluidos refrigerantes são apenas experimentais; outros foram proibidos ou são usados para a criação de misturas (*blends*) de fluidos refrigerantes.

Você pode ver a lista completa de substâncias usadas como fluidos refrigerantes no *website* da ASHRAE[5] .

O fluido refrigerante certo deve ser selecionado para a operação eficiente do sistema de refrigeração. Atualmente, existem altos padrões para as propriedades dos fluidos refrigerantes, que devem observar os seguintes critérios:

- Apresentar alta condutividade térmica;
- Ter ebulição abaixo da temperatura-alvo;
- Ter alta temperatura crítica;
- Não apresentar variações de temperatura;
- Não ter Potencial de Destruição do Ozônio (PDO);
- Não provocar efeito estufa (GWP baixo ou zero);
- Ter compatibilidade com lubrificantes;
- Apresentar temperatura de evaporação específica alta;
- Ter alta capacidade volumétrica de refrigeração; e
- Ter boa disponibilidade.

Apesar de suas propriedades de inflamabilidade, os fluidos refrigerantes avançados como os hidrocarbonetos (ex.: R-290, R-600a), HFC R-32, e HFOs, como R-1234yf e R-1234ze (E), estão cada vez mais substituindo os fluidos refrigerantes tradicionais predominantes com alto GWP e PDO (ex.: HCFC R-22, HFC R-407C, HFC R-410A, etc.).

[5]https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/ashrae-refrigerant-designations

Por exemplo, o HC R-600a passou a ser o fluido refrigerante padrão com aceitação global para geladeiras nos últimos anos, e o HC R-290 e o HFC R-32 são cada vez mais usados para aparelhos de ar condicionado unitários e do tipo split. O R-600a e o R-290 preenchem todos os requisitos para o futuro. Isso porque as normas de segurança internacionais relevantes estão sendo sempre atualizadas e definem as regras e as pré-condições para a aplicação dessas substâncias.

A maioria dos fluidos refrigerantes são gasosos na pressão ambiente, então esses fluidos refrigerantes são armazenados sob pressão e se liquefazem em vasos de pressão especialmente designados. Destaca-se que somente pessoal tecnicamente qualificado pode comprar e usar fluidos refrigerantes.

A norma ABNT NBR 16666 (Fluidos frigoríficos – Designação e classificação de segurança) estabelece um sistema para atribuir uma classificação de segurança a fluidos refrigerantes conforme dados de toxicidade e inflamabilidade (veja a Figura 35). A classificação de segurança destina-se a determinar como o fluido refrigerante será usado, por exemplo: sua aplicação em espaços ocupados ou a quantidade máxima de carga permitida para espaços confinados. A classificação de segurança consiste em dois caracteres alfanuméricos, onde a letra indica a toxicidade e o número indica a inflamabilidade (para obter mais detalhes, veja também o Capítulo 9).

Classificação de toxicidade:

- Classe A: menor grau de toxicidade; e
- Classe B: maior grau de toxicidade.

Classificação de inflamabilidade:

- Classe 1: sem propagação da chama;
- Classe 2: menor inflamabilidade; e
- Classe 3: maior inflamabilidade.

Figura 35 — Classificação do grupo de segurança

			Grupo de segurança	
Aumento da inflamabilidade ↑	maior inflamabilidade		A3	B3
	menor inflamabilidade	velocidade de propagação da chama > 10 cm/s	A2	B2
		velocidade de propagação da chama ≤ 10 cm/s	A2L	B2L
	sem propagação da chama		A1	B1
			menor grau de toxicidade	maior grau de toxicidade
			AUMENTO DA TOXICIDADE →	

Fonte: Stefanie von Heinemann, de acordo com a norma ABNT NBR 16666.

A Tabela 7 mostra uma seleção de números de fluidos refrigerantes aprovados pela norma ABNT NBR 16666. Fluidos refrigerantes com um único componente, como R-22, R-32, R-134a, R-290 ou R-600a, possuem apenas uma molécula em suas estruturas químicas, então eles evaporam e condensam a uma temperatura constante para determinada pressão.

Tabela 7 — Resumo dos fluidos refrigerantes mais usados.

Grupo		Comentários	ABNT NBR 16666	Classe de segurança	PDO	GWP	Variação	Composição	t_o[1] em °C
Fluidos refrigerantes orgânicos	CFC	Proibidos (halogenado[2])	R-502	A1	0,25	4.657	Azeótropo	22/ 115	-46
			R-11	A1	1	4.750	Substância única		24
			R-12	A1	1	10.900			-29,8
	HCFC	Em eliminação (halogenado[2])	R-22	A1	0,055	1.810			-41
			R-141b		0,12	2.310			32
			R-401A	A1	0,03	1.182	4,9	22/152a/124	-33
			R-408A	A1	0,023	3.152	0,5	22/125/143a	-44
			R-409A	A1	0,046	1.585	6,4	22/124/142b	-34
	HFC	Fluidos refrigerantes predominantes (halogenado[2])	R-32	A2L	0	675	Substância única		-52
			R-134a	A1	0	1430			-26,3
			R-143a	A2L	0	4.470			-47,6
			R-507	A1	0	3.980	Azeótropo	125/143a	-46,7
			R-513A	A1	0	631		1234yf/134a	-29,2
			R-404A	A1	0	3.920	0,7	125/134a/143a	-46,5
			R-407A	A1	0	2.107	6,4	32/125/134a	-46
			R-407C	A1	0	1.744	7,2	32/125/134a	-43,8
			R-407D	A1	0	1630	6,7	32/125/134a	-39,5
			R-407F	A1	0	1.825	6,4	32/125/134a	-45,5
			R-410A	A1	0	2.090	0,2	32/ 125	-52,3
			R-422D	A1	0	2.729	3,4	125/134a/600a	-45
			R-452A	A1	0	2.140	3,7	32/125/1234yf	-47
			R-452B	A2L	0	676	0,9	32/125/1234yf	-51
			R-454A	A2L	0	238	5	32/1234yf	-48,3
			R-454B	A2L	0	467	1,5	32/1234yf	-50,9
			R-454C	A2L	0	146	6	32/1234yf	-45,9
			R-455A	A2L	0	145	12,4	32/1234yf/744	-52,1
			R-456A	A1	0	687	5,4	32/134a/1234ze(E)	-30,8
			R-457A	A2L	0	139	7,1	32/1234yf/152a	-42,6
	HFO		R-1233zd	A1	0	1	Substância única		19
			R-1234yf	A2L	0	1			-29,4
			R-1234ze (E)	A2L	0	6			-19
			R-1336mz	A1	0	7			31,8
	HC	Fluidos refrigerantes naturais sustentáveis (sem halogênio[3])	R-433B	A3	0	5	0,2	1.270/ 290	-42,7
			R-433C	A3	0	5	0,4	1.270/ 290	-44,3
			R-436A	A3	0	3	8,1	290/600a	-34,3
			R-436B	A3	0	3	8,4	290/600a	-33,4
			R-170	A3	0	6	Substância única	Etano	-88,6
			R-290	A3	0	3		Propano	-42,1
			R-600a	A3	0	3		Isobutano	-11,7
			R-1270	A3	0	2		Propeno	-47,6

(Continuação)

Grupo	Comentários	ABNT NBR 16666	Classe de segurança	PDO	GWP	Variação	Composição	t_0[1] em °C
Fluidos refrigerantes inorgânicos	Fluidos refrigerantes naturais e sustentáveis (sem halogênio[3])	R-717	B2L	0	0	Substância única	Amônia NH_3	-33,4
		R-723	B2	0	8	Azeótropo	NH_3/DME	-36,6
		R-728	A1	0	0	Substância única	Nitrogênio	-196
		R-718	A1	0	0		Água	100
		R-744	A1	0	1		CO_2 TP-56,6 °C @ 5,2 bar	-78

[1]Na pressão atmosférica padrão de 1.013,25 hPa. Para misturas zeotrópicas, o valor se aplica à temperatura mais baixa de evaporação.

[2]Halogenado significa a presença de um halogênio no composto. Na tabela periódica, os halogênios são os elementos do grupo 7, como flúor, cloro, bromo, iodo, astato. Portanto, quando algo é halogenado, significa que o composto contém um halogênio. Os halogênios causam um impacto profundo na composição atmosférica. Eles interagem com gases relevantes para o clima, alterando o equilíbrio radiativo da Terra, e contribuem para a degradação da qualidade do ar urbano.

[3]A denominação "sem halogênio" se refere a produtos cujos compostos respeitam as regulamentações e normas vigentes que estabelecem a quantidade permitida de halogênios contida no produto.

() A classificação de segurança entre parênteses é uma suposição; significa que ainda não foi determinada.

Fonte: Rolf Huehren.

3.5.2 Nomenclatura das substâncias possibilita diferenciação simples

A designação do tipo de fluido refrigerante é uma designação específica de nomenclatura de um composto químico ou mistura de compostos usados como fluido refrigerante.

O nome ou abreviação do meio de trabalho em questão pode ser identificado em cada caso individual. De acordo com as normas ANSI/ASHRAE 34, ISO 817 e a norma brasileira ABNT NBR 16666, esse nome consiste no uso da letra "R" antes do número para fluido refrigerante. O prefixo vem seguido de um código numérico, que por sua vez é seguido por letra(s) como sufixo, dependendo da estrutura molecular. Em princípio, o código numérico é composto de quatro dígitos, e os zeros da esquerda não são exibidos. Letras adicionais descrevem especificações extras e possibilitam distinguir precisamente entre substâncias parecidas.

Sobre a especificação do prefixo (R seguido ou não de hífen), existe uma contradição na definição entre a ASHRAE 34 (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) e a ISO 817 (Organização Internacional de Normalização).

De acordo com a norma ISO 817, o número identificador, como determinado pela Cláusula 4 da norma, deve vir precedido pela letra R ou pela palavra Refrigerante(s), a menos que estejam sendo usados prefixos designando a composição, conforme descrito na seção 5.2 da norma. Entre a letra R ou a palavra "refrigerante" e o número de designação, pode-se usar (ou não) um espaço ou hífen. Por exemplo: R134a, Refrigerante 134a e R 134a.

De acordo com a ASHRAE 34, os fluidos refrigerantes são nomeados com R-, seguidos do número designado pela ASHRAE (ex.: R-134a). A norma brasileira ABNT NBR 16666 segue a norma americana ASHRAE 34.

3.5.3 Designação de fluidos refrigerantes orgânicos explicada de forma simples com exemplos

Os fluidos refrigerantes orgânicos representam a maior variedade de fluidos refrigerantes orgânicos de transferência de calor para sistemas de refrigeração. A designação deles segue um código exclusivo no qual cada dígito representa um componente do fluido. A Tabela 8 mostra como funciona na prática.

Tabela 8 — Exemplos de designação de fluidos refrigerantes orgânicos

R-	Dígito 0	Dígito 1	Dígito 2	Dígito 3	-	Letra
Descrição	Composto insaturado	Carbono	Hidrogênio	Flúor	Cloro	Casos especiais
Determinação	Dígito número um	Número de átomos de carbono menos 1	Número de átomos de hidrogênio mais 1	Número de átomos de flúor por molécula	Número de compostos restantes	-
Exemplo R-123	-	2 átomos de carbono	1 átomo de hidrogênio	3 átomos de flúor	2 átomos de cloro	-
Exemplo R-22	-	1 átomo de carbono	1 átomo de hidrogênio	2 átomos de flúor	1 átomo de cloro	-
Exemplo R-13B1	-	1 átomo de carbono	0 átomo de hidrogênio	3 átomos de flúor	0 átomo de cloro	1 átomo de bromo
Exemplo R-1150	1	2 átomos de carbono	4 átomos de hidrogênio	0 átomo de flúor	0 átomo de cloro	-

Fonte: Rolf Huehren, conforme a ASHRAE 34.

No total, estão disponíveis quatro ligações por átomo de carbono. Portanto, **dois átomos de carbono** também exigem duas ligações. No caso do fluido refrigerante R-123, são oito ligações no total. Duas ocupam os próprios átomos de carbono, uma o átomo de hidrogênio, três os átomos de flúor, deixando duas para os átomos de cloro. No caso de substâncias com exatamente um átomo de carbono, o primeiro dígito seria zero, mas ele não aparece, como pode ser visto claramente no exemplo do fluido refrigerante R-22 (na verdade R-022).

3.5.3.1 Outras exceções na designação de fluidos refrigerantes orgânicos

- Se o composto contiver bromo, é para indicar acrescentando um "B". Um dígito extra indica o número de átomos de bromo. É importante saber que isso reduz o número possível de átomos de cloro. O exemplo do fluido refrigerante R-13B1 mostra o que isso quer dizer;
- Se a designação consistir em quatro dígitos, o primeiro indica um composto orgânico insaturado. Veja o exemplo do fluido refrigerante R-1150 na tabela;
- A letra "C" na frente dos números de código indica hidrocarbonetos cíclicos;
- Substâncias com mais de oito átomos de hidrogênio recebem a designação R-6XX porque não podem ser descritas de nenhuma outra maneira com os números 0 a 9;
- Letras minúsculas no final da designação descrevem isômeros dos compostos. A assimetria aumenta conforme a letra vai ficando para o final do alfabeto; e
- Se as letras "x", "y" e/ou "z" estiverem no final da designação, elas são hidrofluorolefinas, e as letras descrevem várias substituições.

3.5.3.2 Designação de compostos inorgânicos no grupo 700

Fluidos refrigerantes inorgânicos, que também incluem substâncias naturais como NH_3 (R-717) e CO_2 (R-744), podem ser identificados pelo número "7". Embora esse número caracterize a categoria, os outros dois dígitos representam a massa molar das substâncias. Como resultado, a amônia (R-717) tem massa molar de 17 gramas. O CO_2 (R-744), por outro lado, tem massa molar de 44 gramas. Se dois fluidos refrigerantes tiverem a mesma massa molar, eles podem ser diferenciados um do outro com o acréscimo de uma letra maiúscula.

3.5.3.3 Misturas de fluidos refrigerantes pertencem aos grupos 400 e 500

O terceiro grupo de fluidos refrigerantes são as misturas, que por sua vez podem ser divididas em misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas e azeotrópicas:

- As misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas mudam de temperatura durante a fase de transição no trocador de calor; elas têm uma variação de temperatura. Além disso, a composição das substâncias difere na fase gasosa e na líquida; e
- As misturas de fluidos refrigerantes azeotrópicas, por outro lado, comportam-se como fluidos refrigerantes puros de um único componente. Não apresentam variação de temperatura e devem ser usadas prioritariamente se for selecionada uma mistura de diferentes fluidos refrigerantes.

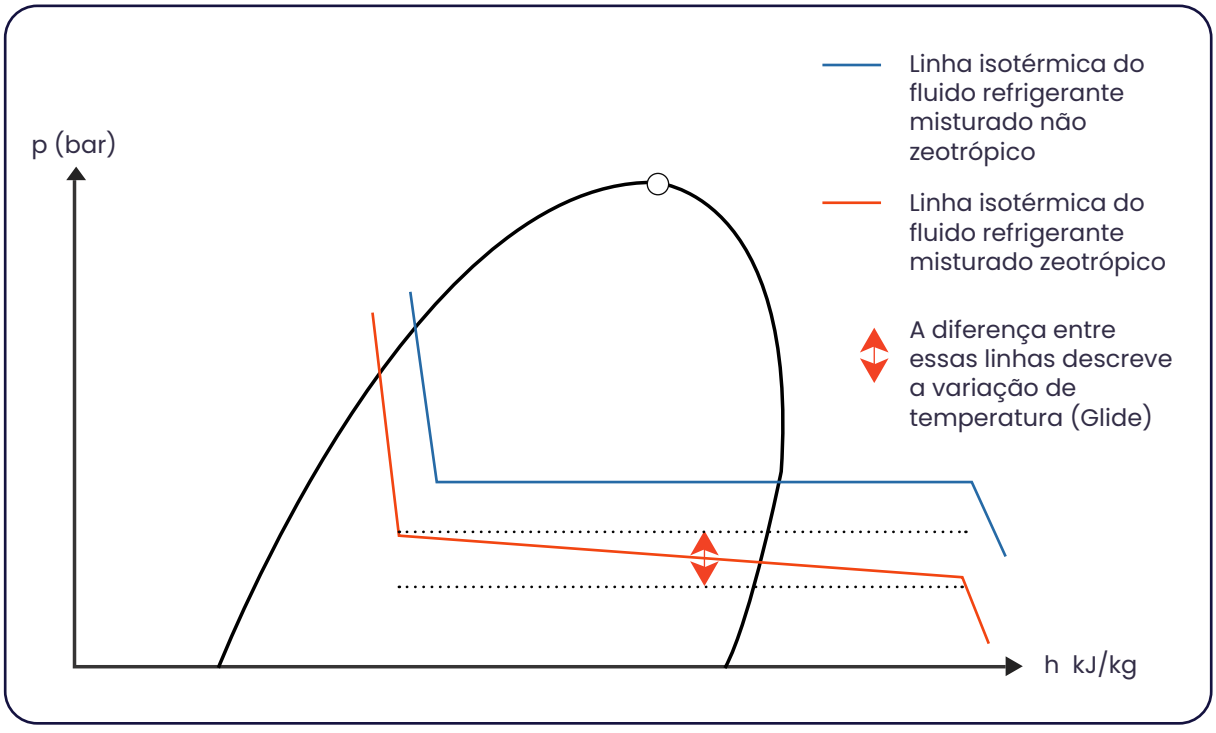
As misturas de fluidos refrigerantes são usadas quando os sistemas têm requisitos especiais para o fluido de transferência de calor. Assim, quando os fabricantes querem combinar as propriedades de diferentes fluidos, eles escolhem a forma da mistura.

É fácil reconhecer uma mistura de transferência de calor zeotrópica ou azeotrópica pela designação. Isso porque as misturas de fluidos refrigerantes zeotrópicas começam com "4" (por exemplo: fluido refrigerante R-407c). As misturas azeotrópicas, por outro lado, apresentam o número "5" no início da designação (ex.: R-507). Os números 2 e 3 também representam a composição qualitativa. Se houver uma letra depois do número, ela serve para distinguir entre diferentes composições.

3.5.3.3.1 Misturas zeotrópicas

As misturas zeotrópicas são compostas por componentes de fluidos refrigerantes que não se comportam como uma substância pura. Elas têm um ponto de ebulição sobre um intervalo de temperaturas. Esse fenômeno de variação da temperatura é conhecido como Glide (veja a Figura 36). O Glide é a diferença (K - Kelvin) entre o início e o fim do processo de mudança de fase de um fluido refrigerante no evaporador ou no condensador.

Figura 36 — Indicação de variação de temperatura com o diagrama log P/h

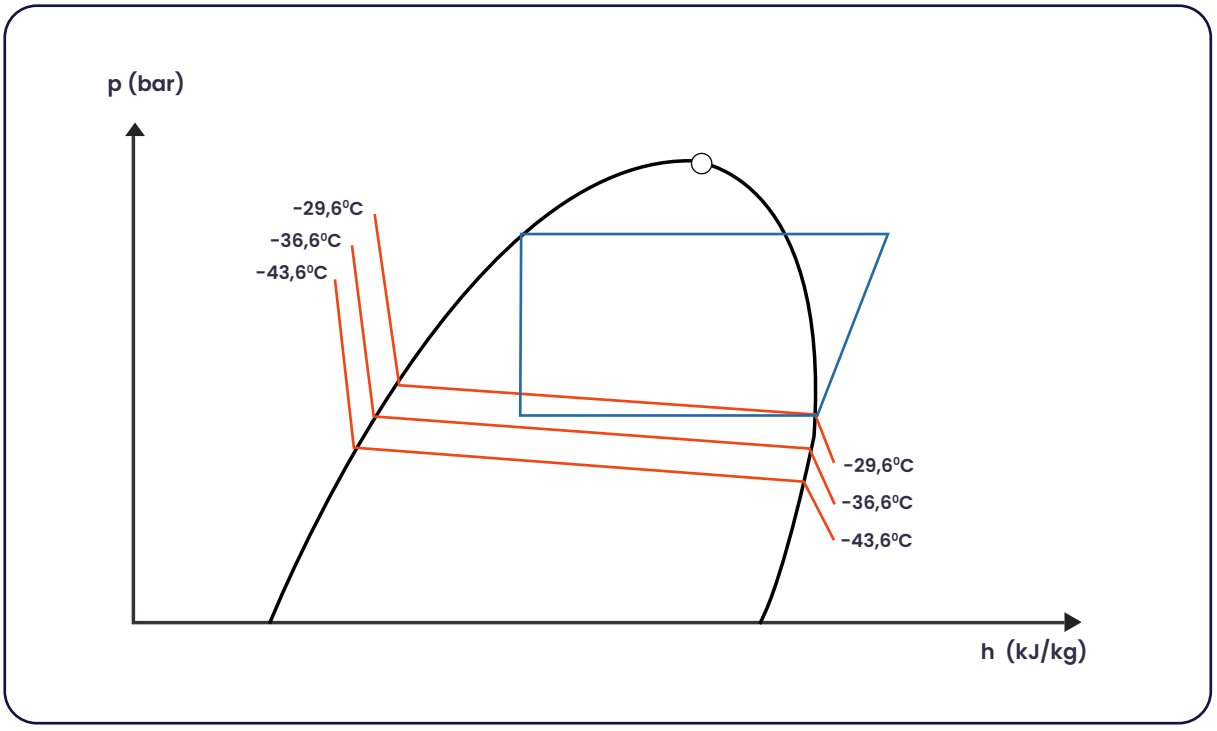


Fonte: Rolf Huehren.

Um exemplo é o R-407C, que apresenta variação de 7,4 K.

Durante a evaporação, a temperatura do fluido refrigerante aumenta pelo valor da variação de temperatura. O aumento na temperatura não é o resultado de superaquecimento. A Figura 37 mostra o diagrama log P/h de uma mistura zeotrópica de fluido refrigerante.

Figura 37 — Diagrama log P/h de uma mistura zeotrópica de fluido refrigerante



Fonte: Rolf Huehren.

Com o uso de misturas zeotrópicas, o manuseio incorreto durante a carga do fluido refrigerante pode facilmente levar a uma mudança na concentração entre componentes da mistura, o que influencia nas propriedades do fluido refrigerante. Algumas regras devem ser seguidas para o uso desses fluidos refrigerantes.

Carga do líquido

No uso de misturas zeotrópicas de fluidos refrigerantes, para dar carga no sistema, o fluido refrigerante deve ser extraído na forma líquida dos cilindros de gás pressurizados para garantir a proporção certa da mistura de componentes. Uma carga de vapor resultaria em uma composição completamente diferente. Só é permitida a carga com vapor quando todo o conteúdo de um cilindro de fluido refrigerante é carregado para dentro do sistema;

Manuseio dos cilindros de gás

Cilindros com vazamento de gás não devem ser usados sem a prévia análise da composição. A composição da fase líquida depende da carga do cilindro de gás. Logo, um cilindro quase vazio contém menos fase líquida do fluido refrigerante. Para cilindros que são esvaziados com a remoção de diversas quantidades pequenas, recomenda-se deixar uma quantidade residual (cerca de 10%) dentro do cilindro; e

Perdas em vazamentos do sistema de refrigeração

Em caso de vazamento, também podem ocorrer mudanças de concentração quando o vapor do fluido refrigerante escapar do sistema de refrigeração. Nesse caso, deve-se substituir toda a carga do fluido refrigerante. Se a carga do fluido refrigerante estiver razoavelmente alta, é bom fazer uma análise do fluido refrigerante. Não se recomenda completar os sistemas de refrigeração em operação sem saber a quantidade de fluido refrigerante zeotrópico e a composição.

3.5.3.3.2 Misturas azeotrópicas (não zeotrópicas)

Os componentes das misturas possuem as mesmas temperaturas de evaporação. A mistura do fluido refrigerante apresenta a mesma temperatura após a evaporação. Não há variações de temperatura. Os procedimentos de manuseio de fluidos refrigerantes com uma mistura azeotrópica são os mesmos que para fluidos refrigerantes com uma substância única.

3.5.3.3.3 Misturas quase azeotrópicas

Existe também o termo fluido refrigerante com mistura "quase azeotrópica". Essas misturas têm apenas uma mudança pequena (irrelevante) de temperatura que ocorre durante a mudança de fase. Além disso, a composição da fase de gás e líquido muda apenas ligeiramente no estado de equilíbrio. Os fluidos refrigerantes mais usados R-404A, R-410A, R-452B (R-454B) pertencem a esse grupo.

3.5.3.4 Tipos de fluidos refrigerantes e prefixos

Os compostos usados como fluidos refrigerantes podem ser descritos usando-se o prefixo apropriado acima, ou com os prefixos "R" ou "Refrigerante". Portanto, o CFC-12 pode ser R-12 ou Refrigerante 12.

Alcenos, alquenos ou olefinas são compostos insaturados que contêm pelo menos uma ligação dupla carbono-carbono.

A Tabela 9 mostra compostos de fluidos refrigerantes, o significado das siglas e os átomos na molécula.

Tabela 9 — Compostos de fluidos refrigerantes, significado e átomos

Tipo	Significado	Átomos na molécula
CFC	Clorofluorcarbono	Cl, F, C
CFO	Clorofluorolefina	
HCFC	Hidroclorofluorcarbono	H, Cl, F, C
HCFO	Hidroclorofluorolefina	
HFC	Hidrofluorcarbono	H, F, C
HFO	Hidrofluorolefina	
HCC	Hidroclorocarbono	H, Cl, C
HCO	Hidroclorolefina	
HC	Hidrocarboneto	H, C
HO	Hidrolefina (alceno; alqueno)	
PFC	Perfluorocarbono	F, C
PFO	Perfluorolefina	
PCC	Perclorocarbono	Cl, C
PCO	Perclorolefina	
H	Haloalcano	Br, Cl (em alguns, mas não todos), F, H (em alguns, mas não todos), C

Fonte: Rolf Huehren.

3.5.4 Fluidos refrigerantes secundários

Os fluidos refrigerantes secundários também são conhecidos como salmoura (água e anticongelante) e são muito usados em sistemas de refrigeração indiretos (ex.: resfriador de líquido "*chiller*") como fluido de transferência de calor.

Se as temperaturas de operação forem acima de 0 °C, também é possível usar água como fluido refrigerante secundário; por exemplo, em grandes sistemas de ar condicionado. Anticongelantes ou salmouras são usados quando é exigida a refrigeração abaixo das temperaturas de congelamento. Diferentemente dos fluidos refrigerantes primários, os fluidos refrigerantes

secundários não passam por mudanças de fase quando transportam energia de um local para outro. Uma propriedade importante de um fluido refrigerante secundário é o ponto de congelamento. Em geral, o ponto de congelamento da salmoura é abaixo do ponto de congelamento de seus componentes. A temperatura na qual ocorre o congelamento da salmoura depende da concentração dela.

A concentração na qual a temperatura mais baixa pode ser atingida sem solidificação é chamada de "ponto eutético".

Os fluidos refrigerantes secundários mais usados são água e soluções de etilenoglicol (venenoso), propilenoglicol ou cloreto de cálcio. Essas soluções são conhecidas como salmouras. Para temperaturas baixas e ultrabaixas, anticongelantes como "*Temper*" ou "*Dowtherm*" (nomes comerciais) podem ser usados.

3.6 Lubrificantes

A lubrificação de compressores de refrigeração é de particular importância na tecnologia de lubrificação. As exigências de alta qualidade para óleos de máquinas de refrigeração advêm das condições especiais de operação e da longa vida útil de manutenção exigida para os compressores.

Os requisitos mínimos estão descritos na norma alemã DIN 51503-1: Lubrificantes – Óleos de refrigeração – Parte 1: Requisitos mínimos. Essa norma é aplicável a óleos usados em compressores de refrigeração para lubrificação e refrigeração e aqueles expostos a fluidos refrigerantes líquidos e gasosos.

Os produtores de óleos e fabricantes de compressores têm que desenvolver e testar novos lubrificantes para determinados tipos de novos fluidos refrigerantes. Em específico, existem testes de viscosidade, ponto de floculação, ponto de fluidez, ponto de fulgor, etc.

O profissional de manutenção não precisa saber detalhes da qualidade do óleo, mas deve entender os termos técnicos e por quais motivos são importantes.

Atenção: em aplicações no campo, você deve usar apenas o lubrificante recomendado pelo fabricante do compressor!

3.6.1 Requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado

Os requisitos para padrões de alta qualidade de óleos lubrificantes para refrigeração e ar condicionado estão listados abaixo:

Longa vida útil do compressor

Embora uma vida útil de 2.000 horas de operação já represente bom desempenho para o motor de um veículo, a expectativa da vida útil de um compressor hermético em pequenos sistemas de refrigeração ou ar condicionado, por exemplo, é de 10 a 15 anos sem troca de óleo, o que corresponde de 50.000 a 70.000 horas de operação;

Alta carga térmica

O óleo do sistema de refrigeração fica sujeito a alto estresse térmico durante a operação. Tanto nas temperaturas na cabeça do cilindro, em especial nas válvulas de operação de cerca de 150 °C e superiores, quanto nas temperaturas de evaporação de cerca de -50 °C e inferiores, o óleo precisa manter suas propriedades de lubrificação e fluxo, e continuar estável do ponto de vista térmico e químico; e

Interações entre o fluido refrigerante e o óleo do sistema de refrigeração

Em todo o circuito de refrigeração, há sempre uma mistura de duas substâncias entre o fluido refrigerante e óleo do sistema de refrigeração. Não pode existir nenhuma reação química entre o fluido refrigerante e o óleo do sistema de refrigeração em nenhuma pressão ou temperatura de operação.

3.6.2 As funções do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração

As funções do óleo lubrificante em um compressor de refrigeração podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Lubrificação de todas as peças rotativas e deslizantes, como pistões, rolamentos do motor, válvulas de operação e vedação deslizante em compressores abertos para reduzir o atrito;

2. Transferência de calor de peças com alto estresse térmico para o cárter do compressor e de lá para o ambiente; e

3. Vedação dos flancos do dente em compressores parafuso e da câmara de compressão em compressores alternativos e rotativos, para reduzir as perdas oriundas de vazamento interno e assim aumentar a eficiência volumétrica.

3.6.3 Propriedades dos óleos lubrificantes e como o óleo de refrigeração se distingue dos demais óleos

Para a avaliação qualitativa dos óleos de máquinas de refrigeração, uma série de valores de características físico-químicas é definida e os procedimentos de teste necessários são padronizados.

Viscosidade

Viscosidade é o quanto um óleo é espesso ou fino a determinada temperatura, e o quanto ele está pronto para fluir naquela temperatura. O óleo fica mais "fluido" (flui com maior facilidade) conforme aumenta a temperatura, e fica mais "viscoso" (espesso) a baixas temperaturas. Lembre-se: se tiver dúvida sobre a viscosidade correta do óleo, consulte as recomendações do fabricante.

Teste de floculação

Todos os óleos minerais contêm cera de parafina, alguns mais do que outros. Mesmo quando há alegação de que o óleo "não contém cera", ele contém quantidades bem pequenas de cera. O teste de floculação determina a temperatura mensurável na qual a cera se separa do óleo. Se houver mais cera presente em uma mistura de óleo/fluido refrigerante do que o que pode permanecer na solução a determinada temperatura, haverá precipitação e podem ocorrer danos no compressor.

Rigidez dielétrica

Rigidez dielétrica é a medida da resistência de um óleo a uma corrente elétrica. Ela é expressa em milhares de volts (kilovolts, ou kV) de eletricidade necessária para romper uma lacuna de cerca de 2,5 mm entre dois polos imersos no óleo. A rigidez dielétrica mínima recomendada é de 25 kV.

Índice de neutralização

O índice de neutralização (NZ medido em mg KOH/g) é um indicador de acidez ou de alcalinidade de um óleo. O índice é o peso em miligramas da quantidade de ácido (ácido clorídrico) ou base (hidróxido de potássio) necessária para neutralizar um grama do óleo, usando métodos de teste padronizados. O índice de neutralização é de especial importância para compressores herméticos ou semi-herméticos. Estudos exaustivos têm mostrado as concentrações de ácido que provocam a destruição do enrolamento do motor.

Em geral, é adotado o valor limite NZ = 0,06 mg KOH/g.

No entanto, novos óleos para sistemas de refrigeração com NZ de 0,1 mg KOH/g também são usados em alguns casos. A justificativa dos respectivos fabricantes de compressores é a melhor qualidade dos vernizes de impregnação dos enrolamentos do motor.

Alguns fabricantes de compressores, como a L'Unite, usam óleos à base de éster com aditivos para melhorar o comportamento do desgaste, em especial no modo de partida. Índices NZ de 0,8 a 1,0 são medidos para esses óleos. Não é possível usar testadores de ácido disponíveis comercialmente para verificar a acidez desses óleos, já que geralmente eles são configurados para o valor limite NZ = 0,06.

Para determinar o índice de neutralização, é preciso fazer uma análise em laboratório. Recomenda-se sempre consultar o fabricante do compressor ou do óleo lubrificante para saber sobre a disponibilidade e o uso de kits de teste de NZ.

Ponto de fulgor e de combustão

Se você aquecer óleo em um recipiente aberto e passar uma pequena chama de gás sobre a superfície do óleo, em algum momento aparecerá um clarão de fogo na superfície durante a queima do vapor do óleo. A temperatura em que isso ocorre se chama ponto de fulgor. Se você continuar aquecendo o óleo, ele chegará a um ponto no qual ele vai pegar fogo e continuar queimando. Essa temperatura é chamada de ponto de combustão.

Solubilidade

O óleo de um sistema de refrigeração deve fazer mais do que simplesmente atender aos requisitos normais de lubrificação. Ele deve se misturar ao fluido refrigerante e percorrer o sistema. Portanto, você deve considerar a relação de solubilidade entre os fluidos refrigerantes e os óleos.

Os fluidos refrigerantes se dividem em três grupos:

1. Aqueles que se misturam em todas as proporções com o óleo no intervalo de temperaturas de operação, incluindo os hidrocarbonetos;
2. Aqueles que se separam em duas fases no intervalo de operação, dependendo da temperatura, da pressão e do tipo de material de base (categoria química) do óleo, incluindo o R-22; e
3. Aqueles que são insolúveis em óleo no intervalo de temperaturas de operação, especificamente a amônia e o dióxido de carbono.

Dos fluidos refrigerantes listados nos últimos dois grupos, apenas a amônia e o dióxido de carbono são mais leves que o óleo. Eles ficam flutuando por cima quando a mistura de óleo/fluido refrigerante se separa em duas fases.

Compatibilidade do elastômero

A literatura relevante recomenda os seguintes materiais de vedação para óleos à base de poliolléster (POE) com fluidos refrigerantes HC, HFC e HFO:

- Borracha de acrilonitrilo butadieno, teor de nitrila >36%;
- Borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado, teor de nitrila >36%; e
- Borracha de etileno-propileno-dieno.

3.6.4 Tipos de lubrificantes

Existem vários tipos de lubrificantes usados em refrigeração: óleo mineral, alquilbenzenos, polialfaolefinas, óleo à base de poliéster e polialquilenoglicóis. Todos os tipos de lubrificantes possuem propriedades diferentes.

Óleos minerais

O óleo mineral é um composto hidrocarboneto de petróleo e carvão mineral. Ele pertence ao grupo dos alcanos. O óleo mineral é usado principalmente em compressores herméticos. Ele é adequado para uso com fluidos refrigerantes CFC e HCFC. Ele não serve para temperaturas de evaporação mais baixas;

Alquilbenzenos (AB)

Os alquilbenzenos são obtidos a partir do petróleo. São adequados para fluidos refrigerantes HCFC e hidrocarbonetos. Os alquilbenzenos apresentam baixa tendência a formação de espuma. Isso faz com que sejam adequados para todos os tipos de compressores;

Polialfaolefinas (PAO)

A polialfaolefina é um lubrificante sintético. Ela é adequada para hidrocarbonetos, NH_3 e CO_2. Ela é usada principalmente em compressores parafuso. A polialfaolefina também é própria para baixas temperaturas de evaporação;

Óleo à base de poliéster (POE)

O óleo à base de poliéster é um lubrificante sintético. Ele é adequado para fluidos refrigerantes HFC e CO_2. O óleo é higroscópico e não deve ser exposto a umidade. Os recipientes abertos devem ser despejados imediatamente dentro do circuito de refrigeração. Os volumes restantes não devem ser reutilizados. Junto com a água podem se formar ligações ácidas. Ele também é próprio para baixas temperaturas; e

Polialquilenoglicol (PAG)

O polialquilenoglicol é um óleo sintético. Ele é adequado para fluidos refrigerantes HFC, HFO e NH_3. Ele não é compatível com todos os materiais. Os poliglicóis são usados em aparelhos de ar condicionado de carros por causa de sua alta estabilidade térmica.

A Tabela 10 mostra os tipos de lubrificantes usados para diferentes fluidos refrigerantes.

Tabela 10 — Lubrificantes para sistemas de refrigeração

Fluido refrigerante	Lubrificante
CFC (consumo eliminado)	Óleo mineral ou POE
HCFC	Óleo mineral, AB, POE
HFC	PAG, POE
HFO	PAG, POE
Hidrocarbonetos	Óleo mineral, PAO, POE
NH_3	PAO, AB, PAG
CO_2	POE, PAG

Fonte: Bitzer.

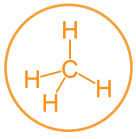
3.6.5 Como escolher o lubrificante certo

Para encontrar o lubrificante certo, sempre verifique as informações fornecidas pelo fabricante do compressor. A maioria dos compressores já conta com carga de óleo na entrega (exceto os compressores R-717). Se houver necessidade de completar o óleo (por exemplo, em caso de vazamento ou manutenção), deve-se sempre usar o óleo original ou uma alternativa aprovada pelo fabricante.

Figura 38 — Informações de um fabricante de compressores para lubrificantes

Tipos de compressores	2KES-05(Y) .. 8FE-70(Y) e 22EES-4(Y) .. 66FE-100 (Y)			4FDC-5Y .. 4NDC-20Y
Fluidos refrigerantes permitidos (Outros fluidos refrigerantes mediante solicitação)	R-134a, R-404A, R-407A/C/F, R-448A, R-449A, R-450A, R-452A, R-507A, R-513A, R-1234yf, R-1234ze(E)	Demais misturas de HFO e HFO/HFC apenas após consulta junto a Bitzer	R-22	R-410A
Carga do óleo	BSE32 BSE55 para R-134a: t_c > 70 °C	Entre em contato com a Bitzer	B5.2	BSE55
Limites de aplicação	Consulte o folheto do KP-104 e o software da Bitzer			Consulte o folheto do KP-101 e o software da Bitzer

Fonte: Bitzer.



Hidrocarbonetos

A maioria dos óleos de refrigeração também é compatível com HCs (veja a Tabela 11), embora em geral haja alta solubilidade com determinados óleos minerais e POE. Porém, diversos fabricantes de lubrificantes oferecem óleo de refrigeração especificamente para fluidos refrigerantes HC.

Tabela 11 — Compatibilidade e solubilidade de diferentes óleos com HCs

Tipo de óleo	Compatibilidade	Solubilidade
Óleo mineral	Boa	Alta
Alquilbenzeno (AB)	Boa	Média
À base de polioléster (POE)	Boa	Alta
Polialfa-olefina (PAO)	Boa	Alta
Polialquilenoglicol (PAG)	Boa	Média

Fonte: GIZ.

HFC R-32

Comparado com o R-410A, o R-32 é menos miscível com óleos, então o uso de óleo de refrigeração para o R-410A pode levar a uma lubrificação inadequada devido ao retorno insuficiente de óleo. Os fabricantes de óleos lubrificantes desenvolveram óleos lubrificantes para o R-32 com maior compatibilidade. Ao usar o R-32 como o único fluido refrigerante, consulte os fabricantes de óleos lubrificantes.

3.6.6 Ferramentas e procedimentos para o teste de acidez do óleo

Os kits de teste de acidez (veja a Figura 39) estão disponíveis em diversos fabricantes para medir o nível de acidez do óleo de um sistema de refrigeração operacional. Trata-se de um método simples e econômico para determinar se o nível de acidez está dentro do intervalo aceitável para lubrificantes.

Alguns testes foram projetados para lubrificantes minerais ou alquilbenzenos, outros se destinam especificamente ao uso de lubrificantes à base de poliolléster. Geralmente, um papel ou líquido indicador muda de cor para indicar a presença de ácido no óleo. A cor do papel ou líquido indicador é comparada com uma tabela de cores.

Figura 39 — Exemplos de kit de teste de acidez

Fonte: Virginia KMP (esquerda)/ QwikProducts (direita).

Atenção: deve-se tomar cuidado antes de testar óleo contaminado. Use equipamento de proteção individual adequado, como óculos e luvas, porque o óleo pode ser agressivo e prejudicial aos olhos e à pele. Peça para o fornecedor do fluido refrigerante ou para o fabricante do compressor recomendar o kit correto de teste do óleo.

Se esses kits não estiverem disponíveis, uma inspeção visual do óleo (pelo visor de líquido do compressor) e seu olfato podem dar uma rápida indicação se ainda existe contaminação no sistema. Quando o óleo lubrificante está fresco e limpo, ele normalmente fica transparente. Quando o óleo está sujo ou descolorido (com uma cor mais próxima do marrom escuro ou preto), isso indica a presença de contaminantes no óleo, como ácidos, lodo, ar ou umidade. Como a cor do óleo de refrigeração varia, deve-se compará-lo com óleo novo.

Além disso, existem kits de análise de óleo (veja a Figura 40) destinados a ajudar o profissional a avaliar a condição do compressor em operação ou para sistemas nos quais os kits de testes não podem ser usados. Nesse caso, a amostra do lubrificante é enviada para um laboratório. Os resultados da análise podem indicar a presença de contaminantes (incluindo metais, o que indica desgaste), bem como o nível de acidez, teor de umidade e viscosidade do óleo.

Figura 40 — Kit de análise do óleo

Fonte: Parker.

Abaixo, temos exemplos de resultados do teste de óleo com kits de teste rápido e as consequências:

1. Se o nível de acidez estiver dentro do intervalo aceitável, não será necessário tomar nenhuma providência;

2. Se a resposta do kit de teste for uma mudança de cor, significa que a acidez do óleo está no limite e é preciso trocar o óleo (uma ou mais trocas de óleo) e o filtro secador. Deve-se considerar a instalação de um filtro secador na linha de sucção com alto desempenho de ligação de acidez se a troca do óleo não trouxer resultados aceitáveis; e

3. Se a cor indicar que a acidez do óleo está alta demais e que isso representa um risco para os componentes do circuito de refrigeração, será preciso fazer uma limpeza interna do circuito (*flushing* do sistema). Além disso, será necessário trocar o óleo e o filtro secador.

3.7 Componentes essenciais de um circuito de refrigeração

Para transportar calor, o sistema de refrigeração precisa de pelo menos seis componentes principais e uma energia de acionamento:

1. Compressor;

2. Condensador (refrigerado a ar ou a água);

3. Dispositivo de expansão (geralmente um tubo capilar ou uma válvula de expansão);

4. Evaporador;

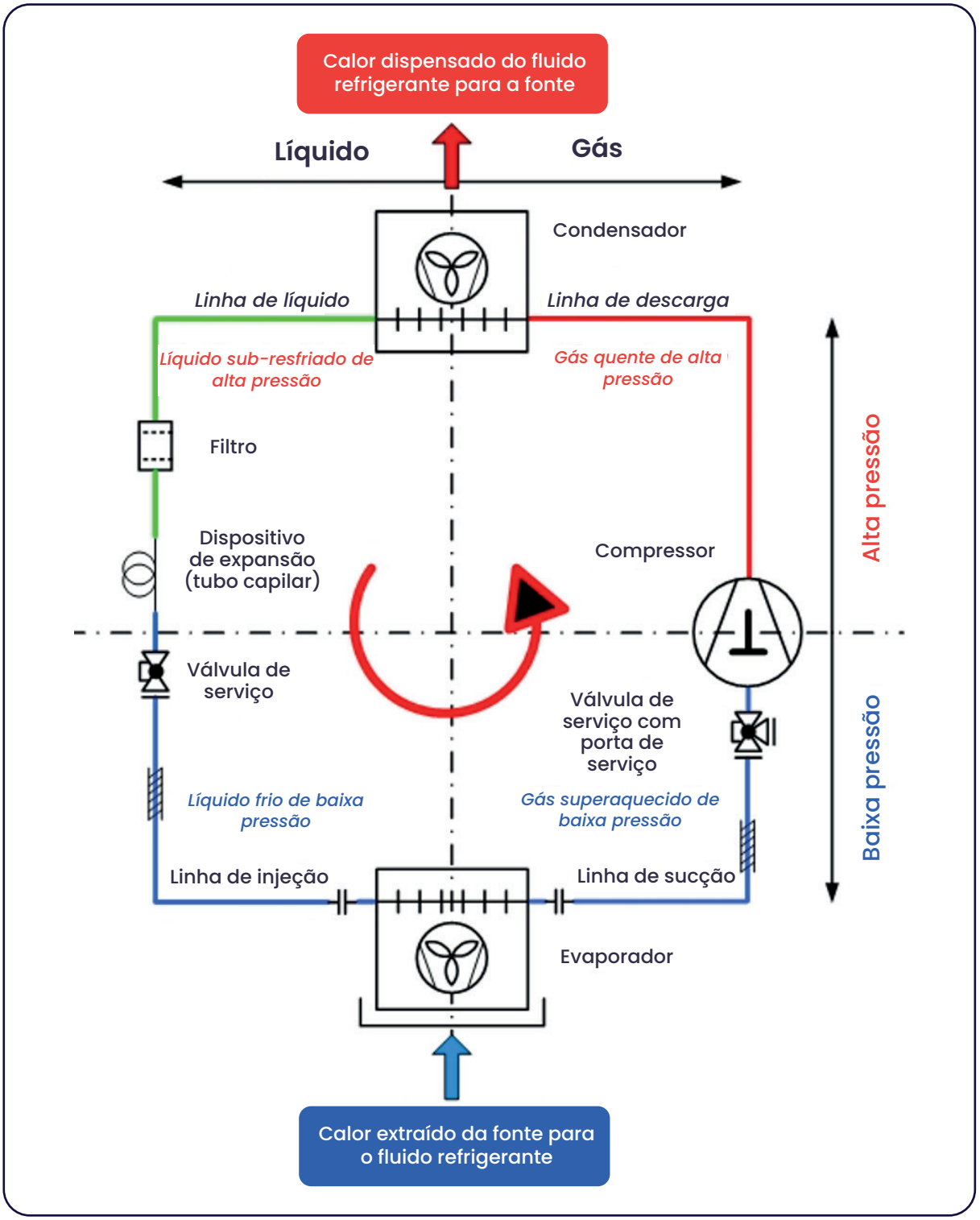
5. Sistema de tubulação, que deve ser hermeticamente vedado e dimensionado de acordo com sua função e propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante; e

6 Fluido refrigerante como meio de transferência de calor, selecionado de acordo com a finalidade do sistema de refrigeração e com as propriedades ambientais e físicas do fluido.

Dependendo do tipo de construção e do uso destinado, os sistemas de refrigeração reais contam com outros componentes para segurança e controle.

A Figura 41 indica um sistema de refrigeração simples com os principais elementos de operação de um circuito de refrigeração.

Figura 41 — Elementos básicos de um sistema de refrigeração



Fonte: Rolf Huehren.

Em um sistema de refrigeração por compressão, o calor é transportado de um local para outro como resultado de uma diferença de temperatura. O circuito de refrigeração é operado em um sistema fechado. O sistema fica hermeticamente fechado e preenchido com fluido refrigerante. Nunca há perda de fluido refrigerante no sistema fechado e não há necessidade de completar o fluido.

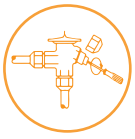
O princípio de transporte de calor em um sistema de refrigeração por compressão pode ser descrito usando o exemplo da função básica dos quatro componentes principais, como descrito na sequência.

1. Compressor

O compressor é a unidade de acionamento do sistema de refrigeração por compressão. Ele puxa o fluido refrigerante gasoso do evaporador, aumenta a pressão do vapor do fluido refrigerante e força o fluido refrigerante gasoso para dentro do condensador. Durante o processo, o compressor deve aumentar o vapor do fluido refrigerante para um nível de pressão suficientemente alto de modo que o fluido refrigerante possa se condensar no condensador enquanto libera calor. Compressores em sistemas de refrigeração de pequeno a médio porte, como os de aparelhos de ar condicionado do tipo split, compressores rotativos e scroll, são usados, mas também é possível usar máquinas com motor alternativo. As diferenças de projeto (para fluidos refrigerantes inflamáveis) comparadas com fluidos refrigerantes convencionais (R-22, R-404A, R-410A) são as carcaças menores otimizadas e o menor teor de lubrificação.

2. Condensador

No condensador, o calor do fluido refrigerante é liberado de novo e transferido para o ambiente. O vapor do fluido refrigerante se condensa com a dissipação do calor. O vapor do fluido refrigerante deve ter uma temperatura mais alta do que a do ambiente. Essa temperatura de condensação necessária é diretamente proporcional à pressão gerada pelo compressor. A condensação ocorre a uma alta pressão constante.



3. Dispositivo de expansão

O dispositivo de expansão fica localizado entre o condensador e o evaporador. A função dele é expandir o fluido refrigerante pressurizado. A expansão a uma baixa pressão é necessária para que o fluido refrigerante possa evaporar novamente a baixas temperaturas.

Parte do fluido refrigerante já evapora devido à redução de pressão no dispositivo de expansão, que causa uma queda na temperatura. O superaquecimento do fluido refrigerante no evaporador pode ser alcançado usando-se uma válvula de expansão termostática (VET). O superaquecimento garante a evaporação completa do fluido refrigerante. Para sistemas operados com capilaridade, o superaquecimento é mantido com uma carga de fluido refrigerante exata (crítica) do sistema.

4. Evaporador

No evaporador, o calor é extraído do ambiente ou de um fluido a ser refrigerado e transferido para o fluido refrigerante. O fluido refrigerante se evapora durante o processo. Aqui, a temperatura do fluido refrigerante continua a mesma, apesar da absorção do calor. O calor absorvido é usado para modificar o estado, de líquido para gasoso. Para que a evaporação ocorra, a

temperatura do fluido refrigerante deve ser mais baixa do que a do ambiente ou do fluido a ser refrigerado. Essa temperatura de evaporação exigida é diretamente proporcional à pressão, que é alcançada pelo efeito de sucção do compressor e de constrição do dispositivo de expansão.

3.8 Representação gráfica de um circuito de refrigeração (EN 1681)

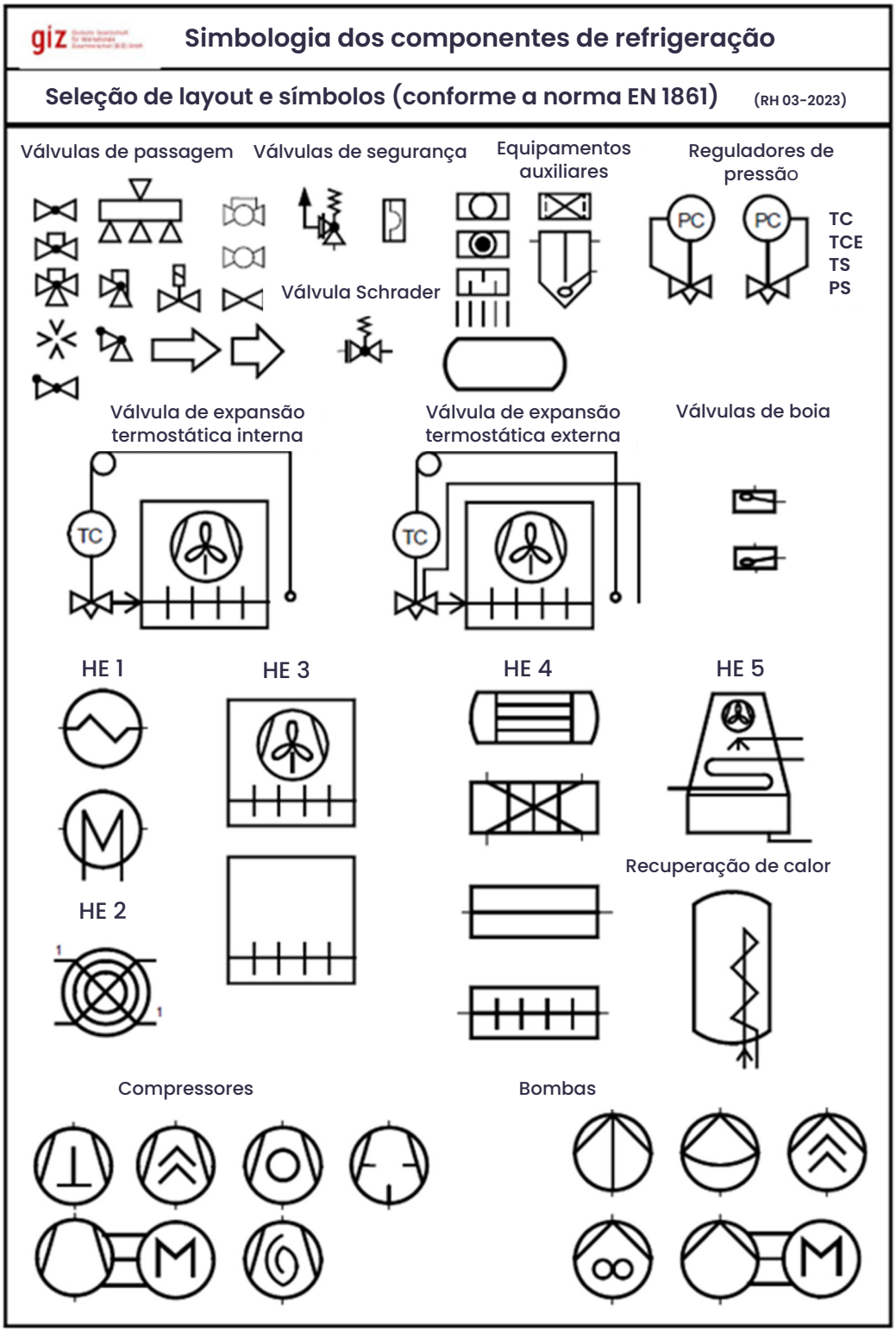
Os diagramas de tubulação e instrumentação (PID) devem mostrar todos os componentes do sistema de refrigeração e ar condicionado (RAC) e fornecer informações sobre as respectivas funcionalidades.

No diagrama PID, todos os componentes necessários para a operação de um sistema, como vasos de pressão, controles primários e secundários, bombas, compressores, trocadores de calor, tubos de transferência de fluido refrigerante, acessórios e instrumentos de medição são mostrados em forma de símbolos.

É importante entender os símbolos e a configuração para montar e instalar corretamente os sistemas de RAC. No caso de ar-condicionado do tipo split ou refrigerador doméstico, esses desenhos estão incluídos na instalação ou nos manuais de operação, ou vão colados na própria unidade. Em caso de instalações maiores, eles são fornecidos junto com a documentação geral. Em caso de modificações, pode ser necessário ajustar esses desenhos, então ter experiência no desenho de PIDs é uma vantagem.

A simbologia padronizada para os sistemas RAC mais comuns pode ser encontrada na norma europeia DIN EN 1861 e está resumida na Figura 42.

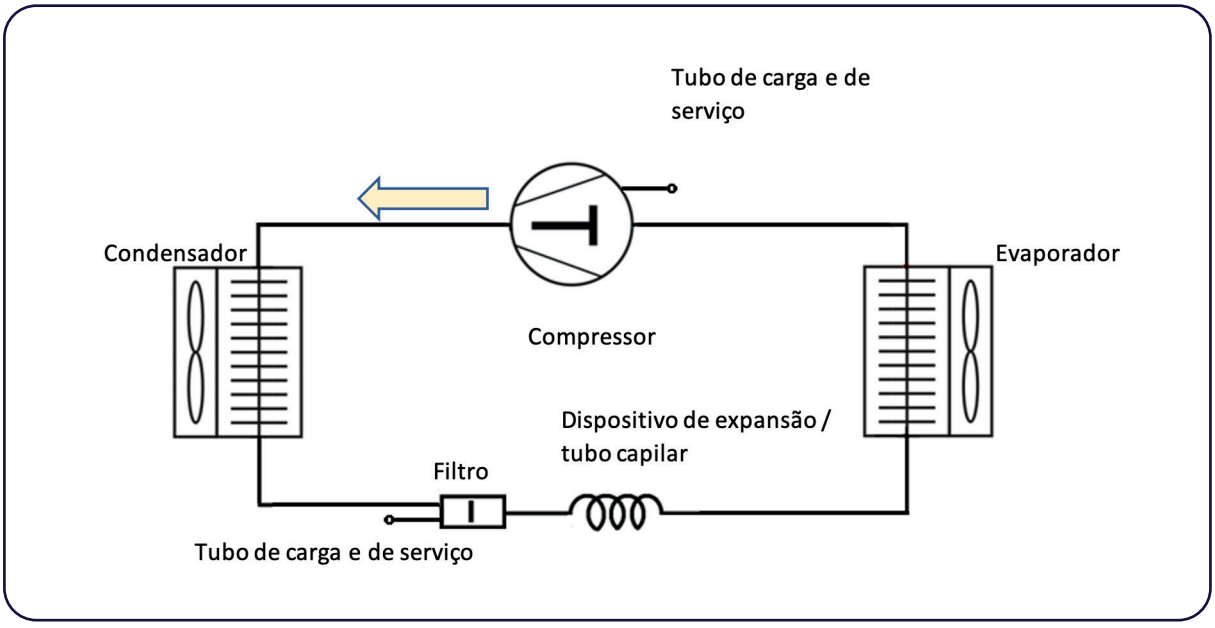
Figura 42 — Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação — layout e símbolos



Fonte: Rolf Huehren.

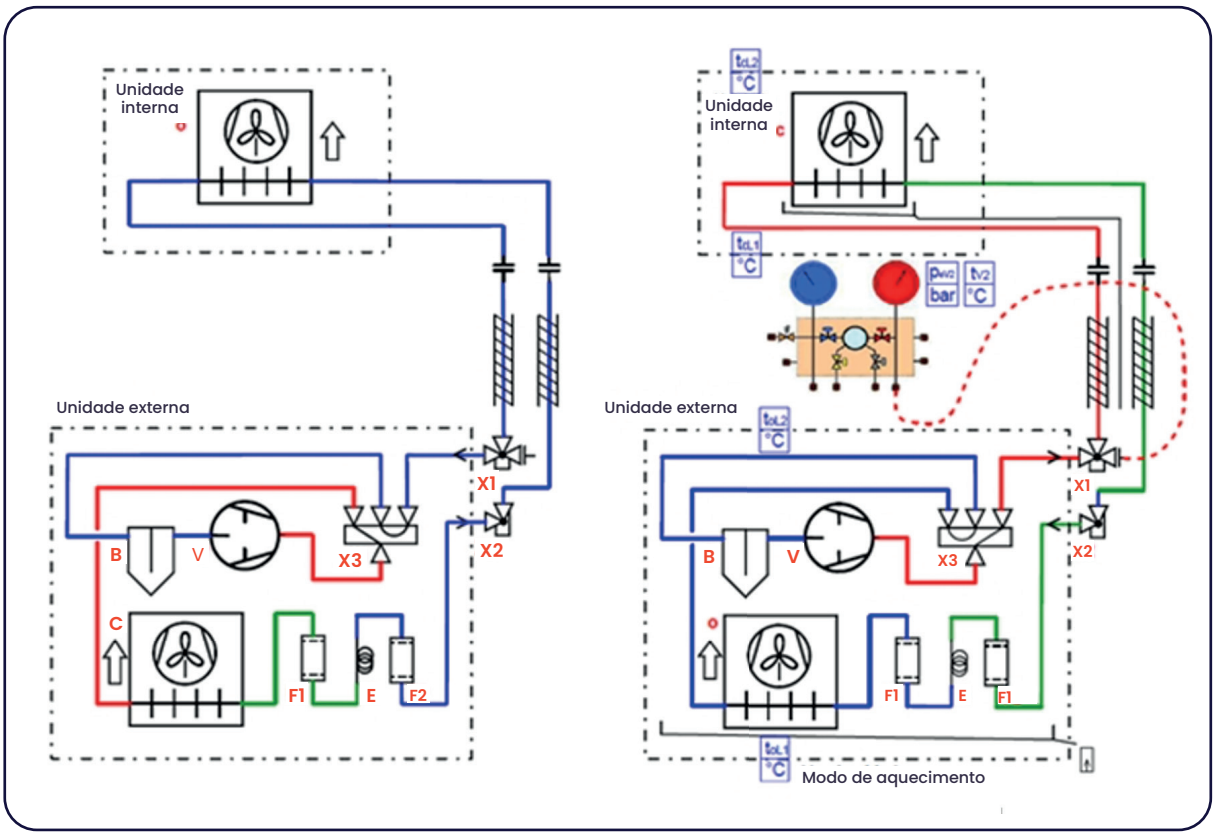
Para orientação geral, a Figura 43, a Figura 44 e a Figura 45 dão exemplos de diagramas de tubulação e instrumentação (PID).

Figura 43 — PID de um refrigerador genérico doméstico



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 44 — PID de um aparelho de ar condicionado do tipo split com função de bomba de calor



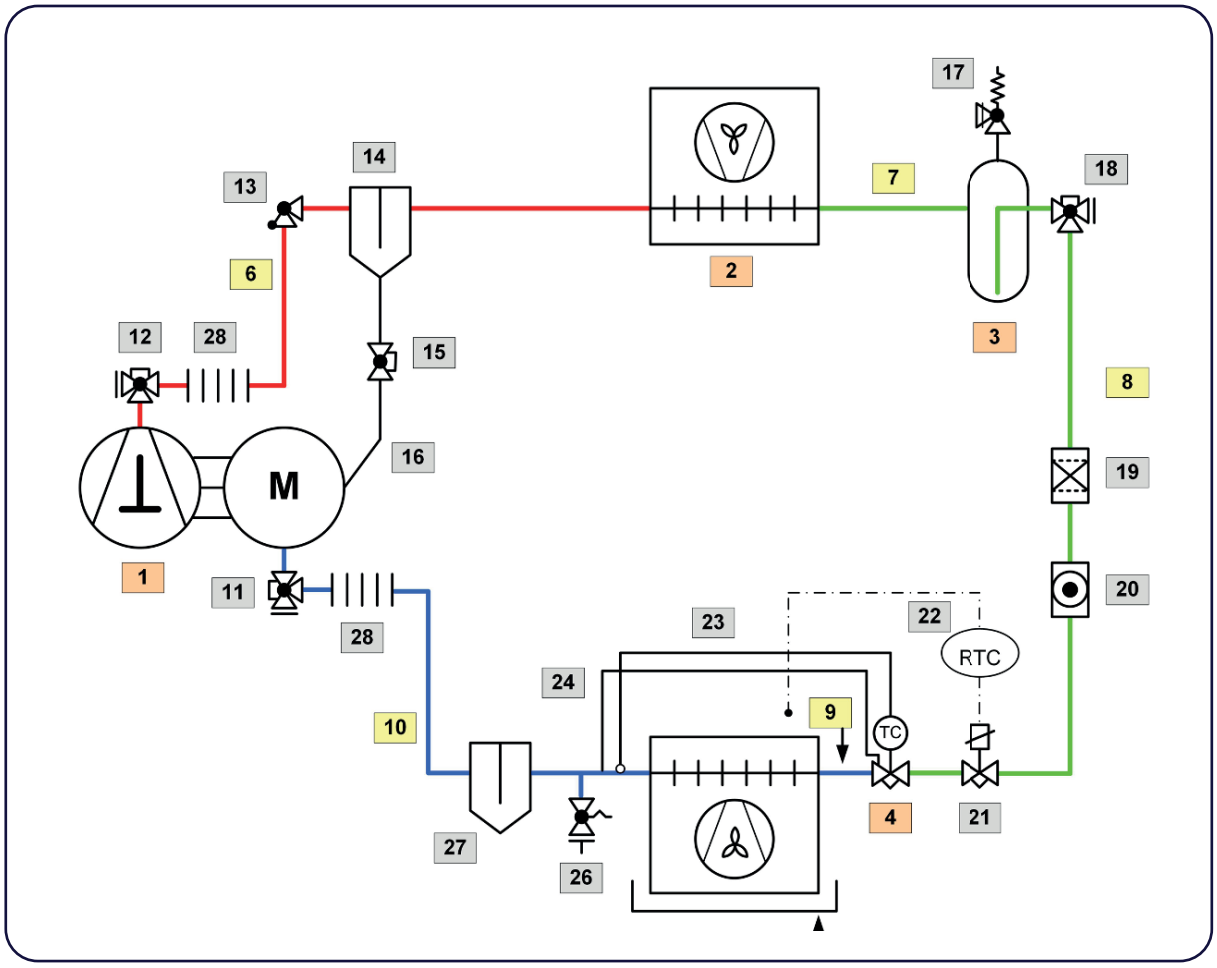
Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 12 — Legenda dos símbolos — Aparelho de ar condicionado do tipo split

B	Separador de líquido	E	Tubo capilar
c	Condensador	V	Compressor
0	Evaporador	X1	Válvula de passagem com porta de serviço
F1	Filtro secador	X2	Válvula de passagem
F2	Filtro	X3	Válvula de inversão

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 45 — Exemplo de PID de um sistema de refrigeração comercial



Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 13 — Legenda dos símbolos — Sistema de refrigeração comercial

1	Compressor semi-hermético (tipo pistão)	15	Válvula de passagem no retorno de óleo
2	Condensador (refrigerado a ar)	16	Tubo de retorno do óleo
3	Tanque de líquido	17	Válvula de segurança de alívio
4	Válvula de expansão termostática (equalização de pressão externa)	18	Válvula de passagem no tubo de líquido no tanque de líquido
5	Evaporador (circulação de ar forçada)	19	Filtro secador
6	Linha de descarga	20	Visor de líquido com indicador de umidade

(*Continuação*)

7	Linha do condensado	21	Válvula solenoide
8	Linha de líquido	22	Controle de temperatura da sala
9	Linha de injeção	23	Tubo do sensor da VET
10	Linha de sucção	24	Equalização da pressão externa da VET
11	Válvula de passagem (sucção)	25	Bandeja coletora do condensado
12	Descarga da válvula de passagem (descarga)	26	Conexão de serviço na saída do evaporador
13	Válvula de retenção	27	Acumulador de líquido
14	Separador de óleo	28	Amortecedor de vibração

Fonte: Rolf Huehren.

3.9 Sistemas de refrigeração diretos e indiretos

3.9.1 Sistemas de refrigeração diretos

A refrigeração direta ou a evaporação direta é o processo de levar o fluido refrigerante até o corpo a ser refrigerado (líquido, gás, ar), no qual ele evapora em contato térmico direto no evaporador.

É feita uma distinção entre:

1. Evaporador direto (evaporação de expansão seca); e
2. Evaporador inundado (evaporação inundada).

Vantagem

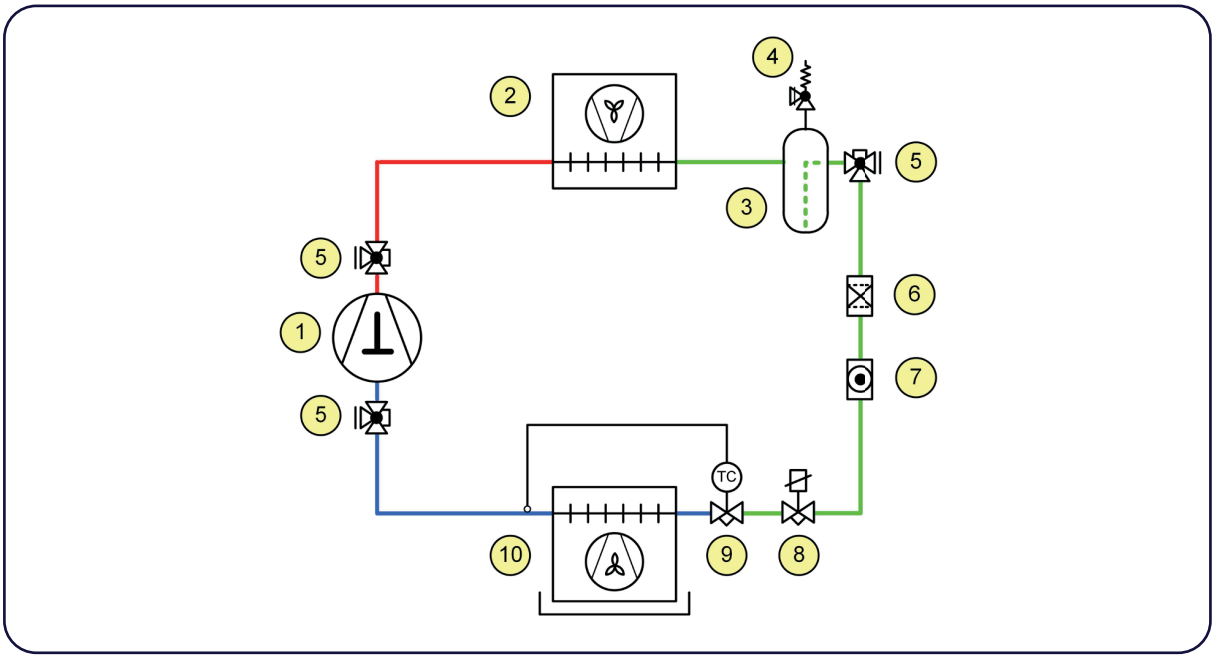
- Em geral, a refrigeração direta costuma ser mais favorável energeticamente (e mais econômica) do que a refrigeração indireta, por causa da transferência direta de calor no trocador de calor (evaporador e condensador).

Desvantagens

- Complexidade dos sistemas de controle de fluidos refrigerantes;
- Sistemas de tubulação de fluido refrigerante em geral amplamente distribuídos;
- Maior probabilidade de vazamento de fluidos refrigerantes; e
- Dependendo do tipo de fluido refrigerante usado, cargas limitadas do sistema.

Os evaporadores de expansão seca são equipados com um elemento de expansão na entrada, projetado de modo a deixar o fluido refrigerante evaporar completamente e superaquecer na saída. O fluido refrigerante é injetado no evaporador em gotículas. Para isso, válvulas de expansão com um comportamento de controle particularmente estável são necessárias, bem como o projeto correto de inserções, distribuidores e comprimentos otimizados de tubos. O sistema precisa de velocidade e turbulência suficientes do gás, e pode ter vários circuitos com controle de capacidade (veja a Figura 46).

Figura 46 — Sistema direto com evaporador de expansão seca



1	Compressor	6	Filtro
2	Condensador	7	Visor de líquido do fluido refrigerante com indicador de umidade
3	Tanque de líquido	8	Válvula solenoide
4	Válvula de segurança	9	Dispositivo de expansão
5	Válvula de isolamento (válvula rotalock)	10	Evaporador (*cooler*)

Fonte: Rolf Huehren.

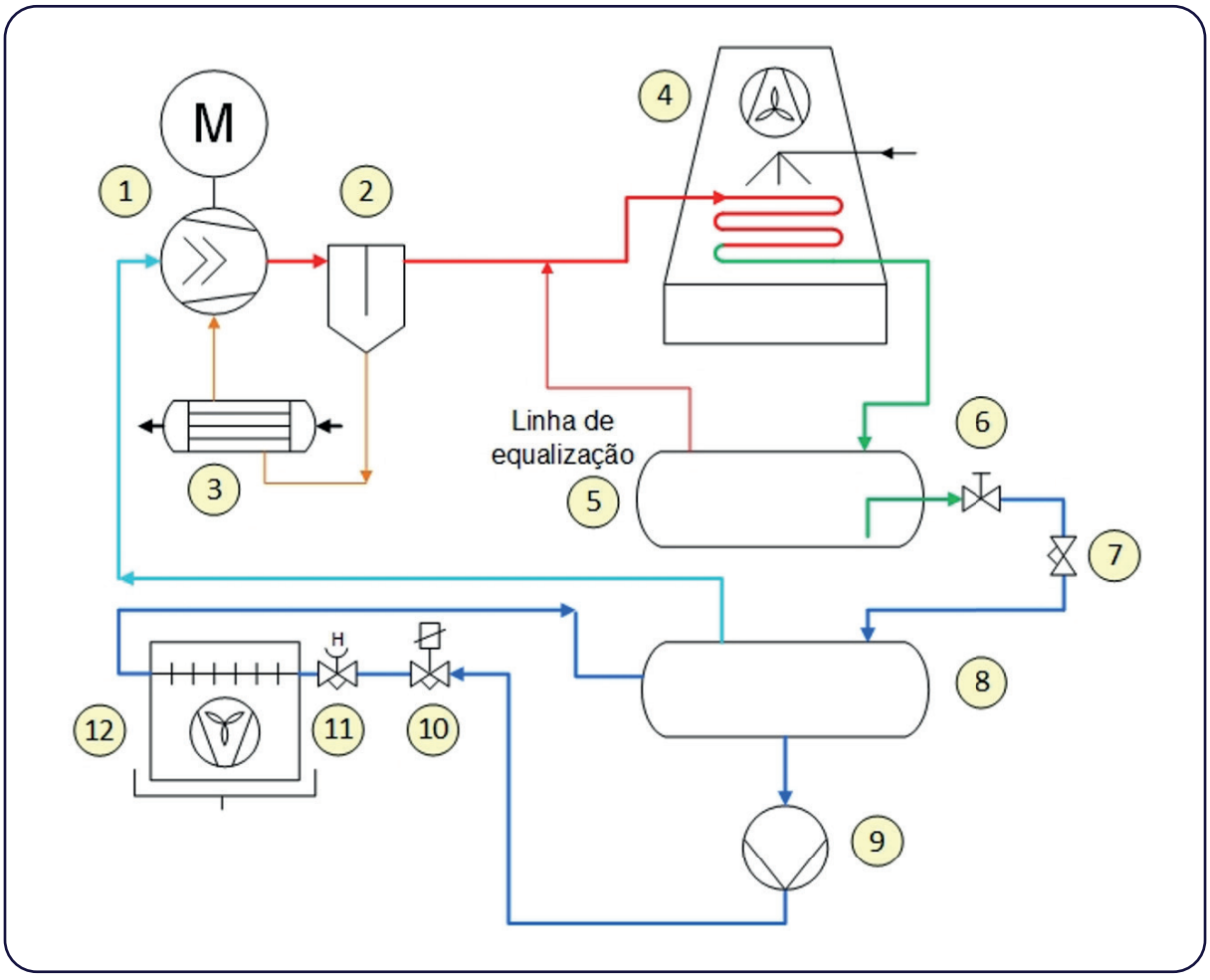
Uma diferença significativa na aplicação convencional (em geral para grandes aplicações comerciais e industriais) do fluido refrigerante R-717 (amônia) em comparação com fluidos refrigerantes sintéticos (HCFCs, HFCs) é a operação inundada dos evaporadores. Com fluidos refrigerantes sintéticos, a maioria dos sistemas é projetada em tecnologia de expansão seca, e apenas alguns sistemas são projetados como sistemas inundados. Com o fluido refrigerante amônia, é o contrário (incluindo aplicações para produção de água refrigerada).

Em evaporadores inundados, o fluido refrigerante não evapora completamente na saída do evaporador como acontece na expansão seca. Isso significa que o superaquecimento nesse ponto também é praticamente zero. Na operação inundada (veja a Figura 47), partes do fluido refrigerante líquido evaporam e o calor é absorvido do ambiente. Porém, isso não acontece com a quantidade toda do fluido refrigerante. Essa configuração possibilita que o fluido refrigerante seja fornecido e removido do evaporador usando-se bombas de fluido refrigerante líquido.

Existem dois tipos de geração de fluxo: bomba de líquido ou gravidade. Ambos os sistemas precisam de um tanque de líquido, que também separa o fluido refrigerante gasoso do líquido.

O procedimento descrito acima é relativamente simples de realizar e, também, o evaporador é melhor utilizado do que em sistemas comparáveis de expansão a seco, porque não há seção de superaquecimento. Além do mais, o evaporador (*cooler*) oferece uma temperatura de superfície constante completa, o que é importante para processos de refrigeração e sempre a melhor opção.

Figura 47 — Sistema direto com operação de evaporador inundado



1	Compressor parafuso aberto	7	Válvula de expansão
2	Separador de óleo	8	Separador - Recirculador
3	Refrigerador de óleo	9	Bomba de fluido refrigerante líquido
4	Condensador evaporativo	10	Válvula solenoide
5	Tanque de líquido de alta pressão	11	Válvula de controle
6	Válvula de bloqueio	12	Evaporador inundado

Fonte: Rolf Huehren.

O retorno da bomba de amônia, vindo do evaporador, não deve fluir diretamente para dentro do compressor. O motivo para isso é o alto teor de líquido do fluido refrigerante, já que o compressor só consegue comprimir fluidos refrigerantes gasosos. Portanto, um separador (também chamado de recirculador) é inserido no meio. Ele separa o fluido refrigerante nos estados de agregação gasoso e líquido. Assim, a alimentação da bomba no evaporador é removida da parte de baixo do separador. Essa forma de montagem assegura que sempre haja fluido refrigerante para bombear nesse ponto por causa da estratificação em "vapor no topo" e "líquido na parte de baixo".

O fluido refrigerante gasoso, por outro lado, é extraído no topo do separador. O fluido refrigerante no estado gasoso pode ser processado com segurança pelo compressor (compressão). Depois que o fluido refrigerante é comprimido, ele entra no condensador, onde sai do superaquecimento e finalmente se liquefaz. Em princípio, esse processo não é diferente do que acontece no sistema de expansão seca. Entretanto, o tipo de condensador em grandes fábricas de refrigeração costuma ser uma torre de refrigeração (ou *dry cooler*).

Os evaporadores inundados costumam ser encontrados em grandes sistemas de refrigeração industriais e comerciais que usam amônia. A diferença mais importante entre um evaporador inundado e um evaporador de expansão seca é que o evaporador inundado opera em interconexão com um tanque de líquido de fluido refrigerante de baixa pressão.

Em evaporadores inundados, o fluido refrigerante não evapora na saída do evaporador como acontece em sistemas de expansão seca. Como resultado, o fluido refrigerante pode não só ser bombeado para o evaporador, mas também recirculado mais uma vez para dentro do separador.

3.9.2 Sistemas de refrigeração indiretos

Os sistemas indiretos foram usados em diversas novas aplicações com o passar dos anos, especialmente para aplicações de refrigeração de água e em específico para o uso dos fluidos refrigerantes A2L, B2L e A3:

- Instalações técnicas em edifícios para fornecimento de água gelada distribuída em sistemas de ar condicionado.
- No setor comercial e industrial. Aqui, o fornecimento de água gelada durante o ano inteiro geralmente é solicitado para:
  - Refrigeração hidráulica e de máquinas;
  - Indústria de processamento; e
  - Indústria química, etc.

Um dos motivos para a popularidade dos sistemas de refrigeração indiretos são as exigências ambientais mais rígidas para o uso de fluidos refrigerantes primários (HCFC e HFC).

Os sistemas indiretos têm as seguintes vantagens e desvantagens, em relação ao sistemas diretos:

- Nos sistemas indiretos, o sistema de refrigeração pode ser projetado de modo bem compacto com uma carga de fluido refrigerante primário consideravelmente baixa, em geral cerca de 85% menor do que a usada em sistemas diretos;
- Todos os fluidos refrigerantes primários podem ser mantidos na casa de máquinas ou ao ar livre; o risco de liberação de fluidos refrigerantes no espaço ocupado é muito menor do que em sistemas diretos;
- Unidades de fábrica podem ser usadas e a instalação dos sistemas no local pode ser simplificada;

- Ao mesmo tempo, há redução na possibilidade de vazamentos, já que a produção em fábrica possibilita melhor controle de qualidade;
- Em algumas aplicações, como em sistemas de refrigeração em supermercados, os sistemas indiretos também oferecem condições mais estáveis de temperatura nos evaporadores; e
- A aplicação do sistema de refrigeração indireto também aumentou o uso de fluidos refrigerantes naturais como amônia e hidrocarbonetos para uso em *chillers* à base de água ou salmoura.

Desvantagens:

- Diferença adicional de temperatura do fluido refrigerante primário em relação ao fluido refrigerante secundário, e do fluido refrigerante secundário em relação à substância a ser refrigerada (ar, produto, fluido);
- Redução do coeficiente de desempenho;
- É preciso usar bombas adicionais para o fluido refrigerante secundário; e
- O projeto e as características restritivas de aplicação elevam os custos de materiais.

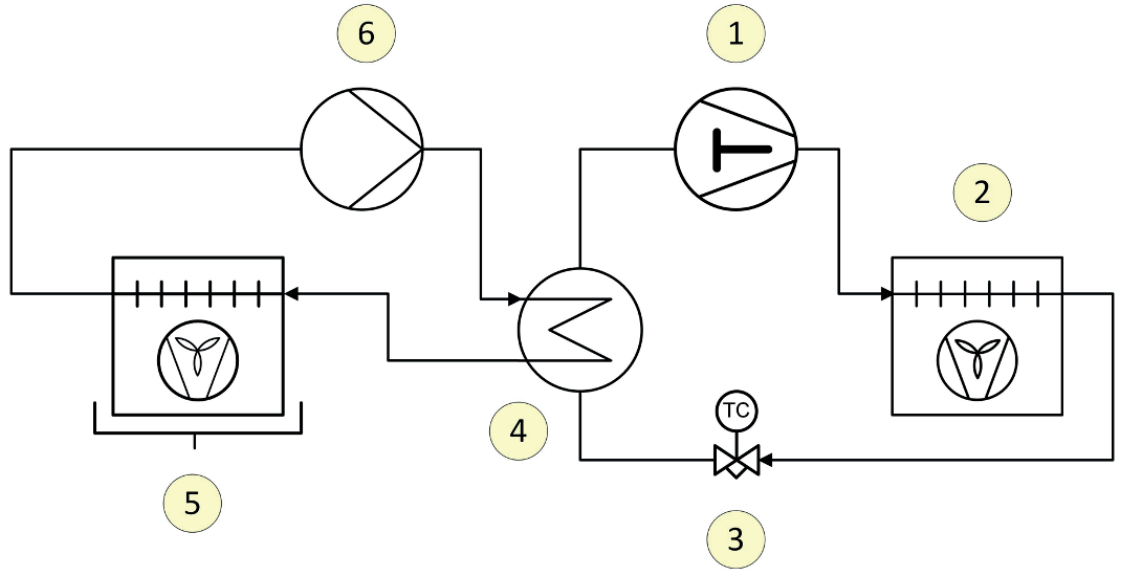
Atenção: fluidos refrigerantes primários com propriedades inflamáveis ou tóxicas, como amônia, hidrocarboneto, alguns HFCs/HFOs ou CO_2, devem ficar fora do espaço ocupado. Os circuitos de refrigeração secundários também foram projetados para reduzir ao máximo a carga de fluidos refrigerantes primários no circuito de refrigeração.

Na próxima seção, serão apresentadas algumas configurações do sistema de refrigeração indireto. Outras variações de sistema são possíveis, dependendo dos requisitos da aplicação.

Exemplo 1:

A Figura 48 mostra um sistema de refrigeração indireto com transferência direta de calor no condensador, e transferência indireta de calor no evaporador.

Figura 48 — Layout de um sistema de refrigeração indireto — indireto do lado "frio", direto do lado "quente"



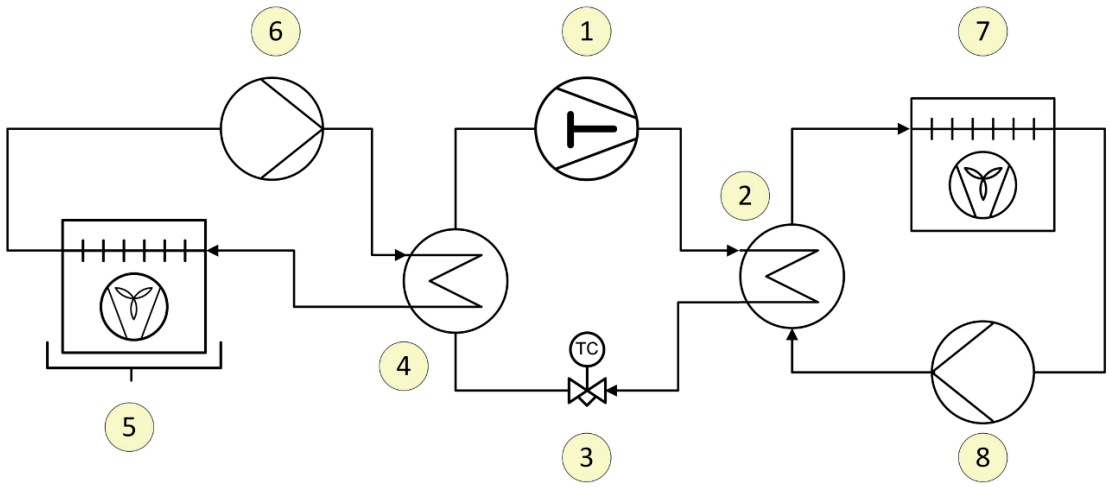
1	Compressor	4	Evaporador
2	Condensador	5	Refrigerador de ar
3	Dispositivo de expansão	6	Bomba para fluido de transferência de calor / frio

Fonte: Rolf Huehren.

Exemplo 2:

A Figura 49 mostra a configuração de um sistema de refrigeração indireto para evaporador e condensador.

Figura 49 — Layout de um sistema de refrigeração indireto — indireto do lado "frio" e indireto do lado "quente"



1	Compressor	5	Refrigerador de ar (*air cooler*)
2	Condensador	6	Bomba para refrigerar o fluido de transferência de calor
3	Dispositivo de expansão	7	Trocador de calor externo (*dry cooler*)
4	Evaporador	8	Bomba para fluido de transferência de calor de refrigeração do condensador

Fonte: Rolf Huehren.

4

Competências para o manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis

4. Competências para o manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis

Os sistemas de refrigeração, se não forem devidamente fabricados, instalados, operados e mantidos, podem representar perigo para a saúde e a segurança das pessoas e para a segurança das edificações e, também podem ser prejudiciais para o meio ambiente e elevar o consumo de energia.

Portanto, é essencial que as atividades de manutenção e reparo de um sistema ou peças associadas sejam realizadas por pessoal qualificado que tenha um certificado de competência (conforme a norma ISO 22712, ABNT NBR 17131).

As competências devem ser obtidas, embora não se limitem aos seguintes tópicos principais:

- Operação segura do sistema, com eficiência energética;
- Práticas de instalação;
- Comissionamento do sistema;
- Manuseio de fluidos refrigerantes;
- Teste de vazamento;
- Recolhimento e descarte de fluidos refrigerantes;
- Reparo, manutenção e serviço;
- Descomissionamento; e
- Cumprimento cuidadoso de regras e regulamentações, regulações de autoridades locais/nacionais e normas aprovadas de refrigeração.

As pessoas que trabalham em sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes inflamáveis devem ter competências adicionais específicas em aspectos de segurança no manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, com comprovação de que participaram dos devidos treinamentos. Isso inclui as seguintes exigências:

- Conhecimento da legislação, regulamentações e normas relacionadas a fluidos refrigerantes inflamáveis; e
- Conhecimento minucioso e habilidades no manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis, equipamentos de proteção individual, prevenção a vazamentos de fluidos refrigerantes, manuseio de cilindros, carga, detecção de vazamentos, recolhimento e descarte.

As pessoas competentes devem ser capazes de entender e aplicar na prática as exigências da norma. Pode haver necessidade de participação em outros treinamentos para manter essa expertise.

A manutenção regular que não exija trabalhos ou ajustes no sistema de refrigeração e não requeira conhecimento especializado sobre a engenharia da refrigeração pode ser feita por pessoas com as devidas competências.

De acordo com as normas, leis e regulamentações aplicáveis, a definição de competência é fornecida nos termos das respectivas normas, leis e regulamentações. Na realidade, a definição descreve basicamente a extensão das responsabilidades e o campo de aplicação.

4.1 EN 378, ISO 5149 e ABNT NBR ISO 5149

A finalidade da norma "Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Segurança e requisitos ambientais" é promover o projeto, a construção, o descarte, a instalação e a operação seguros para reduzir ao máximo os possíveis danos a pessoas, a propriedades e ao meio ambiente causados por sistemas de refrigeração e fluidos refrigerantes. Ela também cuida da segurança das pessoas e das propriedades próximas ao local onde as instalações de refrigeração se encontram. Ela inclui especificações para a fabricação de um sistema estanque.

As atividades a serem realizadas por pessoal competente referentes a sistemas de refrigeração estão descritas nas normas (veja também o Capítulo 5.2).

4.2 ISO 22712 e ABNT NBR 17131

A normal internacional ISO 22712 define as atividades relacionadas a sistemas de refrigeração conforme a EN 378 e a ISO 5149 e os respectivos perfis de competência, e estabelece procedimentos para avaliar a competência da mão de obra que realiza essas atividades. Essas atividades cobrem os setores específicos nos quais trabalham, desde o projeto original até a desmontagem final e o descarte. Como a descrição dos trabalhos (perfis de competências/categorias) varia de um país para outro, e de uma empresa para outra, esta norma especifica as atividades a serem realizadas. A descrição dos trabalhos deve especificar tais atividades. **Atividades referentes a eletricidade estão excluídas.**

A norma ISO 22712 define competência, qualificação e certificação da seguinte forma:

Competência

- Capacidade de realizar as atividades de modo seguro e satisfatório em uma ocupação;

Qualificação

- Evidência de determinado nível de competência profissional;

Certificação

- Procedimento usado para demonstrar a qualificação da mão de obra a um nível especificado que resulta na emissão de um certificado.

Com respeito à demanda de profissionais qualificados e competentes para diferentes atividades e especializações comuns (normas de competência especificadas por país e/ou perfil de competência especificado por empresa), é necessário classificar e distinguir, por exemplo, o pessoal semiqualificado, que talvez só realize atividades parciais temporárias e com nível mais baixo de competência, dos profissionais que ativamente planejam e realizam

tarefas com diferentes demandas de complexidade e gravidade. Nem toda pessoa empregada no setor de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R) precisa ter o mesmo nível de competência no trabalho, e é por isso que existe uma recomendação para dividir o pessoal certificado em quatro categorias com diferentes escopos de atividades autorizadas sob os critérios de certificação. Essas atividades cobrem os setores específicos nos quais trabalham, desde o projeto original até a desmontagem final e o descarte.

As categorias dois a quatro têm o mesmo nível de competência para inspecionar, analisar dados e parâmetros relevantes, fazer o diagnóstico correto, identificar operações anormais e/ou vazamentos, e usar todas as medidas especificadas dentro dos critérios de competência para evitar vazamentos e reparar, assim que possível, qualquer vazamento detectado. O manuseio de fluidos refrigerantes só é permitido nas categorias três e quatro. Para ver os detalhes das especificações, consulte a norma ISO 22712.

As categorias do pessoal qualificado estão listadas da seguinte forma:

- A primeira categoria representa pessoal semiqualificado em AVAC-R (BA);
- A segunda categoria representa técnicos de manutenção de AVAC-R e operadores de sistemas de AVAC-R (WK);
- A terceira categoria representa pessoal especializado em AVAC-R (FO);
- A quarta categoria representa engenheiros de AVAC-R (LE).

Profissionais semiqualificados (BA) estão autorizados a instalar componentes de AVAC-R, como aparelhos de ar condicionado do tipo split (IDU e ODU), de acordo com as recomendações de instalação do fabricante, e a fazer a instalação da tubulação do fluido refrigerante, tubulação de drenagem e outros trabalhos de preparação necessários para o comissionamento dos componentes previamente mencionados. O escopo de trabalho autorizado pode incluir a brasagem dos tubos de cobre. Não é permitido a eles manusear o fluido refrigerante nem entrar no circuito de refrigeração de sistemas de

AVAC-R. A certificação em brasagem seguindo a norma ISO 13585 é uma pré-condição para passar na avaliação teórica e prática. É preciso ter pelo menos um ano de experiência prática no campo.

Os profissionais em manutenção (WK) são contratados por uma empresa (fabricante, instalador, prestador de serviço ou revendedor) ou são operadores/donos de um sistema de AVAC-R e envolvidos em atividades como instalação, operação, manutenção e controle de vazamentos. Os profissionais em manutenção trabalham de acordo com os procedimentos da empresa que os contratam. É preciso ter pelo menos dois anos de experiência prática no campo.

Os profissionais em manutenção não possuem autorização para entrar no circuito de refrigeração. Só os especialistas em refrigeração (FO) e engenheiros de AVAC-R (LE) têm permissão para manusear fluidos refrigerantes.

Por exemplo: os profissionais em manutenção ou operadores de sistema (WK) não têm permissão para conectar um conjunto *manifold* em um sistema de refrigeração; se os profissionais em manutenção precisarem fazer a leitura das pressões, etc., o sistema deverá ter medidores permanentes instalados.

Qualquer acesso ao fluido refrigerante é considerado invasão do circuito.

Os especialistas em refrigeração (FO) fazem a instalação, comissionamento, inspeção, testes, operação, manutenção, reparo, descomissionamento e descarte de sistemas de refrigeração e de suas peças. Os especialistas em refrigeração trabalham de acordo com os procedimentos da empresa certificada e registrada que os contratam. É preciso ter pelo menos quatro anos de experiência prática no campo. Os especialistas em refrigeração têm permissão para manusear fluidos refrigerantes (lubrificantes, fluidos refrigerantes secundários, etc.). Além disso, a qualificação de especialista certificado em refrigeração deve ser o pré-requisito mínimo para que um profissional em AVAC-R seja autônomo e lidere as operações de uma empresa (ex.: serviço, manutenção, vendas, distribuição e instalação de sistemas de AVAC-R e equipamentos como ar condicionado do tipo split, câmaras frigoríficas, unidades *plug-in*, etc.).

Os engenheiros/as de refrigeração (LE) trabalham com o projeto e a construção de sistemas de refrigeração. Engenheiros/as de refrigeração trabalham de acordo com os procedimentos da empresa certificada e registrada que os contratam. É preciso ter pelo menos quatro anos de experiência prática no campo. A qualificação dos engenheiros/as de refrigeração certificados deve ser a realização de treinamentos frequentes (além do de FO) para demandas em tecnologias de AVAC-R e tarefas com maior complexidade e gravidade. Os engenheiros/as de refrigeração são responsáveis por montar um projeto de acordo com todas as normas válidas; também são responsáveis pela suficiência e exatidão da documentação e das etiquetas do sistema. Os engenheiros/as de refrigeração têm permissão para comprar e manusear fluidos refrigerantes (lubrificantes, fluidos refrigerantes secundários, etc.).

Você pode encontrar exemplos dos diversos critérios de avaliação para perfis específicos de competências nos Anexos A a F da norma ISO 22712:

Anexo A	Métodos de avaliação de competências (normativo);
Anexo B	Orientação para a aplicação da norma (normativo);
Anexo C	Exemplo de aplicação de fluidos refrigerantes HFC (informativo);
Anexo D	Exemplo de aplicação de amônia (R-717) (informativo);
Anexo E	Exemplo de aplicação de dióxido de carbono (R-744) (informativo);
Anexo F	Exemplo de aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis (informativo).

O Comitê 099 (CB-099) da ABNT desenvolveu uma norma nacional baseada na norma ISO 22712, mas com modificações para melhorar a aplicação dela no contexto brasileiro.

Sendo assim, as competências das quatro categorias de pessoal certificado foram mantidas, mas os nomes foram ajustados da seguinte maneira:

- **Nível básico de apreciação (BA)**: nível de conhecimento necessário para discutir os principais elementos da habilidade com outras pessoas;
- **Nível de conhecimento de trabalho (CT)**: nível de conhecimento necessário para envolvimento direto em decisões e ações;
- **Nível totalmente operacional (TO)**: nível de conhecimento e competência necessários para realizar a maioria das atividades pessoalmente;
- **Nível excelente/de vanguarda (EV)**: nível de conhecimento e competência necessários para desenvolvimento significativo da área de habilidade.

Em contraste com a ISO 22712, a norma brasileira ABNT NBR 17131[6] também dá exemplos de competências para o desempenho de tarefas relacionadas a eletricidade, componentes eletrônicos e automação para refrigeração e ar condicionado, e acrescenta um Anexo G informativo, além dos perfis específicos de competência já listados nos Anexos A a F, conforme citado anteriormente.

[6]ABNT NBR 17131: Sistemas de climatização e refrigeração — Certificação e qualificação de pessoas.

4.3 EN 50110

As responsabilidades atribuídas às pessoas pela segurança dos envolvidos em atividades de trabalho e daqueles que são ou podem ser afetados pela atividade de trabalho devem estar de **acordo com a legislação nacional**.

Todo o pessoal envolvido em uma atividade de trabalho em, com ou perto de uma instalação elétrica (praticamente aplicável a qualquer sistema de AVAC-R) deve ser orientado sobre os requisitos de segurança, as regras de segurança e as instruções da empresa relacionadas ao trabalho. Essas **instruções devem ser repetidas durante a realização do trabalho** nos casos em que a atividade seja de longa duração ou complexa.

O pessoal envolvido deve ser obrigado a cumprir esses requisitos, regras e instruções.

O pessoal deve se vestir adequadamente conforme os locais e condições nos quais trabalham. Isso pode incluir o uso de roupas justas ou de outros **EPIs** (equipamentos de proteção individual).

Antes do início de qualquer atividade no trabalho e durante a atividade, a pessoa designada que controla a atividade deve garantir que todos os requisitos, regras e instruções relevantes sejam cumpridos. A pessoa designada que controla a atividade de trabalho deve **instruir todas as pessoas envolvidas** nas atividades de trabalho sobre todos os perigos razoavelmente previsíveis, que não estejam aparentes imediatamente para elas. **Ninguém pode realizar uma atividade de trabalho na qual seja necessário ter conhecimento técnico ou experiência para evitar perigo ou lesão elétrica**, a menos que essa pessoa tenha conhecimento técnico ou experiência, ou que esteja sob a supervisão necessária para a realização do trabalho.

A legislação nacional pode estabelecer a idade mínima e os critérios de competência da mão de obra. Nos casos em que não haja requisitos nacionais para a competência, os seguintes critérios devem ser usados para avaliar a competência das pessoas:

- Conhecimento de eletricidade;
- Experiência com trabalhos elétricos;
- Conhecimento da instalação na qual vai trabalhar e experiência prática com esse tipo de trabalho;
- Conhecimento dos perigos que podem surgir durante o trabalho e das precauções a serem tomadas; e
- Capacidade de sempre reconhecer se é seguro continuar trabalhando.

A complexidade da atividade de trabalho deve ser avaliada antes do início da atividade, de modo que sejam feitas as escolhas apropriadas de mão de obra qualificada, instruída, ou de pessoas comuns para realizar aquele trabalho.

4.4 Portaria alemã sobre segurança industrial DGUV 100-500

4.4.1 Requisitos gerais para mão de obra competente

Mão de obra competente é alguém com conhecimento suficiente no campo da tecnologia de refrigeração com base em treinamento profissional e experiência, e que tenha familiaridade suficiente com as regulamentações estaduais relevantes sobre saúde e segurança, regulamentações sobre prevenção de acidentes e regras amplamente conhecidas de tecnologia para ser capaz de avaliar a condição de trabalho seguro dos sistemas de refrigeração. São, por exemplo: especialistas em RAC ou outras pessoas com treinamento especial para essa finalidade.

4.4.2 Operação de sistemas de RAC

DGUV 100-500 — Disposições gerais

A menos que especificado de outra forma, os requisitos desta seção se destinam a empregadores e pessoas com seguro (seguro legal contra acidentes).

Para sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes (conforme a norma EN 378 partes 1 a 4):

- Do grupo de segurança 1 até o peso de carga de 10 kg;
- Do grupo 2 até o peso de carga de 2,5 kg;
- Do grupo 3 até o peso de carga de 1 kg, as seções 3.2, 3.4, 3.5 e 3.6 não se aplicam.

DGUV 100-500 — Instrução, operação, manutenção

O empregador **deve orientar as pessoas seguradas, antes do início do primeiro trabalho e em intervalos pertinentes, de pelo menos uma vez por ano**, sobre o seguinte:

1. Os perigos envolvidos no manuseio de sistemas de refrigeração e equipamentos de refrigeração;
2. Regulamentações de segurança;
3. O que fazer em caso de acidente ou funcionamento incorreto, e as providências a serem tomadas.

O empregador só pode contratar pessoas com seguro em instalações de refrigeração e equipamentos de refrigeração ou em salas de máquinas se os segurados tiverem recebido orientação e tiverem condições de realizar suas tarefas com confiança.

DGUV 100-500 — 3.3 Instruções de operação

O empregador deve afixar uma versão resumida das instruções de operação próximo ao equipamento. A versão resumida para sistemas de refrigeração deve conter (consulte também a EN 378-2, cláusula 11.3):

1. Tipo de fluido refrigerante;
2. Peso da carga do fluido refrigerante;
3. Sobrepressão de operação permitida;
4. Instruções para iniciar e parar o sistema;
5. Instruções para desligamento de emergência;
6. Instruções de segurança para o fluido refrigerante;
7. Aviso sobre carga acidental com fluido refrigerante errado;
8. Aviso sobre congelamento a baixas temperaturas, em especial do condensador e do resfriador de água;
9. Aviso sobre o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs);
10. Instruções sobre como agir em caso de lesão (primeiros socorros).

DGUV 100-500 — Serviço

3.4.1	O empregador deve garantir que, antes de iniciado o trabalho de manutenção em peças que contêm fluido refrigerante, o fluido refrigerante seja removido, caso necessário, para que o trabalho seja realizado com segurança.
3.4.2	Devem ser tomadas as devidas precauções contra risco de incêndio durante a realização de trabalho a quente. São exemplos de trabalho a quente: trabalhos de retificação, corte, soldagem e brasagem.

	De acordo com as regras aplicáveis de "Operação dos equipamentos de trabalho", o trabalho a quente em sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes inflamáveis, lubrificantes ou material de isolamento só deve ser realizado mediante aprovação do empregador por escrito.
3.4.3	Se o fluido refrigerante no estado líquido for transferido para cilindros com dispositivo de bloqueio, eles só poderão ser colocados lá dentro de modo que um espaço de gás de 5% do volume do recipiente fechado permaneça na temperatura mais alta possível (veja também o Capítulo 19.2.2.9, referente à norma ABNT NBR ISO 5149).
3.4.4	O empregador deve assegurar que o *retrofit* de um sistema de refrigeração para outro fluido refrigerante seja realizado apenas por mão de obra competente.
3.4.5	A Seção 3.3 da Portaria se aplica a equipamentos de refrigeração, quando houver mudança para outro fluido refrigerante.
3.4.6	Não é permitido o uso de equipamentos com chama aberta para detectar vazamentos em peças que contêm fluido refrigerante.

DGUV 100-500 — Equipamentos de extinção de incêndio

O empregador deve assegurar que equipamentos adequados de extinção de incêndio estejam disponíveis em quantidades suficientes para uso em sistemas ou equipamentos contendo fluidos refrigerantes inflamáveis ou portadores de fluido refrigerante. Só podem ser usados agentes de extinção que não apresentem reação perigosa quando associados ao fluido refrigerante.

DGUV 100-500 - Equipamentos de proteção individual

O empregador é responsável por fornecer equipamentos de proteção individual contra a exposição a fluidos refrigerantes primários e secundários.

4.5 Regulamento europeu de gases F (gases fluorados de efeito estufa) 517/2014

O Regulamento de Execução Europeu 2015/2067, de acordo com o Regulamento Europeu 517/2014, estabelece na cláusula 11.03:

- Conhecer as regulamentações e normas de segurança relevantes para o uso, armazenamento e transporte de fluidos refrigerantes inflamáveis ou tóxicos, ou fluidos refrigerantes que exijam pressão de operação mais alta.

4.6 Exemplos de critérios de avaliação de competências para especialistas em RAC (extraídos da ISO 22712)

Os seguintes critérios de avaliação de competências estão listados para uso de fluidos refrigerantes inflamáveis. Os critérios listados com base na ISO 22712 são para fins de ilustração e não representam uma lista exaustiva.

Resultado do aprendizado O aluno irá...	**Critérios de avaliação** O aluno é capaz de...
I. Entender os requisitos específicos de segurança e da saúde ocupacional (SSO) e os requisitos ambientais que se aplicam à instalação, serviço, manutenção e descomissionamento de sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis.	• Conhecer as regulamentações e normas de segurança relevantes para o uso, armazenamento e transporte de fluidos refrigerantes inflamáveis ou tóxicos, ou fluidos refrigerantes que exijam pressão de operação mais alta. Isso inclui entender a legislação e as normas aplicáveis na região de operação, tais como ATEX, GHS, CLP, ADR, IATA, etc. • Conhecer influências ambientais do fluido refrigerante, como PDO, GWP, e CO_2 equivalente. • Citar e identificar as designações dos fluidos refrigerantes mais usados. • Identificar os perigos associados aos fluidos refrigerantes: inflamabilidade, baixo ponto de ebulição, asfixia (mais pesado que o ar), LII (limite inferior de inflamabilidade), LSI (limite superior de inflamabilidade), fontes de ignição, limites práticos, densidade, produtos de decomposição a altas temperaturas.

(Continuação)

Resultado do aprendizado O aluno irá...	**Critérios de avaliação** O aluno é capaz de...
	• Conhecer os requisitos específicos para óleos lubrificantes de refrigeração, como viscosidade, solubilidade, imiscibilidade, ponto de fulgor e de combustão, índice de neutralização, compatibilidade do elastômero. • Identificar os extintores de incêndio apropriados para trabalhar em sistemas de RAC. • Conduzir uma avaliação, ser capaz de demonstrar o uso e o manuseio, levando em conta as características de cada tópico, conforme mencionado.
II. Entender os procedimentos legislativos e organizacionais para a instalação, serviço, manutenção e descomissionamento de sistemas de AVAC-R.	• Citar as fontes adequadas de informações sobre saúde e segurança quando realizar instalação, reparo, manutenção e o descomissionamento de sistemas de RAC. • Citar as regulamentações, os códigos de conduta e as recomendações da indústria apropriadas para a instalação, o serviço, a manutenção e o descomissionamento de sistemas de RAC, e do trabalho com fluidos refrigerantes. • Saber as classificações de ocupação e as limitações de tamanho de carga para sistemas de refrigeração. • Dizer quais são as limitações de tamanho de carga para refrigeração e aquecimento que proporcionem conforto às pessoas para os sistemas de ar condicionado.
III. Entender as diferenças entre os sistemas de RAC que funcionam com fluidos refrigerantes relativas às classes de segurança (em especial A2L, A2 e A3).	• Identificar os recursos e componentes específicos do sistema que se aplicam a sistemas que usam gases inflamáveis: dispositivos elétricos, invólucros elétricos, dispositivos elétricos associados (incluindo sistemas de halocarbono), compressores (incluindo motor de arranque e respectivas peças elétricas). • Identificar os recursos e as características de sistemas críticos de carga, compatibilidade do óleo. • Falar sobre as propriedades, vantagens e desvantagens de fluidos refrigerantes inflamáveis, incluindo: — Consequências de vazamentos (diretas e indiretas); — Propriedades termodinâmicas; — Capacidade de refrigeração e eficiência energética; — Densidade; — HCs sem aditivo odorizante.

(Continuação)

Resultado do aprendizado O aluno irá...	**Critérios de avaliação** O aluno é capaz de...
	• Explicar por que os HCs não são adequados para *retrofit* em sistemas de halocarbono (CFCs, HCFCs, HFCs). • Explicar por que o HFC R-32 não é adequado para *retrofit* em sistemas HFC R-410. • Identificar aplicações típicas de sistemas de RAC que usam fluidos refrigerantes inflamáveis: integrais (sistemas *plug-in*), resfriadores de fluidos, sistemas de CO_2 em cascata em estágio alto, sistemas de ar condicionado do tipo split, *freezers* domésticos (isobutano).
IV. Entender os procedimentos para planejar e preparar o trabalho em sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis.	• Listar os requisitos para concluir uma avaliação de risco para trabalhar em sistemas de RAC. • Listar os requisitos para criar e fazer a manutenção de uma área de trabalho segura, incluindo requisitos para zoneamento temporário. • Identificar as ferramentas e os equipamentos apropriados para trabalhar com sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis.
V. Ser capaz de se planejar e se preparar para trabalhar em sistemas de RAC.	• Obter permissão para trabalhar (trabalho a quente, parte elétrica, gases inflamáveis). • Preencher uma avaliação de risco específica do local, usando um modelo de avaliação de risco dinâmico (LMRA — avaliação de risco de última hora). • Organizar e manter uma área de trabalho segura. • Selecionar as ferramentas, os equipamentos e os EPIs apropriados para trabalhar com sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis.
VI. Entender os requisitos específicos necessários para instalar e testar os sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis (exceto o R-717).	• Identificar a classe de ocupação. • Identificar a carga máxima de fluido refrigerante com base na classe de ocupação. • Calcular a carga máxima com base no limite prático. • Determinar a carga máxima do sistema específico, com base em cálculos. • Enunciar os métodos e procedimentos para: testes de integridade de resistência, testes de estanqueidade, testes de vazamento, evacuação e desidratação.

(Continuação)

Resultado do aprendizado O aluno irá...	**Critérios de avaliação** O aluno é capaz de...
	• Listar os requisitos para colocar etiquetas em sistemas de AVAC-R de forma segura. • Especificar as informações que devem ser fornecidas aos clientes, incluindo operação de sistemas e controles, usando apenas pessoal de serviço devidamente treinado, incluindo também restrições quanto à realocação de equipamentos. • Aconselhar o cliente sobre a necessidade de substituir ou fazer reparos em um ou mais componentes do sistema de RAC.
VII. Entender as diferenças entre os procedimentos de serviço e manutenção de fluidos refrigerantes classificados como A1, A2L, A2 e A3.	• Identificar os componentes apropriados de substituição para os seguintes itens: dispositivos elétricos, invólucros elétricos, dispositivos elétricos e compressores associados (incluindo o motor de arranque e a respectiva parte elétrica). • Explicar a importância de manter a integridade dos invólucros elétricos vedados. • Explicar os métodos apropriados para acessar e vedar os sistemas de RAC. • Especificar os requisitos para recolher fluidos refrigerantes HC, HFC e HFO, inclusive situações nas quais pode ser seguro liberar os fluidos refrigerantes para a atmosfera (HCs). • Listar os requisitos para o uso seguro de bombas de vácuo ao evacuar sistemas de HC.
VIII. Ser capaz de prestar serviço e fazer a manutenção de sistemas de RAC com fluidos refrigerantes inflamáveis.	• Calcular o peso seguro de cilindro para recolhimento (diferença de densidade entre HFCs e HCs) e a importância de evitar gases não condensáveis (GNCs), especificamente o ar. • Explicar a situação na qual o chamado "efeito diesel" pode ocorrer. • Conectar o equipamento em preparação para o recolhimento. • Recolher o fluido refrigerante com uma pressão prescrita. • Pressurizar o sistema com nitrogênio (OFDN) com uma pressão prescrita e liberar para a atmosfera. • Explicar a aplicação da "lei de Amontons" (ver capítulo 16.2.4) para testes de pressão com nitrogênio (OFDN). • Desconectar o componente específico sempre que possível. • Remover a brasagem de um componente específico, se necessário. • Fazer limpeza (*flushing*) do circuito de refrigeração com OFDN.

(Continuação)

Resultado do aprendizado O aluno irá...	**Critérios de avaliação** O aluno é capaz de...
	• Refazer a brasagem de um componente específico enquanto purgando nitrogênio pela tubulação. • Testar as juntas com pressão (contenção). • Evacuar a cerca de 500 mícrons. • Recarregar com peso especificado de fluido refrigerante. • Rodar o sistema e verificar a operação. • Remover os equipamentos de carga. • Vedar o sistema e completar o teste de vazamento com equipamentos adequados. • Preencher os registros do serviço conforme apropriado.
IX. Entender os procedimentos de descomissionamento para sistemas de RAC operando com fluidos refrigerantes inflamáveis.	• Identificar os procedimentos seguros para manuseio de materiais do sistema potencialmente perigosos, incluindo: fluidos refrigerantes HCs, fluidos refrigerantes HFCs, óleos lubrificantes, filtros. • Identificar sequências de trabalho para descomissionamento e fazer com que um sistema seja seguro conforme os procedimentos apropriados do setor.

Fonte: Rolf Huehren com base na ISO 22712

5

Regulamentações e normas para RAC

5. Regulamentações e normas para RAC

5.1 Regulamentações e regras técnicas

Em diversos países, os requisitos de regulamentação e autorização são estabelecidos para controlar o uso de substâncias perigosas e a aplicação delas em equipamentos de AVAC-R.

Abaixo, são fornecidos alguns exemplos dessas regulamentações:

517/2014/CE	Regulamento sobre gases fluorados causadores de efeito estufa **(regulamento europeu de gases F)**	O objetivo desse regulamento é proteger o meio ambiente reduzindo as emissões de gases fluorados causadores de efeito estufa.
2015/2067/CE	**Regulamento de execução para o regulamento europeu de gases F**	O regulamento descreve os requisitos mínimos e as condições para o reconhecimento mútuo para a certificação de pessoas físicas referente a equipamentos fixos de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração, e unidades de refrigeração de caminhões e reboques refrigerados contendo gases fluorados causadores de efeito estufa, e para a certificação de empresas referente a equipamentos fixos de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração contendo gases fluorados causadores de efeito estufa.
2014/68/CE	**Diretiva de equipamentos sob pressão (PED)**	Artigo 13 Grupo de fluido 1 Classificação de equipamentos sob pressão e fluidos conforme um nível crescente de perigos.

2006/42/CE	**Diretiva de máquinas (MD)**	Essa diretiva visa à livre circulação no mercado de máquinas e à proteção de trabalhadores e consumidores que usam essas máquinas. Ela define requisitos essenciais de saúde e segurança de aplicação geral, suplementados por uma série de requisitos mais específicos para determinadas categorias de máquinas.
2014/35/CE	**Diretiva de baixa tensão (LVD)**	A diretiva de baixa tensão (LVD) assegura que equipamentos elétricos dentro de certos limites de tensão forneçam um alto nível de proteção para cidadãos europeus. A diretiva cobre todos os equipamentos e componentes elétricos destinados ao uso com regime de tensão entre 50 e 1.000 V para corrente alternada, e entre 75 e 1.500 V para corrente contínua.
2014/34/CE	**Diretiva de produtos ATEX** (destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas)	Aplicação de substância inflamável. Esta diretiva dispõe sobre o alinhamento de leis dos Estados-Membros da União Europeia referentes a equipamentos e sistemas de proteção destinados ao uso em atmosferas potencialmente explosivas.
1999/92/CE	**Diretiva de local de trabalho ATEX**	Aplicação de substância inflamável. A diretiva contém requisitos mínimos para aumentar a proteção da saúde e da segurança de trabalhadores que possam correr risco em atmosferas explosivas, bem como critérios para a seleção de equipamentos e sistemas de proteção (Anexo 2 da diretiva). Os principais pontos são: — O dever de coordenação; — O documento de proteção contra explosão; — A classificação de locais onde as atmosferas explosivas possam estar presentes (Anexo 1 da diretiva).

1272/2008/CE	**Sobre a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (CLP)**	Transporte de substâncias e misturas. O regulamento CLP contém requisitos uniformes para a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias químicas e misturas. Substâncias radioativas, cosméticos, produtos medicinais e dispositivos médicos, bem como alimentos, estão excluídos.
TRBS (Alemanha)	Regras técnicas para a segurança industrial	As regras técnicas para a segurança industrial refletem o que há de mais avançado em regras referentes a medicina ocupacional e higiene ocupacional, além de outras descobertas científicas ocupacionais para a provisão e uso de equipamentos de trabalho e para a operação de sistemas que demandam monitoramento.
TRGS (Alemanha)	Regras técnicas para substâncias perigosas	As regras técnicas para substâncias perigosas refletem o que há de mais avançado em tecnologia, segurança e saúde ocupacional, e higiene ocupacional, além de outros conhecimentos sólidos científicos sobre trabalhos relacionados a atividades que envolvem substâncias perigosas, incluindo a classificação e a rotulagem dessas substâncias.
Requisito para autorização	Aplicável em muitos países, conforme a legislação nacional.	Exemplo 1: Lei federal de controle de emissões para a Alemanha (BImSchG); carga de amônia > 3.000 kg. Exemplo 2: Portaria regulando incidentes perigosos na Suíça; carga de amônia > 2.000 kg.
Lei do Ar Limpo (CAA) dos EUA	A Lei do Ar Limpo é a principal lei federal de qualidade do ar dos Estados Unidos, destinada a reduzir e a controlar a poluição atmosférica em âmbito nacional.	A Lei do Ar Limpo é administrada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), em coordenação com governos estaduais, municipais e tribais. A EPA desenvolve extensa regulamentação administrativa para fazer valer o que está na lei.

Fonte: Rolf Huehren.

5.2 Normas

Dependendo do país e das circunstâncias, há uma grande quantidade de normas de segurança, códigos de conduta e diretrizes do setor para auxiliar os diversos setores industriais na aplicação segura de fluidos refrigerantes inflamáveis, de maior toxicidade e alta pressão.

Em princípio, a norma é um documento que especifica requisitos para produtos, serviços ou processos. Ela oferece clareza sobre as características deles, facilita a livre circulação de bens e promove as exportações. As normas respaldam a racionalização e a garantia de qualidade nos negócios, na tecnologia, na ciência e na administração. Elas cuidam da segurança das pessoas e de bens, bem como da melhoria de qualidade em todas as áreas da vida.

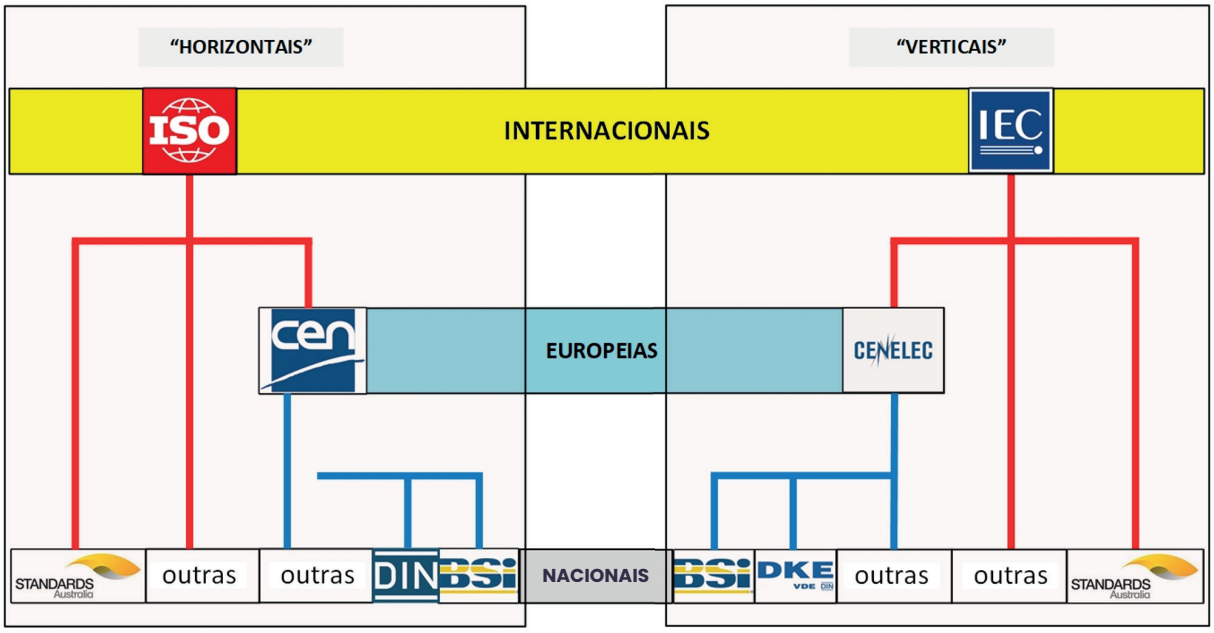
As normas são desenvolvidas por quem depois vai aplicá-las. Em princípio, qualquer pessoa pode enviar uma solicitação de padronização. Todas as partes interessadas no assunto têm a oportunidade de participar e contribuir com seu conhecimento. Antes da adoção, um projeto da norma é publicado e fica aberto a discussões. Em princípio, os especialistas envolvidos devem chegar a um acordo sobre o conteúdo final. As normas passam por uma revisão a cada cinco anos pelo menos, para conformidade com as condições mais avançadas.

A aplicação das normas é voluntária. As normas só são vinculantes quando passam a fazer parte de contratos, ou quando o legislador obriga ao cumprimento da norma. Elas não representam uma "carta branca" no caso de possível responsabilização. A aplicação de normas, como códigos de conduta amplamente aceitos, facilita a comprovação da conformidade.

Cerca de 85% de todos os projetos de normas hoje em dia se baseiam em normas europeias ou internacionais (DIN, 2020). As normas internacionais representam uma linguagem técnica em comum entre parceiros comerciais e, assim, promovem o comércio global e conformidade geral na segurança e tecnologia do produto.

Para as partes ou pessoas envolvidas, as normas de segurança (e códigos de conduta do setor) são desenvolvidas para fornecer uma interpretação mais prática das orientações fornecidas em regulamentações e tratados internacionais. Às vezes elas são desenvolvidas para tipos específicos de equipamentos ou aplicações (as chamadas "normas verticais" ou "normas de produtos"), enquanto outras vezes elas são mais genéricas e com uma abordagem holística ("normas horizontais"), como a EN 378, a ISO 5149 e a ABNT NBR ISO 5149 (veja a Figura 50).

Figura 50 — Normas de segurança desenvolvidas por vários órgãos de padronização



Fonte: Daniel Colbourne.

As normas de segurança são desenvolvidas em âmbito internacional (ISO, CEN, IEC, CENELEC), regional (EN na Europa, BS no Reino Unido) e nacional (ABNT no Brasil). As principais normas internacionais e regionais que afetam o projeto, a construção, a aplicação e o descomissionamento de aparelhos e sistemas de acordo com o fluido refrigerante selecionado estão listadas na Tabela 14, na sequência, junto com os respectivos setores e aplicações.

Os principais tópicos dentro das normas de segurança de AVAC-R são os seguintes:

1. Classificação de fluidos refrigerantes, ocupação, sistemas;
2. Tamanho da carga do fluido refrigerante — limites;
3. Projeto seguro, construção e testes de componentes e tubulações;
4. Projeto seguro, construção e testes de conjuntos (sistemas);
5. Segurança elétrica, fontes de ignição;
6. Áreas de instalação, posicionamento, tubulação, ventilação mecânica, detecção de gás, comissionamento, descomissionamento;
7. Instruções, manuais, placas de identificação de sistemas;
8. Manuseio do fluido refrigerante; e
9. Definição de competências e critérios de avaliação.

Tabela 14 — Escopo de áreas de aplicação das normas internacionais

Normas	Setores							
	Refrigeração doméstica	Refrigeração comercial	Refrigeração industrial	Refrigeração para transporte	Aparelho de ar condicionado (refrigeração/ aquecimento)	Bombas de calor para aquecimento de água	*Chiller*	Ar condicionado automotivo
IEC 60335-2-24	X							
IEC 60335-2-40					X	X	X	
IEC 60335-2-89		X						
ISO 5149 partes 1 a 4 / ABNT NBR ISO 5149 partes 1 a 4		X	X	X	X	X	X	
EN 378 partes 1 a 4		X	X	X	X	X	X	
ISO 13043								X
ISO 817	X	X	X	X	X	X	X	
ISO 22712 e ABNT NBR 17131	X	X	X	X	X	X	X	
EN 50110-1	X	X	X	X	X	X	X	
ISO 13585	X	X	X	X	X	X	X	
EN 1861	X	X	X	X	X	X	X	
Handbook of Fundamentals (manual de princípios básicos) da Sociedade Americana (ASHRAE, 2021)					X	X		

Fonte: HEAT GmbH.

A Tabela 15 mostra uma lista de normas e códigos de conduta, e cita o título oficial para o uso específico e o escopo geral de cada documento. Ela dá uma visão geral não exaustiva das respectivas normas para a aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Tabela 15 — Lista de normas aplicáveis de AVAC-R (resumo)

EN 378-1	Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Requisitos ambientais e de segurança Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção. A revisão realizada em 2019 considera a adaptação do Anexo D "Inspeções periódicas" ao Regulamento europeu de gases F (gases fluorados de efeito estufa).
EN 378-2	Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Requisitos ambientais e de segurança Projeto, construção, testes, marcação e documentação
EN 378-3	Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Requisitos ambientais e de segurança Proteção do pessoal e do local de instalação
EN 378-4	Sistemas de refrigeração e bombas de calo— - Requisitos ambientais e de segurança Operação, manutenção, reparos e regeneração
ISO 5149 (Partes 1-4)	Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Requisitos ambientais e de segurança (quase equivalente à norma EN 378)
ABNT NBR ISO 5149 (Partes 1-4)	Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Requisitos ambientais e de segurança (equivalente à ISO 5149 e quase equivalente à norma EN 378)
ABNT NBR 16069	Segurança em sistemas frigoríficos
ISO 817	Fluidos refrigerantes - Designação e classificação de segurança
ABNT NBR 16666	Fluidos refrigerantes - Designação e classificação de segurança
DIN 8941:1982-01	Símbolos e unidades de refrigeração

(Continuação)

IEC 60335-2-24	Aparelhos eletrodomésticos e similares Segurança Parte 2-24: Requisitos específicos para aparelhos de refrigeração, e para máquinas de fazer sorvete e gelo Essa norma internacional aborda a segurança dos seguintes aparelhos, com tensão nominal não superior a 250 V para aparelhos monofásicos, 480 V para outros aparelhos e 24 VDC para aparelhos operados com bateria: • Aparelhos de refrigeração para uso doméstico e usos parecidos; • Máquinas de fazer gelo que possuem um motocompressor e máquinas de fazer gelo destinadas a compartimentos de armazenamento de comida congelada; • Aparelhos de refrigeração e máquinas de fazer gelo para uso em acampamentos, caravanas de turismo e barcos de recreação. Esses aparelhos podem ser operados na rede elétrica, com uma bateria separada, ou alternando entre a rede elétrica ou uma bateria separada. Essa norma também cobre a segurança de máquinas de fazer sorvete destinadas ao uso doméstico, com tensão nominal não superior a 250 V para aparelhos monofásicos e 480 V para outros aparelhos. Ela também cobre aparelhos que usam compressão destinados ao uso doméstico e similar, que usam fluidos refrigerantes inflamáveis. Essa norma não cobre recursos de fabricação e operação desses aparelhos de refrigeração que são abordados nas normas ISO. Os aparelhos não destinados ao uso doméstico comum, mas que podem ser fonte de perigo para o público, como aparelhos destinados ao uso por pessoas leigas em lojas, na indústria leve e em fazendas, estão dentro do escopo dessa norma.
IEC 60335-2-40	Aparelhos eletrodomésticos e similares Segurança Parte 2-40: Requisitos específicos para bombas de calor elétricas, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores Essa norma lida com a segurança de bombas de calor elétricas, aparelhos de ar condicionado e bombas sanitárias de calor que usam água quente, incorporando motocompressores bem como unidades de ventiloconvectores com sistema hidrônico, desumidificadores (com ou sem motocompressores), bombas de calor termoelétricas e unidades parciais. A tensão nominal não é superior a 300 V para aparelhos monofásicos, e 600 V para aparelhos multifásicos. Os aparelhos não destinados ao uso doméstico comum, mas que podem ser fonte de perigo para o público, como aparelhos destinados ao uso por pessoas leigas em lojas, na indústria leve e em fazendas, estão dentro do escopo dessa norma.

(Continuação)

IEC 60335-2-40	Os aparelhos mencionados acima podem consistir em um ou mais conjuntos produzidos na fábrica. Se forem fornecidos em mais de um conjunto, os conjuntos separados são usados juntos, e os requisitos se baseiam no uso do respectivo conjunto. Essa norma não leva em conta fluidos refrigerantes além dos grupos A1, A2L, A2 e A3, conforme estabelecido pela ISO 817. Tanto quanto for prático, essa norma lida com os perigos comuns apresentados por aparelhos encontrados em uso normal e pressupõe que a instalação, o serviço, o descomissionamento e o descarte são feitos de modo seguro por mão de obra competente e que a liberação de fluidos refrigerantes é evitada. Porém, ela não prescreve os critérios para garantir a competência da mão de obra durante a instalação, o serviço e o descarte. Os requisitos de segurança durante o descarte não estão especificados nessa norma. O Anexo HH da norma estabelece os requisitos informativos sobre a competência da mão de obra.
IEC 60335-2-89	Aparelhos eletrodomésticos e similares Segurança Parte 2-89: Exigências específicas para aparelhos de refrigeração comercial com uma unidade condensadora do fluido refrigerante incorporada ou remota, ou com um compressor Essa norma especifica os requisitos de segurança para aparelhos de refrigeração comercial operados eletricamente e máquinas de fazer gelo que possuem um motocompressor incorporado ou que são fornecidas em duas unidades para a montagem como um único aparelho de acordo com as instruções (sistema do tipo split). Exemplos de aparelhos que estão dentro do escopo dessa norma: • Expositor refrigerado e gabinetes refrigerados de armazenamento; • Gabinetes refrigerados do tipo carrinho; • Balcões de serviço e balcões *self-service*; • Ultracongeladores; • Máquinas comerciais de fazer gelo. Tanto quanto for prático, essa norma lida com os perigos comuns apresentados por esses tipos de aparelhos, incluindo os que usam fluidos refrigerantes inflamáveis e aparelhos que usam fluido refrigerante R-744. Essa norma internacional não se aplica a aparelhos com massa de fluido refrigerante inflamável superior aos limites especificados na cláusula 22.110 ou a aparelhos que usam fluidos refrigerantes com classificação de toxicidade B conforme a ISO 817. Ela não cobre recursos de fabricação e operação de aparelhos de refrigeração que são abordados nas normas ISO.

(Continuação)

ISO 12100	Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de risco A norma especifica a terminologia básica, os princípios e a metodologia para ter segurança no projeto do maquinário. Ela especifica os princípios de avaliação de risco e redução de risco para ajudar os projetistas a alcançar esse objetivo. Esses princípios se baseiam no conhecimento e na experiência do projeto, uso, incidentes, acidentes e riscos associados ao maquinário. São descritos os procedimentos para identificar os perigos e estimar e avaliar os riscos durante as fases relevantes do ciclo de vida da máquina, e para a eliminação de perigos ou redução suficiente de riscos. É fornecida orientação sobre a documentação e a verificação da avaliação de risco e do processo de redução de riscos.
ABNT NBR ISO 12100	Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de risco (Equivalente à norma ISO 12100)
ISO 14903	Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Procedimento de verificação da vedação de componentes e das juntas Esse documento fornece o procedimento de qualificação para a aprovação de estanqueidade da vedação hermética e dos componentes fechados, juntas e peças usadas em sistemas de refrigeração e bombas de calor, conforme descrito nas partes relevantes da ISO 5149. Os componentes, juntas e peças fechados e vedados em questão são, em particular, os acessórios, os discos de ruptura, e os conjuntos flangeados ou encaixados. A estanqueidade da tubulação flexível fabricada com material não metálico é coberta na ISO 13971. Os tubos flexíveis de metal são cobertos por esse documento. Os requisitos contidos nesse documento são aplicáveis a juntas de DN 50 no máximo, e a componentes de volume interno de no máximo 5 l, com peso máximo de 50 kg.
EN 1127-1	Atmosferas explosivas - Prevenção de explosão e proteção contra explosão - Parte 1: Conceitos básicos e metodologia Essa norma é importante tanto para fabricantes quanto para operadores de máquinas, equipamentos, instalações e sistemas na área de proteção contra explosões. Assim que substâncias, materiais e as condições derem margem a uma atmosfera potencialmente explosiva, deve-se aplicar a metodologia de avaliação de risco e redução de risco. Isso inclui a consideração de incidentes.

(Continuação)

IEC 60079-0	Atmosferas explosivas - Parte 0: Equipamentos - Requisitos gerais Essa norma especifica os requisitos gerais para construção, teste e marcação de equipamentos e componentes à prova de explosão destinados ao uso em atmosferas explosivas. As condições atmosféricas padrão (referentes às características de explosão da atmosfera), sob as quais se pode pressupor que os equipamentos à prova de explosão podem operar, são: • Temperatura —20 °C a +60 °C; • Pressão 80 kPa (0,8 bar) a 110 kPa (1,1 bar); e • Ar com nível normal de oxigênio, geralmente 21% v/v. Essa parte da IEC 60079 e outras normas que a suplementam especificam os requisitos adicionais de testes para equipamentos à prova de explosão, que operam fora do intervalo padrão de temperatura. Mas pode ser necessário fazer mais considerações e mais testes para equipamentos à prova de explosão, que operem fora do intervalo padrão da pressão atmosférica e do nível de oxigênio padrão. Esses outros testes podem ser de especial relevância com relação aos tipos de proteção que dependem da extinção de uma chama, como "invólucros à prova de explosão d" (IEC 60079-1) ou limitação de energia, "segurança intrínseca i" (IEC 60079 -11).
IEC 60079-10-1	Atmosferas explosivas - Parte 10-1: Classificação de áreas - Atmosferas de gás explosivo Essa norma se refere à classificação de áreas nas quais possam surgir perigos oriundos de gás ou vapor inflamável e pode ser usada como base para respaldar o projeto, a construção, a operação e a manutenção apropriados dos equipamentos para uso em áreas perigosas. Ela se destina a casos nos quais possa haver um perigo de ignição devido à presença de gás ou vapor inflamável, misturado com o ar, mas não se aplica a: a. Minas suscetíveis à presença de grisu; b. Processamento e fabricação de explosivos; c. Falhas catastróficas ou falhas raras de funcionamento que estão além do conceito de normalidade coberto por essa norma; d. Salas usadas para finalidades médicas; e. Instalações domésticas; f. Onde possa surgir um perigo devido à presença de poeiras combustíveis ou partículas combustíveis, mas os princípios podem ser utilizados na avaliação de uma mistura híbrida. Névoas inflamáveis podem se formar ou estar presentes ao mesmo tempo que vapor inflamável. Em um caso desses, a aplicação estrita dos detalhes desse documento pode não ser apropriada. Névoas inflamáveis também podem se formar quando líquidos que não são considerados perigosos, devido ao alto ponto de fulgor, acabam sendo liberados sob pressão. Em casos assim, as classificações e os detalhes fornecidos nesse documento não se aplicam.

(Continuação)

IEC 60079-14	Atmosferas explosivas - Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas Essa norma contém os requisitos específicos para o projeto, seleção, montagem e inspeção inicial de instalações elétricas em atmosferas explosivas ou associadas a elas. Nos casos em que sejam necessários equipamentos para atender a outras condições ambientais, como proteção contra a entrada de água e resistência a corrosão, podem ser necessários outros requisitos de proteção. Os requisitos dessa norma se aplicam somente ao uso de equipamentos sob as condições atmosféricas padrão definidas na IEC 60079-0. Para outras condições, pode ser necessário tomar precauções adicionais, e o equipamento deve ter certificação para essas outras condições. Por exemplo: a maioria dos materiais inflamáveis e muitos materiais que são normalmente vistos como não inflamáveis podem queimar vigorosamente sob condições de enriquecimento de oxigênio. Esses requisitos são complementares aos requisitos para instalações em áreas não perigosas. Essa norma se aplica a todos os equipamentos elétricos, incluindo fixos, portáteis, transportáveis e pessoais, além de instalações, permanentes ou temporárias. Essa norma não trata dos riscos tóxicos associados a gases, líquidos e poeiras inflamáveis em concentrações que costumam ficar muito abaixo do limite explosivo inferior. Em locais nos quais o pessoal fique exposto a concentrações potencialmente tóxicas de material inflamável, devem ser tomadas as devidas providências. Tais precauções estão fora do escopo dessa norma.
IEC60079-15	Atmosferas explosivas - Proteção de equipamento por tipo de proteção “n” Essa parte da IEC 60079 especifica os requisitos para a construção, teste e marcação de aparelhos elétricos do Grupo II por tipo de proteção “n” destinada a uso em atmosferas com gás explosivo. Essa norma se aplica a aparelhos elétricos que não geram faísca e a aparelhos elétricos com peças ou circuitos que produzem arcos ou faíscas ou que tenham superfícies quentes que, se não forem protegidas de uma das maneiras especificadas nessa norma, poderiam provocar a ignição de uma atmosfera de gás explosivo no entorno.
IEC 60079-17	Atmosferas explosivas - Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas Essa norma se aplica a usuários e cobre fatores diretamente relacionados à inspeção e manutenção de instalações elétricas apenas dentro de áreas perigosas, nas quais o perigo possa ser causado por gases, vapores, névoas, poeiras, fibras ou partículas inflamáveis. Ela não inclui: • Outros requisitos fundamentais de instalação e inspeção para instalações elétricas; • A verificação de equipamentos elétricos; • O reparo e a recuperação de equipamentos protegidos contra explosão (consulte a IEC 60079-19). Essa norma suplementa os requisitos da IEC 60364-6. No caso de poeiras, fibras ou partículas, o nível de limpeza e organização pode influenciar os requisitos de inspeção e manutenção. Essa norma se destina à aplicação onde possa haver risco devido à presença de gás ou misturas de poeira explosivas com o ar ou camadas de poeira combustível sob condições atmosféricas normais.

(Continuação)

IEC 60079-29-1	Atmosferas explosivas - Parte 29-1: Detectores de gás — Requisitos de desempenho de detectores para gases inflamáveis Essa norma especifica requisitos gerais para a construção, teste e desempenho, e descreve os métodos de teste que podem ser aplicados a equipamentos portáteis, transportáveis e fixos para a detecção e medição de concentrações de gás ou vapor inflamável com o ar. Os equipamentos ou respectivas peças se destinam ao uso em atmosferas explosivas e em minas suscetíveis à presença de grisu.
EN 13306	Manutenção — Terminologia de manutenção A finalidade dessa norma europeia é definir os termos básicos para todos os tipos de manutenção e gerenciamento de manutenção, seja qual for o tipo de objeto considerado. A manutenção apenas do software não tem cobertura conceitual nessa norma. No entanto, a manutenção de objetos e sistemas que contêm software é considerada nessa norma. Termos separados não são definidos nessa norma. É de responsabilidade de cada gerência de manutenção definir sua própria estratégia de manutenção de acordo com os seguintes objetivos principais: • Assegurar a disponibilidade do objeto na função exigida pelo custo mais favorável; • Cumprir os requisitos de segurança, mão de obra, ambientais e todos os demais requisitos obrigatórios associados ao objeto; • Observar todas as influências sobre o meio ambiente; • Fazer a manutenção da durabilidade do objeto e/ou da qualidade dos produtos fornecidos ou dos serviços recebidos, levando em consideração os custos.
EN 50110-1	Operação das instalações elétricas - Parte 1: Requisitos gerais Essa norma se aplica a todas as operações e atividades de trabalho com ou na proximidade de instalações elétricas. Trata-se de instalações elétricas operando desde tensões extrabaixas até altas tensões. • Extrabaixa tensão (EBT) - normalmente não ultrapassa 50 V de corrente alternada (CA) ou 120 V de corrente contínua (CC) sem ondulação, seja entre condutores ou para a terra. • Baixa tensão (BT) - normalmente não ultrapassa 1.000 V CA ou 1.500 V CC. • Alta tensão (AT) - normalmente não ultrapassa 1.000 V CA ou 1.500 V CC.
EN 1861	Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação - layout e símbolos Essa norma especifica regras de símbolos e desenhos para diagramas de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação a serem usados para sistemas de refrigeração, incluindo bombas de calor. Esses diagramas de fluxo representam a estrutura e a função do sistema de refrigeração e fazem parte de toda documentação técnica necessária para o projeto, construção, instalação, comissionamento, operação, manutenção e descomissionamento de um sistema de refrigeração. Essa norma não se aplica a sistemas de refrigeração nos quais o calor é extraído por um circuito elétrico, como, por exemplo, efeito Peltier.

(Continuação)

ISO 45001	Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional — Requisitos com orientações de uso Reduza o risco de lesões, acidentes e doenças relacionadas ao trabalho em sua empresa. As lesões e doenças relacionadas ao trabalho representam um fardo significativo tanto para os empregadores quanto para a economia como um todo. Iniciativas de sustentabilidade podem evitar isso. Elas asseguram que os funcionários trabalhem com mais segurança e que sejam mais saudáveis, ao mesmo tempo elevando os lucros da empresa.
ISO 7730	Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação analítica e interpretação do conforto térmico utilizando o cálculo dos índices VME e PEI e critérios de conforto térmico local A norma descreve procedimentos que podem ser usados para prever a sensação térmica humana geral e o grau de desconforto (insatisfação térmica) das pessoas expostas a um ambiente de clima moderado. Ela possibilita a determinação analítica e interpretação do conforto térmico calculando os índices VME (voto médio estimado) e PEI (porcentagem estimada de insatisfeitos) e os critérios de conforto térmico local descrevendo as condições ambientais consideradas aceitáveis para o conforto térmico geral, bem como desconforto local. A norma se aplica a pessoas saudáveis expostas a um ambiente interno no qual a ideia é chegar a uma sensação de conforto térmico, ou no qual ocorrem desvios moderados do estado de conforto, no projeto de novos ambientes ou na adaptação a ambientes já existentes. Embora essa norma tenha sido criada para ambientes de trabalho, ela também pode ser aplicada a qualquer outro tipo de ambiente.

Fonte: Rolf Huehren.

As normas de segurança de AVAC-R abordam uma ampla gama de perigos associados a sistemas e equipamentos de RAC. Aspectos relacionados à segurança dos fluidos refrigerantes representam uma proporção desses perigos e dos respectivos requisitos de projeto, construção e manuseio. A Tabela 16 resume os tópicos importantes cobertos pelas normas de segurança de AVAC-R que são afetados pela escolha do fluido refrigerante.

Tabela 16 — Resumo das normas de segurança mais relevantes de AVAC-R

Categoria	IEC 60335-2-24	IEC 60335-2-89	IEC 60335-2-40	ISO 5149-1, -2, -3, -4 (ABNT NBR ISO 5149-1, -2, -3, -4) EN 378-1, -2, -3, -4
Escopo	Refrigeradores, máquinas de fazer gelo e *freezers* domésticos.	Aparelhos comerciais do tipo *plug-in* e gabinetes com uma unidade condensadora e um único compressor.	Aparelhos de ar condicionado completos, bombas de calor, desumidificadores, e unidades parciais, manufaturados em fábrica.	Todos os sistemas comerciais e industriais de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração.
Limites na quantidade de carga do fluido refrigerante	Fluido refrigerante inflamável 150g. Sem limite para R-744. R-717 fora de escopo.	Fluido refrigerante inflamável A3 - 500g. A2L - 1,2 kg. Sem limite para R-744. R-717 fora de escopo.	A3 - Cerca de 1 kg de HC em um sistema direto interno (conforme o tamanho da sala) e 5 kg externo ou em invólucro especial. A2L até 7,5 kg. Sem limite para R-744. R-717 fora de escopo.	1 kg, 1,5 kg, 5 kg, 10 kg, 25 kg de HC e sem limite, conforme o tipo de sistema e/ou tamanho da sala. Sem limite para R-744, ou limitado pelo tamanho da sala. Sem limite para R-717 se estiver do lado de fora ou em casa de máquinas.
Marcação	Requer símbolos de aviso de inflamabilidade ou de alta pressão, conforme o caso.			
Resistência de pressão	Especifica os testes de pressão para sistemas e componentes (onde aplicável).			
Equipamentos elétricos	Especifica os requisitos de projeto, construção e testes.			Refere-se às normas apropriadas.
Fontes de ignição	Descreve o que deve ser levado em conta e como evitar uma possível fonte de ignição, incluindo uma opção de método de teste.			

(Continuação)

Informações e instruções	Detalhes sobre instalação, uso, serviço, manutenção e descarte de equipamentos de modo que usuários, operadores e técnicos/as tenham consciência sobre como lidar com perigos de inflamabilidade.	
Estanqueidade do sistema	De modo geral, os sistemas devem ser construídos como "vedados" ou "hermeticamente vedados" se forem usar fluidos refrigerantes inflamáveis em ambientes internos (isto é, sem uso ou com uso limitado no número de conexões ou acessórios mecânicos reutilizáveis).	
Dispositivos de limitação/ alívio de pressão	A necessidade de dispositivos adicionais para limitar ou aliviar a pressão em excesso pode se aplicar a sistemas menores se forem usados fluidos refrigerantes inflamáveis.	
Sistemas secundários/ indiretos	Componentes adicionais para circuitos secundários ou indiretos (como os que usam água ou salmoura) são exigidos para ventilar algum vazamento que venha a ocorrer do evaporador para dentro de um circuito secundário caso o circuito de refrigeração primário ultrapasse determinado tamanho de carga.	
Sensores de gás	N/A	Sensores de gás podem ser obrigatórios para iniciar medidas de mitigação como ventilação, alarmes, terminações de fontes elétricas, etc. Eles podem ser aplicáveis a sistemas que usam fluidos refrigerantes inflamáveis em salas de máquinas ou mesmo para sistemas em espaços ocupados.
Construção de salas de máquinas ou invólucros ventilados	N/A	As salas de máquinas ou invólucros especiais podem ter determinados requisitos se forem usados fluidos refrigerantes inflamáveis, como quantidade e abertura de portas, resistência das paredes ao fogo, índice de estanqueidade e fluxo mínimo de ar, etc.

Fonte: HEAT GmbH.

6

Classificações de segurança de fluidos refrigerantes (inflamáveis) para transporte e uso

6. Classificações de segurança de fluidos refrigerantes (inflamáveis) para transporte e uso

Qualquer veículo de serviço usado no trabalho diário para a instalação e reparos de aparelhos/sistemas de AVAC-R precisa transportar gases técnicos, incluindo:

- Uma série de fluidos refrigerantes;
- Gases inflamáveis como acetileno e GLP para brasagem e solda;
- Oxigênio; e
- Nitrogênio.

As pessoas responsáveis (proprietários de empresas ou especialistas em refrigeração) têm que considerar os requisitos regulatórios para o transporte de produtos perigosos. As regulamentações e normas nacionais devem ser revistas e aplicadas. Além disso, existem inúmeros requisitos regulatórios internacionais, que costumam ser incorporados às regulamentações nacionais.

Os seguintes requisitos regulatórios são relevantes:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por estrada (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre;
- Regulamento para transporte internacional de mercadorias perigosas por trilho (RID) em transporte ferroviário;
- Código marítimo internacional de produtos perigosos (IMDG) para navegação internacional;

- Instruções técnicas para o transporte seguro de artigos perigosos por via aérea (OACI-IT), publicadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Elas são assumidas pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) com os Regulamentos de produtos perigosos da IATA (IATA-DGR);

- O regulamento REACH da União Europeia foi adotado para melhorar a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra riscos decorrentes de substâncias químicas, ao mesmo tempo aumentando a competitividade da indústria química na União Europeia. Ele também propõe métodos alternativos para avaliar os perigos de substâncias para reduzir o número de testes em animais. REACH é a sigla em inglês de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos. O regulamento REACH entrou em vigor no dia 1º de junho de 2007;

- O regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT);

- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração) — Os requisitos de marcação do DOT para as especificações de cilindros e tubos estão listados nos Regulamentos de materiais perigosos do Ministério dos Transportes dos EUA, no Título 49 do Código de Regulamentos Federais dos EUA (49 CFR). A especificação da *Transport Canada* (TC) estabelece que os cilindros e tubos devem ser projetados, manufaturados, testados inicialmente, inspecionados inicialmente e marcados conforme os requisitos estabelecidos na norma CSA B339 "Cilindros, esferas e tubos para o transporte de produtos perigosos";

- Além disso, o manuseio de produtos perigosos foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos Regulamentos modelo da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (CEE-ONU), Divisão de Transportes. No entanto, várias normas evoluíram, e desde o ano 2000 a ONU tem procurado padronizar os regulamentos como um sistema globalmente harmonizado

de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS); e

- Implementação do GHS na UE: o Regulamento CLP 1272/200EC, de Classificação, Rotulagem e Embalagem, que entrou em vigor no dia 20 de janeiro de 2009 (aplicável desde 1º de dezembro de 2010 para substâncias e desde 1º de julho de 2015 para misturas). Com a entrada desse regulamento em vigor, um novo sistema de classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas passou a existir em toda a Europa.

CLP/GHS — mudanças importantes

A mudança na classificação e rotulagem de gases inflamáveis ocorreu por causa do Regulamento CLP 1272/2008/CE, que passou por emenda, no dia 27 de março de 2019, pelo Regulamento da Comissão 2019/521/CE.

A emenda no Regulamento CLP aplicável na Europa segue uma emenda de 2017 ao Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), que agora também vale na Europa.

No Regulamento CLP, os gases inflamáveis estavam previamente divididos entre a categoria 1 "Gases extremamente inflamáveis" (H220) e a categoria 2 "Gases inflamáveis" (H221).

A novidade é que a categoria 1 foi dividida em categorias 1A e 1B. A categoria 2 continua como antes (veja a Tabela 17).

Tabela 17 — CLP — Critérios para a categorização de gases inflamáveis

<table>
<tr><th colspan="2">Categoria / Classificação “H”</th><th>Pictograma</th><th>Palavra de sinalização</th><th colspan="2">Critérios</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1A</td><td>H220
Gás extremamente inflamável</td><td rowspan="4">
GHS02</td><td rowspan="4">Perigo</td><td colspan="2">Gases que a 20 °C e sob pressão padrão de 101,3 kPa:
a. são inflamáveis quando em uma mistura de 13% ou menos por volume no ar;
ou
b. apresentam um intervalo inflamável com o ar de pelo menos 12 pontos percentuais, independentemente do limite inferior de inflamabilidade;
a menos que os dados mostrem que eles atendem aos critérios para a categoria 1B.</td></tr>
<tr><td>H220/232
Gás pirofórico</td><td colspan="2">Gases inflamáveis que têm ignição espontânea no ar a uma temperatura igual ou inferior a 54 °C.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">H220/230/231
Gás quimicamente instável</td><td>A</td><td>Gases inflamáveis que são quimicamente instáveis a 20 °C e sob pressão padrão de 101,3 kPa.</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Gases inflamáveis que são quimicamente instáveis a uma temperatura igual ou superior a 20 °C e/ou sob pressão superior a 101,3 kPa.</td></tr>
<tr><td>1B</td><td>H221
Gás inflamável</td><td colspan="2">Gases que atendem aos critérios de inflamabilidade da categoria 1A, mas que não são pirofóricos, nem quimicamente instáveis, e que a apresentam:
a. um limite inferior de inflamabilidade de mais de 6% por volume no ar;
ou
b. uma velocidade fundamental de queima de menos de 10 cm/s.</td></tr>
</table>

(Continuação)

	H221 Gás inflamável	Sem pictograma	Aviso	Gases, excluindo os da Categoria 1A ou 1B, que a 20 °C e sob uma pressão padrão de 101,3 kPa, apresentam um intervalo inflamável quando misturados com o ar.
Seções coloridas relevantes para RAC				

Fonte: Regulamento CLP Seção 2.2.2.1 e Tabela 2.2.1.

O R-1234yf ainda atende aos critérios da categoria 1 porque o limite inferior de explosão é menor que 13% e se enquadra na categoria 1B porque o limite inferior de explosão fica acima de 6%.

O intervalo de explosão do R-32 é entre 12,7 e 33,4%. Como o intervalo de explosão fica acima de 12 pontos percentuais (cerca de 20 por cento), o R-32 se enquadra na categoria 1 porque o intervalo de explosão fica acima de 6%, na categoria 1B.

Assim, o R-32 e o R-1234yf continuam apresentando pictogramas de inflamabilidade, a palavra de sinalização “Perigo” e a declaração de perigo “H221: gás inflamável”.

Pode ser confuso para os usuários que a classificação H221, que anteriormente só incluía os gases inflamáveis da categoria 2 e sem um pictograma de inflamabilidade, agora também represente a nova categoria 1B com o pictograma de inflamabilidade.

Para a aplicação de gases como fluidos refrigerantes, a classificação das categorias (categorias 1, 2, 2L, 3) com outros critérios para classificação se baseia na norma ABNT NBR 16666 “Fluidos frigoríficos — designação e classificação de segurança”.

De acordo com essa norma, por exemplo, um fluido refrigerante como o R-1234ze(E), que não tem classificação de inflamabilidade para transporte, é classificado como 2L.

A Tabela 18 mostra a classificação de alguns fluidos refrigerantes selecionados de acordo com o regulamento de transporte ADR.

Tabela 18 — Classificação de alguns fluidos refrigerantes selecionados

Classe ABNT NBR 16666	Número do fluido refrigerante	Nome	Código de classificação[7]	nº da etiqueta de perigo	nº ONU	Código de Restrição em Túneis[8]	Fator de multiplicação	Quant. máx. total permitida	Categoria de transporte[9]
A2L	R-1234ze	1,3,3,3-Tetrafluoropropeno	2 A	2.2	3163	(C/E)	1	1.000 kg	3
A2L	R-32	Difluorometano	2 F	2.1	3252	(B/D)	3	333 kg	2
A2L	R-1234yf	2,3,3,3-Tetrafluoropropeno	2 F	2.1	3161	(B/D)	3	333 kg	2
A2L	R-452B	Gás liquefeito, inflamável, N.O.S. R-32/R-125/R-1234yf (65,0%/75,5%/24,0%)	2 F	2.1	3161	(B/D)	3	333 kg	2
A2L	R-454C	Gás liquefeito, inflamável, N.O.S. R-32/R-1234yf (21,5%/78,5%)	2 F	2.1	3161	(B/D)	3	333 kg	2
A2L	R-454A	Gás liquefeito, inflamável, N.O.S. R-32/R-1234yf (35,0%/65,0%)	2 F	2.1	3161	(B/D)	3	333 kg	2
A2	R-152a	1,1-Difluoroetano	2 F	2.1	1030	(B/D)	3	333 kg	2
A1	R-125	Pentafluoroetano (componente de mistura)	2 A	2.2	3220	(C/E)	1	1.000 kg	3
A3	R-290	Propano	2 F	2.1	1978	(B/D)	3	333 kg	2

[7]A classe 2 abrange os gases puros, as misturas de gases, as misturas de um ou mais gases com uma ou mais uma outra substância e os objetos que contêm essas substâncias. As substâncias (exceto aerossois e produtos químicos sob pressão) da classe 2 são atribuídas a um grupo de acordo com as suas propriedades de perigo: A = asfixiante, F= Inflamável (do inglês *flammable*).

[8]Código de Restrição em Túneis: indica as restrições à circulação em túneis aplicáveis à substância (ver Capítulo 8.6 do regulamento ADR).

[9]Categoria de Transporte: indica a categoria de transporte à qual a substância está atribuída para fins das isenções ligadas às quantidades transportadas por unidade de transporte (ver Capítulo 1.1.3 do regulamento ADR).

(Continuação)

A3	R-1270	Propeno (Propileno)	2 F	2.1	1077	(B/D)	3	333 kg	2
A3	R-600	Butano	2 F	2.1	1011	(B/D)	3	333 kg	2
A3	R-600a	Isobutano	2 F	2.1	1969	(B/D)	3	333 kg	2
B2L	R-717	Amônia	2 TC	2.3+8	1.005	(C/D)	20	50 kg	1
A1	R-744	Dióxido de carbono	2 A	2.2+13	1.013	(C/E)	1	1.000 kg	3
Mistura de gás hidrocarboneto, liquefeito, N.O.S (gás de combustão)			2 F	2.1	1965	(B/D)	3	333 kg	2
Acetileno dissolvido			4 F	2.1	1001	(B/D)	3	333 L	2
Oxigênio comprimido			1 O	2.2+5.1	1072	(E)	1	1.000 L	3
Nitrogênio comprimido			1 A	2.2	1.066	(E)	1	1.000 L	3

Fonte: Rolf Huehren, conforme o regulamento de transporte ADR.

7

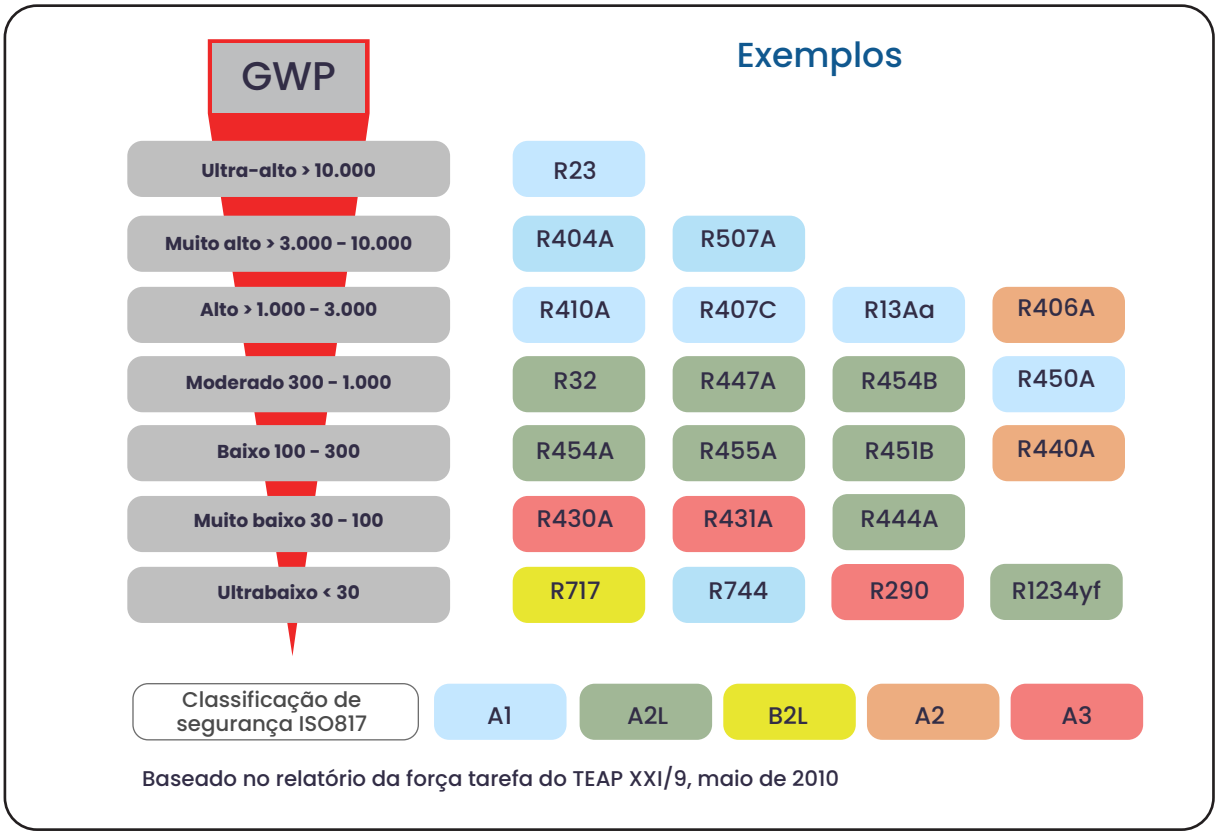
Áreas de aplicação para fluidos refrigerantes inflamáveis

7. Áreas de aplicação para fluidos refrigerantes inflamáveis

O setor de AVAC-R está passando por grandes mudanças com relação ao uso de fluidos refrigerantes. Por exemplo: o regulamento europeu de gases F (gases fluorados de efeito estufa), atualmente em vigor, tem amplo foco em fluidos refrigerantes, alguns dos quais com alto Potencial de Aquecimento Global (GWP), e isso está causando restrições e/ou proibições.

Uma redução no Potencial de Aquecimento Global geralmente representa aumento na inflamabilidade, de modo que no lugar de fluidos refrigerantes não inflamáveis agora estão sendo usados mais fluidos refrigerantes com inflamabilidade baixa ou alta.

Figura 51 — Intervalo de Potencial de Aquecimento Global (GWP) versus classificação de segurança



Fonte: Rolf Huehren.

Um exemplo disso é o uso do R-32 (classe de segurança A2L, inflamabilidade mais baixa) em vez do R-410A (classe de segurança A1, não inflamável) em aparelhos de ar condicionado do tipo split ou bombas de calor.

Além disso, fluidos refrigerantes naturais, como R-290 (propano), R-600a (isobutano) (classe de segurança A3, alta inflamabilidade) estão sendo amplamente utilizados.

Essa mudança agora envolve requisitos revisados para o planejamento, execução e operação dos sistemas de AVAC-R. A seguir, serão discutidos determinados aspectos do manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis na prática.

7.1 Fluidos refrigerantes inflamáveis mais usados e suas aplicações

Aplicações com fluidos refrigerantes sem halogênio

Os fluidos refrigerantes naturais têm potencial zero ou insignificante de aquecimento global, portanto, não representam uma ameaça ao clima e à Camada de Ozônio se houver vazamento em um circuito de refrigeração. Eles incluem, por exemplo, hidrocarbonetos (HC), dióxido de carbono (CO_2) ou amônia (NH_3). Esses fluidos refrigerantes têm outra vantagem importante, já que os sistemas correspondentes funcionam de modo mais eficiente do que os que usam os gases fluorados causadores de efeito estufa[10]. Isso leva a menor consumo de energia e, portanto, menos emissões relacionadas à produção da energia necessária.

No entanto, os fluidos refrigerantes naturais estão sempre associados a desafios técnicos. Por exemplo: os hidrocarbonetos são inflamáveis, e a amônia é tóxica. O dióxido de carbono

[10]Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik: Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften (IKET Herausgeber).

(CO_2) é um fluido refrigerante de pressão muito intensa e exige componentes mais fortes no circuito de refrigeração e, portanto, há maior custo com materiais (mas, na maioria dos casos, compensado pelo retorno do investimento com economia de energia). Em geral, todas essas aplicações demandam precauções de segurança apropriadas.

Aplicações de fluidos refrigerantes halogenados

Os fluidos refrigerantes A2L podem ser usados em uma série de aplicações e processos, como os tradicionais fluidos refrigerantes HCFC/HFC, e a utilização deles observa a atual legislação e as recomendações, aliada à sua baixa inflamabilidade. Eles só podem ser usados em novos equipamentos projetados para essa finalidade ou em sistemas especificamente projetados para funcionar com esses produtos. Em nenhuma circunstância um sistema operando com um fluido refrigerante não inflamável pode ser convertido em um fluido refrigerante inflamável, sem prévia recertificação ou aprovação, para não violar as regulamentações e as normas de segurança aplicáveis.

Com o uso de HFCs/HFOs, uma das principais preocupações é a toxicidade da combustão. Quando esses fluidos refrigerantes queimam (durante a brasagem ou exposição ao fogo), ocorre a formação de fluoreto de hidrogênio (HF) como produto da decomposição, o que é perigoso para os usuários e para o público.

Os técnicos/as podem acabar entrando em contato direto com o ácido do HF durante a instalação e reparo do equipamento de RAC, ao usar equipamento de brasagem e se o fluido refrigerante entrar em contato com superfícies quentes.

O fluoreto de hidrogênio é um composto químico que contém

flúor. Ele pode existir como gás incolor ou como líquido fumegante, ou pode ser dissolvido em água. Quando o fluoreto de hidrogênio é dissolvido em água, ele pode ser chamado de ácido fluorídrico.

O fluoreto de hidrogênio é usado para fazer fluidos refrigerantes, herbicidas, produtos farmacêuticos, gasolina, alumínio, plásticos, componentes elétricos e bulbos de lâmpadas fluorescentes. Estima-se que 60% do fluoreto de hidrogênio usado na indústria seja para processos de produção de fluidos refrigerantes.

Atenção: Com o uso de qualquer tipo de fluido refrigerante inflamável durante a instalação, reparo e descomissionamento, recomenda-se fazer o *flushing* do circuito de refrigeração e seus componentes com nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN) antes da realização de qualquer tipo de trabalho a quente (corte, brasagem, etc.).

7.2 HFCs

O R-32 é proposto por alguns grandes fabricantes como substituto do R-410A em novos sistemas de ar condicionado do tipo split e em bombas de calor nos quais a carga de fluido refrigerante seja menor que três kg.

O R-32 não pode ser usado como fluido refrigerante "*drop-in*" para o R-410A, por causa de suas propriedades termodinâmicas e de sua classificação como fluido refrigerante A2L, com "inflamabilidade mais baixa". O R-32 tem uma temperatura mais alta de descarga do compressor do que o R-410A e isso aumenta o desgaste do compressor, reduzindo significativamente a vida útil dele.

Misturas de A2L contendo R-32, R-1234yf ou R-1234ze têm sido desenvolvidas para novas aplicações e já foram ou serão aprovadas pelos fabricantes de

equipamentos. Em particular, o R-455A ou o R-454C destinam-se a substituir o R-404A, principalmente na refrigeração comercial e industrial. O R-452B e o R-454B também são considerados potenciais substitutos para o R-410A.

7.3 HFOs

A legislação internacional exige que fluidos refrigerantes com GWP muito baixo sejam usados em determinadas aplicações de agora em diante. Para cumprir essas exigências, os fabricantes de fluidos refrigerantes desenvolveram novas moléculas de HFO para fluidos refrigerantes, capazes de atingir um potencial muito baixo de aquecimento global. Mas, quanto mais baixo o valor de GWP, maior a inflamabilidade. Sendo assim, foi preciso encontrar um equilíbrio entre inflamabilidade e GWP para atender às necessidades da indústria e fornecer soluções benéficas para o meio ambiente e com eficiência energética.

O R-1234yf é muito usado em sistemas de ar condicionado automotivo para todos os novos veículos fabricados desde o dia 1º de janeiro de 2017.

Atualmente, na Europa, o R-1234ze é o fluido refrigerante substituto do R-134a para novas instalações, usado pela maioria dos fabricantes de *chillers* (unidade de refrigeração de fluido "resfriador de líquido"). Ele também apresenta boas propriedades para aplicações de alta temperatura como bombas de calor.

Considerando pesquisas científicas recentes, é questionável como lidar com essas substâncias no futuro, por causa da formação de produto de degradação persistente (TFA) se elas forem liberadas para a atmosfera (consulte o Capítulo 2.5 para obter mais informações).

7.4 HCs

Os hidrocarbonetos pertencem ao grupo de fluidos refrigerantes naturais orgânicos e apresentam um potencial zero comprovado de destruição da Camada de Ozônio, bem como um potencial insignificante de aquecimento global. Em geral, os hidrocarbonetos são produzidos como subprodutos da indústria petroquímica.

Os fluidos refrigerantes à base de hidrocarbonetos são extremamente inflamáveis e o uso deles só é permitido em equipamentos que atendam aos requisitos das normas de segurança. Essas normas descrevem as características para que os aparelhos e sistemas cubram potenciais riscos que surjam com o uso de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Os sistemas de refrigeração que usam hidrocarbonetos, em especial o isobutano (R-600a), atualmente dominam os mercados de refrigeração e *freezers* domésticos na Europa, representam 50% na China e estão crescendo no mundo todo. O propano (R-290) e outros hidrocarbonetos estão bem consolidados na refrigeração comercial e desenvolvimentos semelhantes já começam a se estabelecer para sistemas de ar condicionado.

Consequentemente, o R-600a e o R-290 são os únicos fluidos refrigerantes que têm autorização para uso em aparelhos de carga crítica de fluido refrigerante, porque atendem as normas de segurança especificadas. Como a maioria dos fluidos refrigerantes convencionais (exceto o R-717 - NH^3), o R-600a e o R-290 são mais pesados que o ar e a concentração no nível do solo é sempre a mais alta.

Para poder realizar serviços e reparos em sistemas com R-600a e R-290, o pessoal de serviço deve ser devidamente treinado. Isso inclui conhecimento sobre fluidos refrigerantes, ferramentas, técnicas de transporte e serviço, bem como regulamentos relevantes e precauções de segurança. O manuseio dos HCs não difere dos fluidos refrigerantes HFCs ou HFOs inflamáveis. O descarte direto de HCs no meio ambiente é viável em pequenas quantidades (menos de 0,5 kg), se for tomado cuidado na separação do óleo lubrificante.

Aplicações típicas:

- Refrigeradores e *freezers* domésticos;
- Refrigeradores comerciais;
- Máquinas de gelo e balcões refrigerados;
- Refrigeradores de garrafas;
- Refrigeradores de cerveja;
- Distribuidores de bebidas;
- Desumidificadores;
- Aparelhos de ar condicionado do tipo split; e
- Bombas de calor.

7.5 Amônia

A amônia (NH_3) é um gás incolor que se liquefaz sob pressão (assim como outros fluidos refrigerantes) e apresenta um odor muito forte em pequenas concentrações (3,5 mg/m³ = 5 ppm). Como fluido refrigerante, ela é conhecida como R-717. A amônia é produzida de modo sintético para uso no processo de refrigeração e é considerada um fluido refrigerante natural inorgânico, porque ela ocorre nos ciclos metabólicos da Terra. A amônia não tem Potencial de Destruição do Ozônio (PDO = 0) nem Potencial de Aquecimento Global (GWP = 0). A classificação de segurança como fluido refrigerante inflamável é 2L (inflamabilidade mais baixa).

Devido à discussão ambiental sobre a destruição da Camada de Ozônio e o efeito estufa, atualmente na Europa é maior a participação de mercado para a tecnologia de refrigeração com amônia, pois há empresas com longa tradição e experiência que preferem trabalhar com este fluido natural.

Sistemas indiretos de refrigeração, principalmente com R-717, são usados tanto na tecnologia industrial quanto na de ar condicionado, mas preferencialmente na faixa de maior capacidade.

Principais áreas de aplicação:

- Aplicações industriais e conforto humano;
- Indústria de alimentos;
- Indústria química; e
- Indústria automotiva.

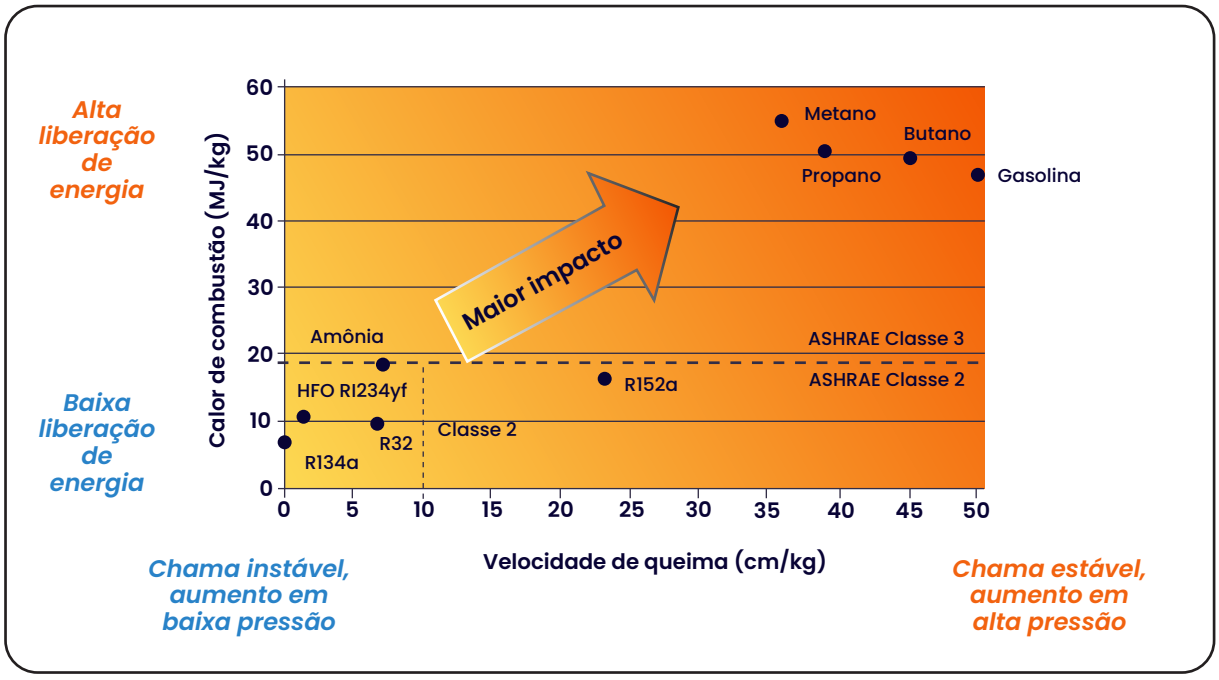
8

Propriedades físicas de fluidos refrigerantes inflamáveis

8. Propriedades físicas de fluidos refrigerantes inflamáveis

A inflamabilidade é de fato uma grande preocupação na hora de lidar com fluidos refrigerantes com potencial "moderado" e "baixo" de aquecimento global e deve ser levada em conta na seleção de substâncias alternativas para novas aplicações de RAC. Os HFOs foram acrescentados na nova categoria A2L da ISO 817 de fluidos refrigerantes com inflamabilidade mais baixa. Esses fluidos refrigerantes são inflamáveis, mas apresentam um valor baixo de calor de combustão (HOC) e baixa velocidade da chama (FS). A Figura 52 mostra a posição de diferentes fluidos refrigerantes em relação a HOC e FS.

Figura 52 — Posição de diferentes fluidos refrigerantes em relação a HOC e velocidade da chama



Fonte: Pham & Rajendran, 2012.

Propriedades importantes de inflamabilidade também aparecem na Tabela 19 para alguns fluidos refrigerantes selecionados para fins de comparação.

Tabela 19 — Características comuns de inflamabilidade de fluidos refrigerantes conforme a ISO 817

Fluido refrigerante	Classe de segurança ISO 817	Limite prático LP (kg/m_3)	Limite inferior de inflamabilidade – LII (%/vol)	Limite inferior de inflamabilidade – LII (kg/m_3)	Calor de combustão HOC (MJ/kg)	Temperatura de autoignição TAI (°C)	Energia mínima de ignição – EMI (mJ)	Velocidade de queima S^u (cm/s)
R-32	A2L	0,061	14,4	0,307	9,5	648	30	6,7
R-290	A3	0,008	2,1	0,038	46,3	470	0,25	45
R-600a	A3	0,0086	1,8	0,043	45,6	460	0,25	37
R-1270	A3	0,008	2,7	0,046	45,8	457	0,26	48
R-1234yf	A2L	0,058	6,2	0,289	10,7	405	5.000	1,5
R-1234ze	A2L	0,061	N/A	0,303	N/A	368	1.000	N/A
R-717	B2L	0,000350	16,7	0,116	18,6	630	680	7,2

Fonte: IS0 817.

9

Definições de inflamabilidade para fluidos refrigerantes

9. Definições de inflamabilidade para fluidos refrigerantes

A inflamabilidade é um fator importante na hora de decidir sobre a escolha e o uso de fluidos refrigerantes. Logo, conforme normas internacionais de segurança, os fluidos refrigerantes estão classificados em oito (8) grupos de segurança com relação à toxicidade e à inflamabilidade da substância.

Especificamente, a classificação (de acordo com a definição) apresenta duas categorias, A e B, para definir a toxicidade dos fluidos refrigerantes. A categoria A inclui fluidos refrigerantes levemente tóxicos, e a categoria B inclui fluidos refrigerantes tóxicos. A classificação dos fluidos refrigerantes inflamáveis se baseia em quatro grupos (1 = não inflamáveis, 2L = baixa inflamabilidade, 2 = inflamáveis, 3 = alta inflamabilidade) (veja mais detalhes na Tabela 20).

Os fluidos refrigerantes inflamáveis não diferem das alternativas não inflamáveis em termos de toxicidade e aplicação básica. Isso é válido, por exemplo, para deslocamento de oxigênio, proibição de fumar, perigos de combustão e equipamentos de proteção individual.

Já está ficando óbvio que, além dos fluidos refrigerantes não inflamáveis como o R-744 (CO_2), as substâncias e misturas com inflamabilidade de classe 2L e 3 serão as mais populares.

Definições de inflamabilidade:

A classe 2L (baixa inflamabilidade) indica:

- Propagação de chama quando testado a 60 °C e 101,3 kPa;
- LII > 3,5% por volume;
- Calor de combustão < 19 MJ/kg;
- Velocidade máxima de queima ≤ 10 cm/s.

A classe 3 (baixa inflamabilidade) indica:

- Propagação de chama quando testado a 60 °C e 101,3 kPa;
- LII ≤ 3,5% por volume;
- Calor de combustão ≥ 19 MJ/kg.

Definições de toxicidade:

Classe A

Toxicidade significa fluidos refrigerantes para os quais a toxicidade não foi identificada em concentrações menores ou iguais a quatrocentas partes por milhão (400 ppm) do limite de exposição ocupacional (LEO). Exemplos de fluidos refrigerantes classificados como não tóxicos: R-22, R-134a, R-410A, R-404A, R-32 e R-290.

Classe B

Toxicidade significa fluidos refrigerantes para os quais existem evidências de toxicidade em concentrações abaixo de quatrocentas partes por milhão (400 ppm) do limite de exposição ocupacional (LEO). São exemplos os fluidos refrigerantes R-717 e R-723.

LEO — Limite de exposição ocupacional

A concentração média ponderada pelo tempo para um expediente normal de 8 horas por dia e 40 horas por semana ao qual praticamente todos os trabalhadores podem ficar repetidamente expostos sem efeitos adversos.

Observação 1 sobre a entrada: baseada em regulamentos nacionais, como OSHA PEL, ACGIH TLV-TWA, TERA WEEL, ou MAK.

Tabela 20 — Classificação de segurança dos fluidos refrigerantes

Requisitos mais onerosos	**Inflamabilidade no ar a 60 °C e 101,3 kPa**	**ISO 817 / ASHRAE 34 (equivalente à norma ABNT NBR 16666) - Grupo de segurança e exemplos**			
	Não inflamáveis	A1	R-22, R-744, R-134a, R-410A, R-404A, R-407C	B1	R-123, R-245fa R-514A
	Menor inflamabilidade LII > 3,5% vol/ar LII > 0,10 kg/m³ HOC < 19 MJ/kg com velocidade máxima de queima de 10 cm/s	A2L	R-32, R-143a, R-1234yf, R-1234ze, R-454B	B2L	R-717
	Inflamáveis LII > 3,5% vol/ar LII > 0,10 kg/m³ HOC < 19 MJ/kg	A2	R-152, R-142b, R-405A, R-411A	B2	R-723, R-30
	Altamente inflamáveis LII ≤ 3,5% vol/ar LII ≤ 0,10 kg/m³ HOC ≥ 19 MJ/kg	A3	R-290, R-600a, R-1270, 433B/C	B3	R-1140
		Toxicidade mais baixa LEO ≥ 400		Toxicidade mais alta LEO < 400 ppm	
		Requisitos mais onerosos			

Fonte: ISO 817.

9.1 Limites inferior e superior de inflamabilidade

9.1.1 Limite inferior de inflamabilidade (%, kg/m³)

É a concentração mais baixa de gás no ar necessária para a mistura se incendiar na presença de uma fonte de ignição. Abaixo do limite inferior de inflamabilidade (LII), a quantidade de combustível é insuficiente para que ocorra a queima. Normalmente, existe um intervalo de valores para cada substância, por conta da sensibilidade à escolha da fonte de ignição, pressão, temperatura da mistura e umidade do ar.

9.1.2 Limite superior de inflamabilidade (%, kg/m³)

É a concentração mais alta de gás no ar que possibilita que a mistura se incendeie na presença de uma fonte de ignição. Acima do limite superior de inflamabilidade (LSI), a quantidade de oxigênio é insuficiente para que ocorra a queima. Normalmente, existe um intervalo de valores para cada substância, por conta da sensibilidade à escolha da fonte de ignição, pressão, temperatura da mistura e umidade do ar.

9.1.3 Limite prático (kg/m³)

O limite prático (LP) é definido como um valor limite para uma concentração aceitável de um fluido refrigerante em um espaço ocupado abaixo do qual não há expectativa de nenhum "efeito nocivo de exposição". Ele também é usado para estimar a carga máxima permitida de um fluido refrigerante. Para fluidos refrigerantes com inflamabilidade mais alta, como os HCs, o limite prático é definido como 20% do limite inferior de inflamabilidade (LII). Consequentemente, a quantidade permitida de fluido refrigerante HC tende a ser bem mais baixa do que para a maioria dos demais fluidos refrigerantes. Para outros fluidos refrigerantes, o limite prático se refere mais a valores de limite de exposição a toxicidade aguda/limite de privação de oxigênio (ATEL/ODL).

O valor do limite prático para fluidos refrigerantes é expresso pela unidade kg/m³, que significa a quantidade máxima de fluido refrigerante em kg por m³ por volume da sala. O valor do limite prático para fluidos refrigerantes é, conforme a definição da EN 378 Parte 1 ou ISO 5149, a concentração mais alta em um espaço ocupado que não requer providências agudas para o escape. Esse valor é usado como base para determinar a carga máxima de fluido refrigerante para uma aplicação específica. Portanto, o valor do limite prático é usado para calcular a quantidade máxima de fluido refrigerante que pode entrar em um espaço ocupado por pessoas, sem colocá-las em risco.

9.2 Velocidade de propagação da chama (velocidade de chama)

A velocidade de queima ("S_U" a 23 °C), também chamada de velocidade de chama, é medida em cm/s e foi adotada como parte da norma para caracterizar os novos fluidos refrigerantes mais inflamáveis. Trata-se da velocidade na qual uma chama se espalha pela superfície de substâncias sólidas e líquidas.

A velocidade de queima é definida como a "velocidade máxima (cm/s) na qual uma chama laminar se propaga em uma direção normal relativa ao gás não queimado em frente dela" (norma ANSI/ASHRAE 34, equivalente à ABNT NBR 16666). Essa propriedade é usada para ajudar a classificar os fluidos refrigerantes A2L, que devem ter uma velocidade de queima ≤ 10 cm/s.

Os hidrocarbonetos (A3) apresentam uma velocidade de queima significativamente maior que a dos produtos A2L. Isso tem implicações sobre a segurança, uma vez que velocidades de queima mais rápidas podem produzir riscos potenciais mais elevados. Eventos de ignição ocorridos com fluidos refrigerantes A3 com velocidades mais rápidas de queima podem resultar na rápida propagação da chama. Além disso, a propagação mais rápida da chama pode provocar taxas mais rápidas de elevação da pressão, o que também pode aumentar a gravidade de eventos de ignição.

9.3 Energia mínima de ignição

A energia mínima de ignição (EMI, em mJ) também é um parâmetro importante de inflamabilidade a ser considerado na hora de projetar um equipamento de AVAC-R com gases inflamáveis. Trata-se da quantidade mínima de energia necessária para fazer uma mistura inflamável de gás/ar se incendiar. As fontes de ignição abaixo desse nível não produzem ignição. Os vapores de hidrocarbonetos podem se incendiar facilmente por causa de diversas fontes de energia, como faíscas e chamas, mas também com níveis mais baixos produzidos por eletricidade estática.

9.4 Calor de combustão

O calor de combustão (HOC em Mj/kg) é o calor liberado por unidade de massa durante a combustão de determinada substância. Quanto mais alto o calor de combustão, maior é o risco, já que ele pode levar a temperaturas mais elevadas durante um evento de ignição, aumentando potencialmente sua gravidade.

9.5 Ponto de fulgor

É a temperatura mínima de uma substância líquida necessária para gerar vapor suficiente para que ela se incendeie. Logo, abaixo da temperatura de ponto de fulgor, o vapor é insuficiente para que ocorra alguma chama. Assim, como acontece com outras características, o ponto de fulgor pode ser medido de diferentes maneiras, embora o método preferido seja o de vaso fechado. Substâncias com ponto de fulgor abaixo de 21 °C são chamadas de "extremamente inflamáveis", enquanto as com ponto de fulgor entre 21 °C e 55 °C são "inflamáveis", e as que estão acima de 55 °C são "combustíveis". Os fluidos refrigerantes HC comuns são todos extremamente inflamáveis.

9.6 Temperatura de autoignição

A temperatura de ignição de superfície quente (HSIT) é aquela na qual uma substância ou superfície de contato deve ser aquecida para que uma substância inflamável sofra autoignição na presença de oxigênio apenas

por causa de sua temperatura (isto é, sem fonte de ignição, como uma faísca ou chama).

9.7 Abordagem básica para trabalhar com fluidos refrigerantes inflamáveis

Existem precauções gerais para manusear fluidos refrigerantes de forma segura, que se aplicam tanto aos inflamáveis quanto aos não inflamáveis.

Precauções gerais para trabalhar com fluidos refrigerantes

- Evite contato com os olhos, a pele e as roupas;
- Evite inalar o gás;
- Use apenas com ventilação adequada;
- Use um respirador apropriado quando a ventilação for inadequada;
- Não entre em áreas de armazenamento nem em espaços confinados, a menos que estejam devidamente ventilados;
- Não perfure nem incinere recipientes como sistemas e cilindros;
- Cilindros vazios contêm resíduos do produto e podem ser perigosos;
- Use equipamentos apropriados para a pressão do cilindro;
- Feche a válvula depois de cada uso e quando estiver vazia;
- Proteja os cilindros contra danos físicos e não os arraste, role, deslize nem deixe cair; e
- Use um carrinho de mão adequado para movimentar o cilindro (se aplicável).

Além disso, existem algumas precauções especificamente relevantes para fluidos refrigerantes inflamáveis (classes A3, A2 e A2L).

Quando usar substâncias inflamáveis, verifique se:

- Todas as pessoas envolvidas sabem que uma substância inflamável está sendo usada e quais são as características dela;
- Estão sendo tomadas providências para evitar que a concentração da substância inflamável e do ar atinja o limite, quando se torna inflamável (isto é, para que não atinja o limite inferior de inflamabilidade - LII; garantindo a ventilação, por exemplo);
- Todas as pessoas estão cientes das práticas seguras de manuseio e armazenamento de substâncias inflamáveis;
- Foram apresentados e aplicados os procedimentos e projetos para evitar acidentes oriundos de substâncias inflamáveis;
- Em caso de concentrações perigosamente altas de fluido refrigerante, que ele seja removido o mais rápido possível para diminuir o risco de incêndio ou explosão;
- Foram tomadas as devidas medidas de precaução contra descargas eletrostáticas;
- O armazenamento e o uso estão longe de fontes de calor, faíscas, chama aberta ou qualquer outra fonte de ignição; e
- Estão sendo usadas ferramentas e equipamentos elétricos e outros que não atuem como fonte de ignição.

O Anexo 1 apresenta um fluxograma de disciplina na rotina de trabalho durante instalação, manutenção, reparos e desativação de sistema AVAC-R.

9.7.1 O triângulo do fogo

Não é que as substâncias inflamáveis simplesmente comecem a pegar fogo de maneira espontânea. Caso contrário, haveria explosões frequentes de carros ou fogões. Para que a combustão aconteça, é preciso preencher três condições na mesma hora e no mesmo lugar. O triângulo do fogo, que é um termo usado pela teoria geral da combustão, refere-se a essas três condições.

Triângulo do fogo:

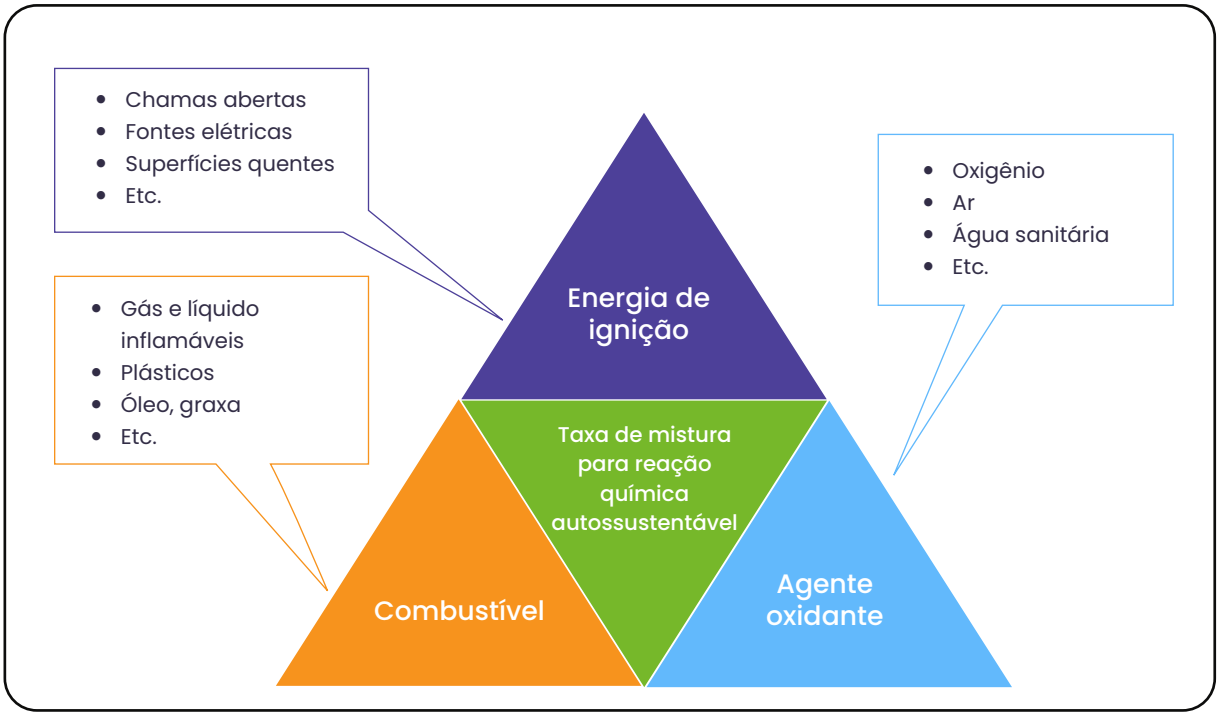
1. Substância inflamável (combustível);
2. Oxigênio (ou comburentes, como água sanitária); e
3. Energia de ignição (calor, faíscas mecânicas, eletricidade).

Para iniciar o processo de combustão autossustentado, que é uma reação química, é necessário haver a taxa de mistura dessas três condições.

A taxa certa de mistura costuma ser chamada, portanto, de quarta condição.

A Figura 53 mostra as quatro condições e fornece exemplos de cada uma delas.

Figura 53 — Triângulo do fogo



Fonte: Rolf Huehren.

Durante o manuseio de fluidos refrigerantes, ou quando ocorre vazamento de fluidos refrigerantes em alguma sala, quase sempre estão envolvidas duas condições: presença de alguma substância inflamável e de oxigênio. O que pode e precisa ser controlado é a presença de fontes de ignição e a concentração de substâncias inflamáveis. Se a concentração for baixa demais ou alta demais, não ocorrerá a ignição.

Para avaliar o risco de explosão, avalie:

- A ocorrência de atmosferas perigosas explosivas; e
- A presença e eficácia de fontes de ignição.

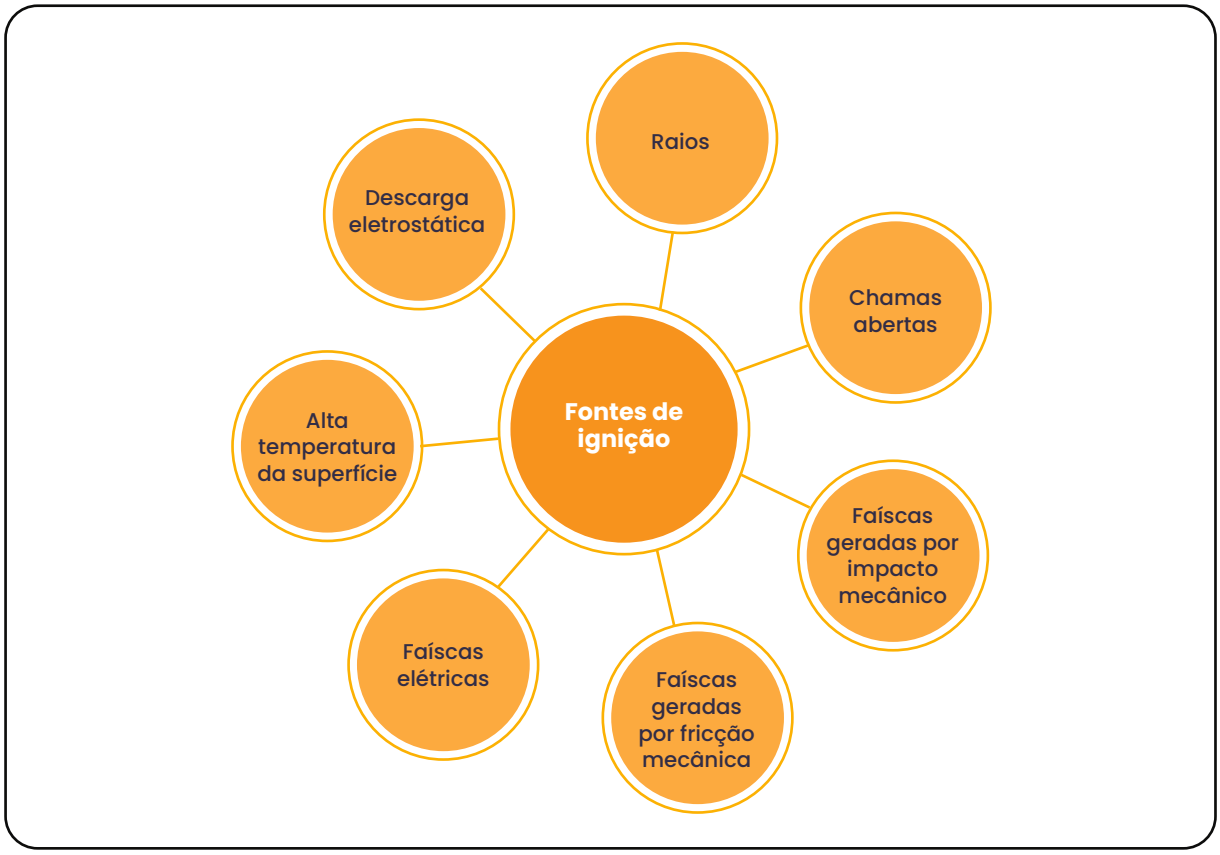
A consideração do impacto é de menor importância no processo de avaliação, já que, em caso de explosão, a expectativa é sempre que ocorra um alto nível de danos, que podem variar desde prejuízos substanciais à propriedade até lesões ou mortes.

9.7.2 Fontes de ignição

As chamas abertas são as fontes de ignição mais óbvias, mas existem muitas outras. Elas devem ser evitadas a qualquer custo perto de um espaço de trabalho ativo de AVAC-R. É essencial que nenhuma nova fonte de ignição seja introduzida na hora de fazer a manutenção ou reparo de equipamentos de AVAC-R. Isto é especialmente relevante para a proteção de componentes elétricos, que não devem ser comprometidos.

A seguir, é apresentada uma lista das fontes de ignição mais comuns:

Figura 54 — Fontes de ignição mais comuns



Fonte: Rolf Huehren.

9.7.2.1 Raios

O raio é uma faísca na natureza ou um arco de curta duração entre as nuvens, ou entre as nuvens e a Terra.

9.7.2.2 Chamas abertas

Vão desde um cigarro aceso até atividades de brasagem e solda (bicos de Bunsen, velas, fósforos, aquecimento com chama aberta, etc.).

Em geral, equipamentos de AVAC-R com carga de fluido refrigerante inflamável não deveriam ser instalados ou ficar localizados em áreas com chamas abertas presentes. Isso pode incluir áreas com *cooktops* e fogões a gás, aquecedores de água a gás e aquecedores de ambiente a gás ou a lenha.

Atenção: O detector hálide (lamparina), usado como detector de gás, serve apenas para fluidos refrigerantes clorados e não deve mais ser utilizado, independentemente do tipo de fluido refrigerante.

9.7.2.3 Faíscas geradas por impacto mecânico

Por exemplo: o golpe de martelo sobre uma superfície de aço enferrujado criará uma faísca mais fraca em comparação com o golpe de martelo sobre uma pedra de sílex, onde é gerada uma faísca forte. A velocidade e o ângulo de impacto entre a superfície e o martelo são importantes; um golpe em ângulo de 90o sobre uma superfície é relativamente inofensivo. Porém, em um ângulo raso a faísca é criada com facilidade.

9.7.2.4 Faíscas geradas por fricção mecânica

A combinação de materiais e velocidade (rotação) determina a eficácia da fonte de ignição. Por exemplo: a fricção de aço com aço a 4,5 m/s com uma força maior que 2 kN é uma fonte de ignição eficaz. A combinação de alumínio e ferrugem também é um perigo notório. Em geral, é preciso haver mais de uma faísca quente vermelha para ser uma fonte de ignição eficaz. A eletricidade estática derivada do acionamento de correias também deve ser levada em consideração.

9.7.2.5 Faíscas elétricas / Fontes de ignição elétricas

As faíscas elétricas podem ser criadas, por exemplo, por uma conexão elétrica defeituosa ou por um transmissor de pressão com defeito, abertura e fechamento de circuitos elétricos, ou motor elétrico com escovas. O teor de energia elétrica da faísca determina a eficácia da fonte de ignição.

Componentes elétricos podem ser fontes de ignição. Logo, é importante projetar ou fabricar equipamentos de AVAC-R de modo a evitar que o fluido refrigerante inflamável vaze e escorra ou se acumule perto de componentes elétricos.

Os componentes elétricos típicos que fazem parte de sistemas de refrigeração e poderiam atuar como fonte de ignição incluem:

- Chaves de liga/desliga, interruptores isoladores ou contatores;

  Relés de partida e relés do potencial;
- Chaves para operação com pressão, degelo, fluxo, diferencial de óleo, nível de líquido, retardo ou tempo do ventilador;
- Sobrecargas térmicas;
- Motores de ventilador;
- Termostatos;

- Bombas de condensado;
- Minidisjuntores;
- Aquecedores de degelo cuja temperatura ultrapasse 350 °C;
- Controladores de velocidade de ventilador;
- Controladores programáveis; e
- Os telefones celulares também podem ser uma fonte de ignição elétrica. Eles não devem ser usados no ambiente direto de trabalho.

Não se trata de uma lista exaustiva, mas mostra as fontes de ignição mais comuns com as quais um profissional na área de AVAC-R pode entrar em contato.

Equipamentos elétricos como ventiladores, aquecedores, tomadas elétricas, motores e qualquer outro equipamento elétrico instalado ou com chances de ser usado perto de sistemas, que contêm fluidos refrigerantes inflamáveis, também devem ser considerados, em especial equipamentos montados abaixo do sistema de refrigeração e no piso ou próximo do piso.

Os regulamentos nacionais devem ser seguidos durante a instalação de equipamentos elétricos. Equipamentos elétricos que poderiam atuar como fontes de ignição podem ser selecionados e instalados, de acordo com os objetivos da IEC 60079-14 Atmosferas explosivas - Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas. Essa norma contém os requisitos específicos para o projeto, seleção, montagem e inspeção inicial de instalações elétricas em atmosferas explosivas ou associadas a elas.

9.7.2.6 Alta temperatura da superfície

As superfícies quentes são geradas por elementos de aquecimento (radiadores, fogões, boilers, peças quentes de máquinas). A temperatura quente da superfície também pode ser o resultado de fresagem, retificação, fricção, fricção mecânica em uma caixa de vedação ou rolamento, ou de um líquido quente bombeado para dentro de um cilindro.

As substâncias inflamáveis têm uma temperatura de autoignição na qual elas podem entrar em combustão espontânea na presença de oxigênio. Para a maioria dos fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, ela gira em torno de 450 °C. Por questões de segurança, a temperatura da superfície de todas as partes dos equipamentos não deve ultrapassar 100 K menos a temperatura de autoignição, então não deve ultrapassar 350 °C.

Durante a operação normal, as superfícies dos sistemas não devem atingir as temperaturas de autoignição.

Qualquer peça do equipamento, que poderia ter contato com o fluido refrigerante vazado e que poderia atingir uma temperatura alta em operação normal, deve ser verificada para garantir que a temperatura da superfície não ultrapasse a temperatura de autoignição menos 100 K.

Atenção: Alguns fluidos refrigerantes e lubrificantes se decompõem quando aquecidos e liberam compostos tóxicos. Isso significa que pode haver perigo de toxicidade (ainda que não haja ignição) resultante do escape de fluido refrigerante, por causa de um vazamento ou procedimento de manutenção.

A decomposição térmica costuma acontecer a temperaturas próximas da temperatura de autoignição.

Consulte a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para determinar as características de decomposição térmica e o nível de risco no contexto de superfícies próximas, que possam atingir essas temperaturas. No caso de fluidos refrigerantes fluorados, tenha especial atenção para o potencial de geração de fluoreto de hidrogênio e de haleto de carbonila.

Atenção: Alguns detectores de vazamento de gás comuns, como os que têm sensores a diodo aquecido, podem não ser aplicáveis para fluidos refrigerantes inflamáveis. Sempre verifique junto ao fabricante se é seguro usar seu detector.

9.7.2.7 Descarga eletrostática (ESD)

As faíscas de descarga são causadas por uma diferença no potencial, quando entram em contato com peças carregadas. A eletricidade estática pode ser gerada por ar deslizando sobre uma asa. A ESD ocorre quando objetos com cargas diferentes são colocados próximos uns dos outros ou quando o dielétrico entre eles se rompe, em geral criando uma faísca visível. A maioria das descargas eletrostáticas é gerada por "tribocarga", que é um processo de eletrificação por contato que possibilita acúmulo de eletricidade estática quando as superfícies se tocam ou se esfregam umas nas outras em combinações específicas de dois materiais diferentes (ex.: cabelo/pente; vidro/pele de animal; etc.).

Siga as precauções para eliminar a descarga eletrostática (ESD)!

Deve-se evitar o acúmulo de ESD durante a carga de um sistema de refrigeração/recolhimento de fluido refrigerante de um sistema de refrigeração com cilindro.

Recomenda-se fazer o aterramento elétrico de todos os equipamentos (fio terra), incluindo o corpo humano (durante o trabalho na unidade).

Para evitar a ESD, devem ser seguidos procedimentos que evitam ou eliminam a corrente elétrica.

O aterramento é fundamental para bloquear a ESD (veja a Figura 55).

Confira se tudo no ambiente de trabalho está conectado a um sistema confiável de aterramento, como segue:

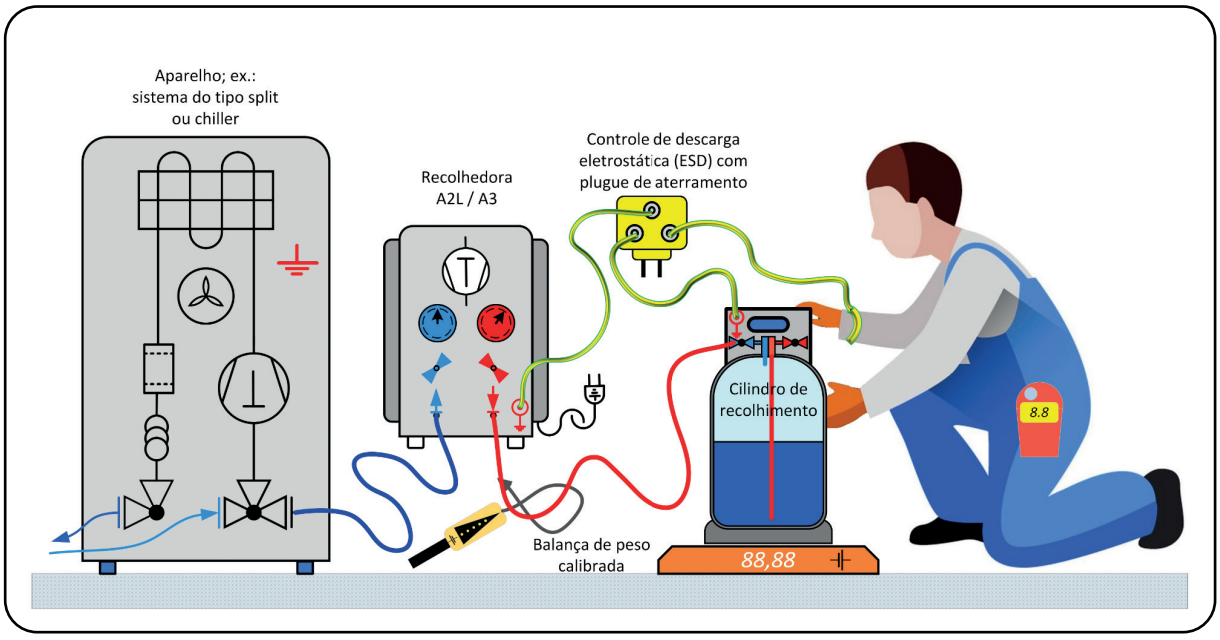
- Deve ser usada uma tira de aterramento entre a conexão de latão de serviço do aparelho/sistema no qual o serviço será feito, o cilindro de carga/recolhimento de gás inflamável e a recolhedora (se aplicável);

- As tiras de aterramento devem ficar o tempo inteiro em contato com uma superfície de metal não pintada, para garantir a continuidade e a descarga de ESD;

- As tiras de aterramento ou pulseiras antiestáticas, usadas no pulso e ligadas a um condutor de aterramento, como um tapete no piso ou uma tomada de aterramento, direcionam de modo seguro a eletricidade estática para a terra; e

- Tapetes de aterramento ou antiestáticos, ligados a uma tomada de parede, proporcionam uma superfície de aterramento usada para absorver a eletricidade estática.

Figura 55 — Aterramento durante o trabalho para evitar descarga eletrostática



Fonte: Rolf Huehren.

9.7.2.8 Radiação eletromagnética

Várias formas de radiação eletromagnética de determinadas frequências podem servir de fonte de ignição, quando em densidades suficientes de energia. Por exemplo:

- Ondas eletromagnéticas de radiofrequência (RF) (104 Hz a 3 x 1.011 Hz);
- Ondas eletromagnéticas como as ondas de luz (3 x 1.011 Hz a 3 x 1.015 Hz);
- Radiação ionizante gerada, por exemplo, por tubos de raios X e substâncias radioativas; e
- Ondas de som ultrassônico.

Em geral, as superfícies receptoras/condutoras geram calor e recebem alta temperatura na presença de campos de energia suficientemente altos.

Substâncias inflamáveis não devem ser usadas nessas áreas.

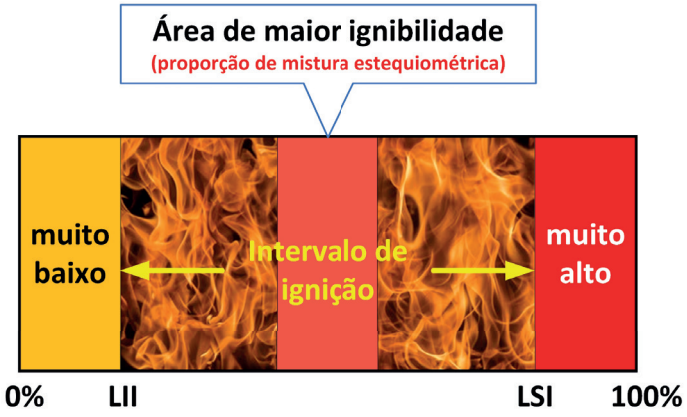
9.7.3 Concentração de substâncias inflamáveis

A Figura 56 mostra o intervalo de inflamabilidade para diversas substâncias inflamáveis. A concentração de substância inflamável tem que estar entre o limite inferior de inflamabilidade (LII) e o limite superior de inflamabilidade (LSI) para que a mistura seja inflamável.

Em espaços abertos, não é aceitável pensar que se a substância inflamável estiver acima do LSI isso já representa uma forma de evitar explosões, já que concentrações mais altas sempre se diluem para misturas com menor concentração.

Restrições de tamanho de carga em normas de segurança garantem que a concentração em uma sala não ultrapasse o LII.

Figura 56 — Intervalos de concentração de algumas substâncias inflamáveis selecionadas



	LII	LSI
Hidrogênio	4%	76%
Acetileno	1,5%	80%
Metano	5%	15%
Propano (R-290)	1,8%	8,4%
Isobutano (R-600a)	1,5%	9,5%
Difluorometano (R-32)	13%	33,4%

Os limites de explosão são quantidades específicas para cada substância.

Fonte: Rolf Huehren.

10

Prevenção de acidentes na aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis

10. Prevenção de acidentes na aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis

10.1 Vazamento, sufocamento, intoxicação, incêndio, explosão, queimadura pelo frio

Todos os gases usados na instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de AVAC-R podem provocar graves problemas de saúde, dependendo do gás específico e de sua concentração, duração da exposição e rota de entrada. Os sintomas associados à exposição a gases podem ser imediatos ou posteriores.

Atenção: Como os gases são invisíveis, é difícil detectá-los. Eles têm o potencial de causar asfixia, queimadura ou danos aos usuários.

Sempre é necessário dispor de ventilação adequada quando for trabalhar com gases inflamáveis ou tóxicos.

Detectores permanentes de gás também podem ser exigidos, ou a necessidade de carregar detectores pessoais de gás para a detecção de vazamento. Os detectores e monitores de gás devem ser calibrados e mantidos conforme as instruções de operações do fabricante. Em geral, os registros de manutenção devem ser arquivados.

10.1.1 Queimaduras químicas / queimaduras pelo frio

Alguns gases comprimidos são corrosivos. Eles podem queimar ou danificar a pele, se entrarem em contato com ela, queimar os olhos ou os pulmões caso inalados, bem como atacar e corroer metais. Todos os produtos de fluidos refrigerantes em decomposição com combustão são perigosos, em caso de exposição direta.

Lesões criogênicas de queimadura pelo frio causadas por fluidos refrigerantes (veja a Figura 57 e a Figura 58) podem acontecer, se forem desrespeitadas as precauções de segurança. Lesões diretas extremas costumam ocorrer devido à desconexão indevida das mangueiras de transferência de fluidos refrigerantes ou ruptura direta acidental de linhas de fluidos refrigerantes no circuito de RAC (com ausência de EPIs). O tempo de exposição é o principal fator que determina a profundidade e a gravidade da queimadura; portanto, a diminuição do tempo de exposição é uma atitude importante na prestação dos primeiros socorros. Depois da exposição, o paciente deve ser tratado em um centro especializado em queimaduras, dependendo da gravidade.

As precauções incluem:

- Uso apropriado de EPIs ao manusear fluidos refrigerantes (óculos de proteção, luvas, etc.);
- Proteção de todas as superfícies expostas da pele contra o contato com gases corrosivos ou liquefeitos; e
- Verificação de que os reguladores e válvulas de gases estejam fechados quando o(s) cilindro(s) não estiver(em) em uso.

Figura 57 — Queimadura pelo frio provocada pela amônia

Fonte: IKET.

Figura 58 — Acidente com ulceração produzida pelo frio devido ao fluido refrigerante

Fonte: Rolf Huehren.

Atenção: Sempre use as luvas por cima das mangas da roupa. E sempre usar as pernas da calça (ou macacão) para fora dos canos das botas!

10.1.2 Asfixia

A composição do ar

O ar consiste principalmente de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), e de quantidades menores de argônio (Ar), dióxido de carbono (CO_2) e outros gases, como neon, hélio e metano.

A composição é mostrada na Tabela 21:

Tabela 21 — Composição do ar

Gás	Porcentagem
N_2	78%
O_2	21%
Ar (Argônio)	0,9%
CO_2	0,04%
Outros	0,06%

Fonte: Pohlmann.

Sintomas de deficiência de oxigênio

Sem oxigênio, o corpo não consegue sobreviver. Baixas porcentagens de oxigênio já podem acarretar situações perigosas, e concentrações muito baixas podem acabar levando à morte por asfixia. A Tabela 22 mostra sintomas causados por deficiência de oxigênio.

Tabela 22 — Sintomas de deficiência de oxigênio

Teor de oxigênio (vol%)	Efeito e sintomas (a pressão atmosférica e ao nível do mar).
21	Porcentagem de oxigênio encontrado no ar normal> sem efeito.
19,5	Nível mínimo de oxigênio permitido > sem efeito.

(Continuação)

Teor de oxigênio (vol%)	Efeito e sintomas (a pressão atmosférica e ao nível do mar).
11 - 14	Diminuição do desempenho físico e intelectual sem a pessoa perceber.
8 - 11	Possibilidade de desmaio após um breve período sem aviso.
6 - 8	Desmaio em poucos minutos, com possibilidade de ressuscitação se for realizada imediatamente.
0 - 6	Desmaio quase imediato, sucedido de morte, com danos cerebrais se houver resgate.

Fonte: Pohlmann.

Atenção: A maioria dos casos de morte envolvendo fluidos refrigerantes acontece por asfixia! Se houver escape desses gases e eles não forem detectados no ar do ambiente de trabalho, eles podem rapidamente diminuir os níveis de oxigênio abaixo das concentrações necessárias para que a pessoa fique consciente!

Dependendo de se o gás se acumula acima ou abaixo do ar, é importante instalar detectores de gás próximos do piso (ex.: hidrocarbonetos) ou próximos do teto (ex.: amônia). Evite ficar em pé/deitado embaixo de um sistema no qual possa ocorrer escape de fluido refrigerante pesado.

A grande maioria dos gases é mais pesada que o ar e, portanto, acumula-se em áreas mais baixas, como porões, tubulações de esgoto ou fossas. Só alguns poucos gases são mais leves que o ar e se acumulam em áreas mais altas, conforme mostrado na Figura 59.

Se você entrar em contato com algum gás no trabalho, é sempre importante saber se ele fica no chão ou se sobe, em caso de exposição ao ar. Para saber, é preciso determinar se a densidade do gás é mais baixa que a do ar ambiente, e nesse caso o gás sobe, ou se a densidade é mais alta, e nesse caso ele desce.

A densidade ("*p*" em kg/m³) dos diferentes gases (substâncias) pode ser usada. A densidade específica (SD) dos fluidos refrigerantes também é importante para o cálculo dos pesos de carga de cilindros de recolhimento de fluidos refrigerantes.

A densidade depende da temperatura do gás a pressão atmosférica e é definida em:

1. CNTP — Condições normais de temperatura e pressão - definido como 20 °C (293,15 K, 68 °F) e 101,325 kPa;
2. CPTP — Condições padrão de temperatura e pressão - definido como 0 °C (273,15 K, 32 °F) e 101,325 kPa;
3. AHRI K-2015 — definido como 25 °C (298,15 K, 77 °F) e 101,325 kPa;
4. EN 378- 4; C2 - definido como 50 °C (323,15 K, 122 °F) e 101,325 kPa;
5. ISO 5149-4 (equivalente à ABNT NBR ISO 5149- 4); C2 — definido como 20 °C (293,15 K, 68 °F) e 101,325 kPa; e
6. A densidade do ar em CNTP é de 1,205 kg/m³.

Infelizmente, existem três problemas quando se usa essa densidade:

a. Existem inúmeras substâncias transportadas, armazenadas e processadas. Aprender a densidade de todas essas substâncias é uma tarefa que demanda bastante tempo.

b. Para a saúde e segurança ocupacional e combate a incêndios, além dos fluidos refrigerantes é preciso saber os parâmetros para outras substâncias como gases de combustão, combustíveis, solventes...

c. A densidade depende da temperatura do gás. Para isso, é preciso levar em conta muitos valores diferentes de cálculo.

Esse dilema pode ser resolvido com outra unidade: a massa molar do gás.

Para determinar se um gás está subindo ou descendo, é preciso ter a massa de referência do ar. Sabe-se que o ar é formado por 78,084% de nitrogênio, 20,942% de oxigênio, 0,934% de argônio e 0,038% de dióxido de carbono (todas as porcentagens se baseiam no volume). Todos os demais componentes ocorrem no intervalo de ppm no ar e podem ser ignorados para fins de cálculo.

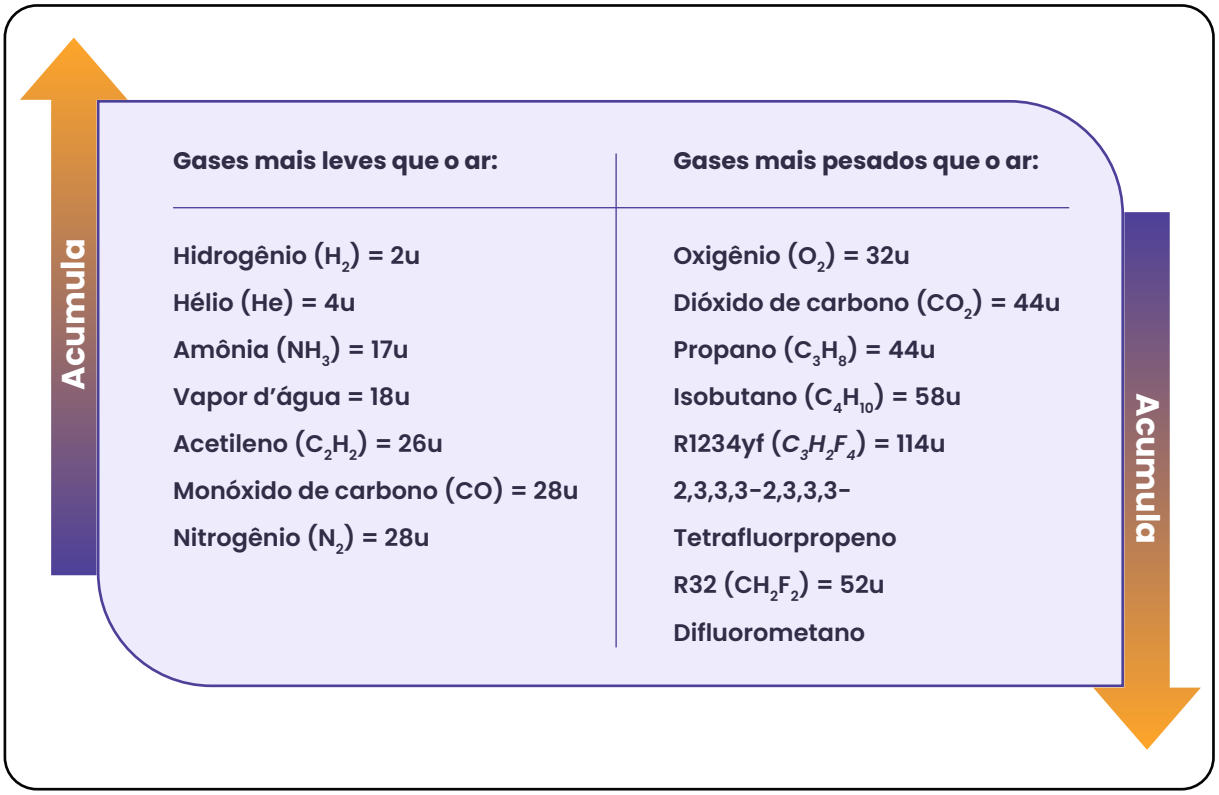
Quando as massas atômicas são acrescentadas, o resultado é arredondado para 29u ("u" representa a unidade SI "*unidade de massa atômica unificada*", 1u = 1g/mol). Qualquer coisa com massa atômica ou molecular menor que 29u sobe, e qualquer coisa maior ou igual a 29u desce.

Exemplo de cálculo de massa atômica para o ar:

Componente	Vol. %	Fórmula molecular	Massa
Nitrogênio	78,084%	N_2	2 * 14u = 28u
Oxigênio	20,942%	O_2	2 * 16u = 32u
Argônio	0,934%	Ar	40u
Dióxido de carbono	0,038%	CO_2	12 + 2 * 16u = 44u

Se somarmos as massas atômicas, obteremos a massa molar do ar: 0,78084 * 28u + 0,20942 * 32u + 0,00934 * 40u + 0,00038 * 44u = 28,95528u (kg/kmol).

Figura 59 — Massas molares específicas de determinados gases em comparação com o ar



Fonte: Rolf Huehren.

A massa molar de fluidos refrigerantes inorgânicos como R-717 (amônia), R-744 (dióxido de carbono), R-718 (água) e R-729 (ar) vem indicada no número do fluido refrigerante (ABNT NBR 16666). Esses fluidos refrigerantes vêm indicados com o primeiro dígito "7", seguido pelos dois dígitos restantes para a massa molar (R-729 para ar possui massa molar de 29u). Para ver mais referências, consulte também a ISO 817 e a ABNT NBR 16666. Fica bem fácil de lembrar para gases importantes como a amônia (mais leve = 17u) e dióxido de carbono (mais pesado = 44u) com diferentes comportamentos em caso de exposição ao ar. A massa molar pode ser obtida na FISPQ de cada substância.

10.1.3 Pressão

Todos os gases comprimidos são perigosos devido à alta pressão dentro do sistema de AVAC-R e dos cilindros de armazenamento. As pressões internas no cilindro podem chegar a até 415 bar para determinados usos e aplicações. [Para fins de comparação: a pressão de um pneu de carro costuma variar entre 2,5 e 3 bar (35-45 psi).] Danos na válvula do cilindro podem resultar em rápida liberação do gás de alta pressão, impulsionando o cilindro como se fosse um foguete, causando danos pessoais permanentes e danos à propriedade.

10.1.4 Perigos físicos

Os cilindros de gás comprimido são grandes, pesados e difíceis de manusear. Em geral, são feitos de aço, alumínio ou algum tipo de composto. Manusear de forma indevida, ou não segurar corretamente os cilindros durante o uso, pode fazer com que eles caiam, provocando lesões nos trabalhadores. Um cilindro industrial comum de alta pressão tem 1,5 m de altura e pesa em média 65 kg.

Tipos de substâncias sob pressão e de temperaturas muito baixas são apresentados na Figura 60.

Figura 60 — Tipos de substâncias sob pressão e de temperaturas muito baixas

Gases liquefeitos:
Preenchem o espaço acima do líquido dentro do cilindro na pressão do vapor da substância naquela temperatura. Conforme o gás é retirado do cilindro, o líquido evapora para substituí-lo, mantendo constante a pressão no cilindro, enquanto houver líquido presente. Exemplos: a maioria dos fluidos refrigerantes, incluindo amônia, propano e dióxido de carbono.

Gases não liquefeitos (também chamados de gases comprimidos, pressurizados ou permanentes):
Não se tornam líquidos quando são comprimidos na temperatura normal do recinto, mesmo em pressões muito altas. Exemplos: oxigênio, nitrogênio, atmosfera de amônia dissociada (H_2/N_2).

Gases dissolvidos:
Dissolvidos em um solvente líquido a pressões de cerca de 2 bar (29 psi) ou maiores. O acetileno é o único gás dissolvido comumente. O acetileno é muito instável quimicamente e pode explodir mesmo à pressão atmosférica. Os cilindros de acetileno são enchidos totalmente com um enchimento inerte e poroso. O enchimento é saturado com acetona ou outro solvente apropriado e , quando o acetileno é acrescentado ao tanque, ele se dissolve e vira acetona.

Gases criogênicos:
Foram resfriados para um estado líquido abaixo de 150 Kelvin (-123 °C). São extremamente frios e podem provocar queimaduras intensas. Podem ser não inflamáveis, inflamáveis ou oxidantes. Exemplos: nitrogênio líquido, hélio líquido e argônio líquido.

Gelo seco:
Forma sólida do dióxido de carbono (R-744, CO_2). O gelo seco costuma ser produzido para uso industrial (por exemplo: no setor de transporte de alimentos). A sublimação dele ocorre a 194,65 K (-78,5 °C; -109,3 °F), pressão atmosférica. Esse frio extremo faz com que seja perigoso manusear o sólido sem proteção porque ele causa queimaduras por frio.

Fonte: IGV — Industrie Gase Verband e.V.

10.1.5 Danos no cilindro

Atenção: Verifique e evite danos no cilindro, porque isso pode levar a situações perigosas.

Incêndio e calor: fazem com que o cilindro se expanda e contraia com mudanças de pressão. Os cilindros feitos de alumínio são mais afetados pelo calor, do que os cilindros feitos de aço, e podem explodir.

Danos no arco: as operações de soldagem podem provocar elevação do calor e subsequente dano no arco do cilindro, causando explosão por pressão ou a ativação do dispositivo de alívio de pressão. As queimas de arco são facilmente reconhecidas por um ponto, ou série de pontos de tinta recém-queimada que acaba expondo o metal.

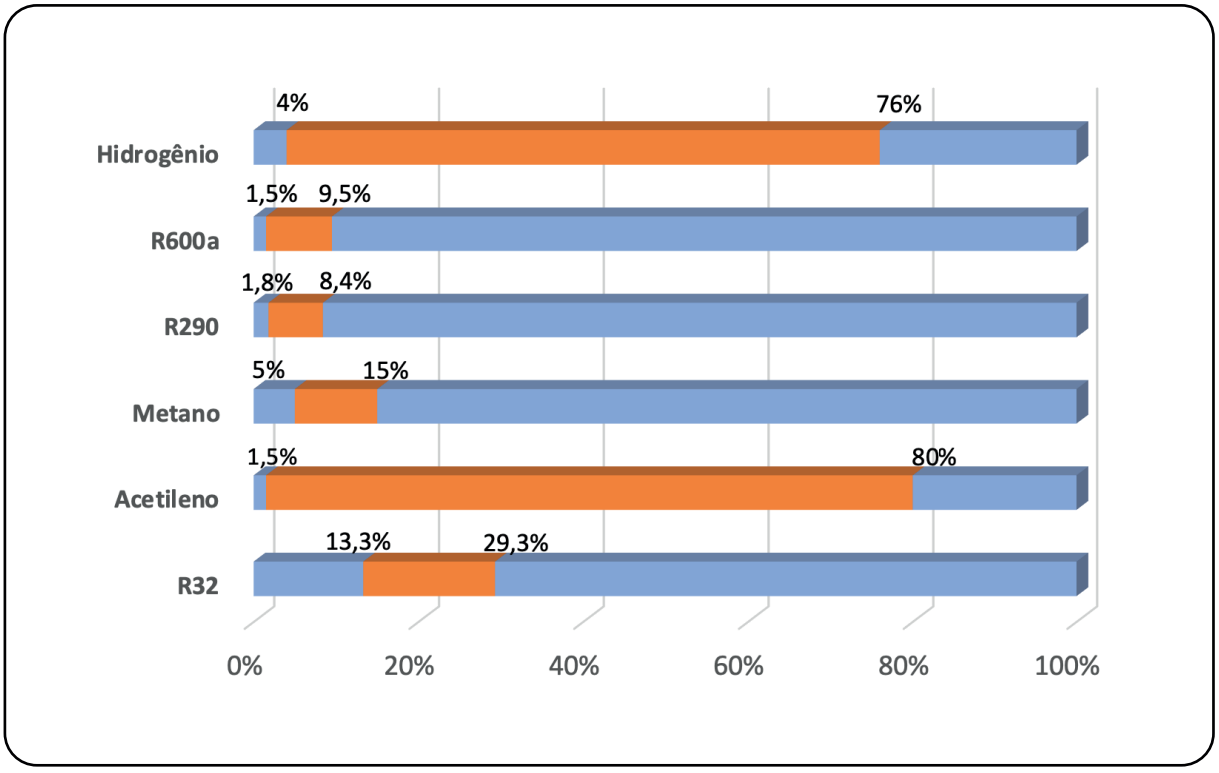
Amassados: causados por impacto ou por manuseio indevido, por exemplo, podem enfraquecer as paredes do cilindro, fazendo com que ele fique mais suscetível a rompimento.

Corrosão: umidade, sal, corrosivos e outros materiais podem corroer os cilindros, especialmente na parte inferior quando armazenados no chão. Os cilindros devem ser armazenados em local seco, e sobre superfície de concreto.

10.1.6 Incêndio e explosão

Gases inflamáveis como acetileno, propano e hidrogênio podem queimar ou explodir sob determinadas circunstâncias. Se houver acúmulo de gases até uma concentração entre LII e LSI, pode ocorrer um incêndio ou explosão, se uma fonte de ignição estiver presente. A Figura 61 mostra o intervalo de inflamabilidade dos gases típicos. O propano, por exemplo, tem um intervalo de inflamabilidade entre 2,1% (LII) e 9,5% (LSI). O intervalo de concentração no qual existe risco de incêndio e explosão está mostrado em laranja. Tenha ciência de que uma alta concentração pode sempre se diluir em uma concentração menor. As concentrações acima do LSI podem rapidamente virar concentrações inflamáveis.

Figura 60 — Tipos de substâncias sob pressão e de temperaturas muito baixas



Fonte: Rolf Huehren.

O único hidrocarboneto com um leve cheiro de gás é o propeno (R-1270). O cheiro do R-32 é volátil, com propriedades fracas de advertência em baixas concentrações. A maioria dos hidrocarbonetos (R-290, R-600a) não tem cheiro, o que significa que é difícil detectar um vazamento que poderia acarretar uma concentração inflamável. Aditivos odorizantes costumam ser acrescentados a gases de combustão para avisar as pessoas sobre qualquer vazamento de gás. Os aditivos odorizantes não são eficazes em sistemas de refrigeração e ar condicionado equipados com filtro secador. O filtro secador pode remover os aditivos odorizantes do fluido refrigerante durante a operação. Isso pode dar uma falsa sensação de segurança, porque os vazamentos passam despercebidos.

Os aditivos/agentes odorizantes não são usados em fluidos refrigerantes porque podem:

- Danificar compressores herméticos;
- Bloquear filtros; e
- Contaminar fluidos refrigerantes HC.

Atenção:

O propano e o isobutano não têm cheiro.

- Aditivos odorizantes NÃO são usados no R-290 nem no R-600a;
- O cheiro do R-32 é volátil.

10.1.7 Proteção contra incêndio

Proteção contra incêndio significa todas as providências que evitam o desenvolvimento de um incêndio (fogo e fumaça) ou a propagação de um incêndio (proteção preventiva contra incêndio ou prevenção contra incêndio), e que possibilitam o resgate de pessoas e animais de um incêndio e a extinção eficaz de um incêndio (defesa contra incêndio).

A proteção contra incêndio é complexa e faz parte de muitas áreas da segurança ocupacional. No Brasil, as exigências de proteção contra incêndio podem ser encontradas em uma série de leis, como leis de combate a incêndio, códigos de construção, regulamentos e diretivas. De maneira geral, faz-se distinção entre proteção preventiva e defensiva contra incêndio. A norma regulamentadora brasileira NR-23 cobre proteção contra incêndios no local de trabalho.

A **prevenção de incêndios** se concentra em treinamentos e conscientização. O objetivo da prevenção de incêndios é treinar trabalhadores qualificados e o público sobre as precauções para evitar potenciais incêndios perigosos, e para que eles se protejam também. É um método proativo de evitar emergências e os danos provocados por elas. Muitas corporações de Corpos de Bombeiros têm oficiais responsáveis pela prevenção de incêndios, que podem orientar em questões de segurança.

10.1.7.1 Extintores de incêndio

O extintor de incêndio é um pequeno extintor portátil, que pesa no máximo 20 quilos. Ele é usado para extinguir incêndios pequenos e logo no início, e contém agentes extintores emitidos sob pressão armazenada ou comissionada. Os agentes extintores apropriados são aqueles que não reagem de forma perigosa com o fluido refrigerante ou o fluido de transferência de calor.

Para o setor de AVAC-R, a recomendação geral é fornecer extintores de incêndio portáteis, na quantidade e no tamanho suficientes, para, por exemplo:

- Veículos de serviço;
- Salas de máquinas;
- Salas especiais; e
- Áreas públicas.

Os extintores de incêndio são rotulados de maneira específica e possuem cinco blocos de títulos, conforme a norma europeia EN 3-5:

1. A palavra extintor de incêndio, a quantidade e o tipo de agente extintor, e a capacidade de extinção;
2. O manual com texto e com pictogramas, bem como as classes de incêndio para as quais o extintor de incêndio é adequado;
3. Uma advertência para uso com sistemas elétricos;
4. A descrição do agente extintor, o agente propulsor, a área funcional, o número do tipo de aprovação e o tipo de designação; e
5. Informações sobre o fabricante.

10.1.7.2 Manutenção

A manutenção do extintor de incêndio é feita de acordo com a Portaria nº 58 do Inmetro, assim como os regulamentos de teste e carga elaborados pelo fabricante. As pessoas e as empresas que fazem a manutenção de extintores de incêndio devem ser certificadas pelo Inmetro. Conforme essa norma, o funcionamento do extintor de incêndio deve ser verificado a cada 12 meses. A cada cinco anos, o extintor de incêndio deve passar também por um teste hidrostático, para verificar a resistência e a integridade do equipamento.

A revisão garante:

- O funcionamento adequado do extintor; e
- A segurança do usuário do extintor de incêndio (se ele for operado com alta pressão).

Se for aprovado na inspeção, o extintor de incêndio recebe um selo de inspeção. Os extintores de incêndio usados devem ser encaminhados para empresas especializadas para restauração.

10.1.7.3 Classificação

Existem vários métodos de classificação internacional para extintores de incêndio portáteis, que determinam o respectivo uso para diferentes classes de incêndio. Você pode encontrar informações mais detalhadas na Tabela 23.

10.1.7.4 Tipos de extintores de incêndio

Diversos tipos de extintores de incêndio estão disponíveis no mercado internacional, conforme mostrado na Tabela 23.

Atenção:

Para o uso em aplicações de AVAC-R, recomendam-se os extintores de incêndio com carga de pó e CO_2. A recomendação é ter os dois tipos de extintores disponíveis para cenários específicos de incêndio (ex.: veículos de serviço, salas de máquina).

Tabela 23 — Extintor de incêndio recomendado para aplicações de AVAC-R

Água	Pó	Espuma	CO_2	Químico úmido	Névoa de água deionizada
Contra incêndio em madeira, roupas, carvão mineral, plástico, papel, têxteis e outros materiais sólidos	Contra incêndio em materiais sólidos, líquidos, gasosos e equipamentos elétricos	Contra incêndio em materiais sólidos e líquidos	Contra incêndio em materiais líquidos e elétricos	Contra incêndio envolvendo óleos de cozinha e gordura	Contra a maioria dos tipos de incêndio
Classe de incêndio: A	Classes de incêndio: A; B; C	Classes de incêndio: A; B	Classe de incêndio: B	Classes de incêndio: A; F	Classes de incêndio: A; B; C; F
Não adequado contra todos os demais tipos de incêndio	Não adequado contra incêndio em panelas fundas de fritura ou em metal	Não adequado contra incêndio em gás, metal, equipamentos elétricos ou panelas fundas de fritura ou gordura	Não adequado contra incêndio em gás, metal ou panelas fundas de fritura ou gordura	Não adequado contra outros tipos de incêndio	Não adequado contra incêndio em líquido e gás
	Recomendado para AVAC-R		Recomendado para AVAC-R		

Fonte: commanderfire.com.

10.1.8 Primeiros socorros

A expressão “primeiros socorros” significa assistência no local, antes de a pessoa ferida ou doente receber atendimento médico.

Muitas vezes a vida da pessoa ferida depende da administração dos primeiros socorros, o mais rápido possível, diretamente no local do acidente. O empregador (contratante) é responsável pela eficácia dos primeiros socorros e deve tomar as devidas providências. Isso inclui a designação de um número suficiente de socorristas, garantindo treinamento apropriado, e o fornecimento de equipamentos adequados de primeiros socorros. Em caso de acidentes com fluidos refrigerantes, é importante informar o (s) socorrista (s) e, posteriormente, os profissionais de saúde (médico de plantão, etc.), dependendo da situação.

Figura 62 — Tratamento de primeiros socorros em caso de lesões causadas pelo frio

Fonte: Rolf Huehren.

Exemplo de queimadura pelo frio

Ex.: Exposição ao fluido refrigerante

As queimaduras pelo frio costumam ser tratadas como queimaduras (veja a Figura 62):

- Lave com água abundante;
- Use uma pomada para queimadura (sulfadiazina de prata - SSD);
- Não coloque curativo nem nada parecido sobre a ferida! Isso poderia causar mais danos (inflamação, infecção etc.); e
- Se necessário, dependendo da gravidade, procure um médico ou hospital.

10.1.8.1 Emergência

Emergência é uma situação grave, inesperada e geralmente perigosa que exige que uma providência seja tomada imediatamente. O procedimento de emergência é um plano de ação a ser conduzido em determinada ordem ou maneira, em resposta a um evento de emergência, conforme esquematizado na Figura 63.

Figura 63 — Plano de ação em resposta a uma emergência

Ligação de emergência

- **Onde** foi que o acidente aconteceu?
- **O que** aconteceu?
- **Quantas pessoas** estão feridas?
- **Quais** são os ferimentos?
- **Espere** para responder eventuais perguntas do centro de coordenação de resgate. Nunca desligue a ligação por iniciativa sua.

Em caso de emergência, ligue para:
192 (emergência médica)

Fonte: Rolf Huehren.

10.1.8.2 Primeiros socorros gerais em caso de exposição ao fluido refrigerante

Contato com os olhos

Lave imediatamente os olhos com água em abundância, e levante um pouco as pálpebras superiores e inferiores. Verifique e retire as lentes de contato, se for o caso. Continue lavando por pelo menos 10 minutos. Procure um médico se ocorrer irritação nos olhos.

Inalação

Leve a vítima para um local com ar fresco e mantenha a pessoa em repouso em posição confortável para respirar. Se a pessoa não estiver respirando, se a respiração dela estiver irregular, ou se ocorrer parada respiratória, providencie respiração artificial ou oxigênio ministrado por pessoas treinadas para essa função. Pode ser perigoso para a pessoa que está prestando os primeiros socorros fazer ressuscitação com respiração boca a boca. Procure um médico se os efeitos adversos persistirem ou ficarem graves. Se a pessoa estiver inconsciente, coloque-a em posição de recuperação [11] e procure um médico imediatamente. Mantenha as vias aéreas desobstruídas. Afrouxe roupas apertadas, como golas, gravatas, cintos ou faixas na cintura.

Contato com a pele

Lave a pele contaminada com água e sabão. Tire as roupas e os sapatos contaminados. Para evitar o risco de descargas estáticas e ignição de gás, molhe bem as roupas contaminadas com água antes de tirá-las. Procure um médico se surgirem sintomas. Lave as roupas antes de usá-las novamente. Limpe bem os sapatos antes de usá-los novamente.

[11] Também conhecida como posição lateral de segurança, é utilizada em primeiros socorros para manter as vias aéreas de uma vítima inconsciente aberta.

Ingestão

Como tratamos de fluidos refrigerantes, em estado gasoso, mesmo que absorvidos pela boca, manter os mesmos procedimentos da seção inalação.

10.1.8.3 Primeiros socorros envolvendo acidentes causados por correntes elétricas

Em caso de acidente causado por corrente elétrica, proteja-se. A corrente que está passando através da vítima deve ser interrompida.

Sistema de baixa tensão:

A tensão doméstica e industrial costuma ser de 230/400 V até no máximo 1.000 V. A interrupção do circuito pode ser feita, por exemplo, desligando o equipamento, tirando a tomada da parede, ou tirando o fusível. Se não for possível interromper o circuito, a vítima deve ser separada das partes vivas (por ex. cabos elétricos) com um objeto não condutor, como uma haste isolada.

Aviso de tensão perigosa

Sistema de alta tensão:

Acima de 1.000 V, os sistemas são marcados com o símbolo do raio com uma seta (imagem do Aviso de Tensão Perigosa ao lado). Deve-se ligar imediatamente para o médico de emergência e avisar o pessoal qualificado. O resgate de sistemas de alta tensão só pode ser feito por pessoal qualificado. Logo, só a equipe competente com a devida autorização tem permissão para desligar o circuito.

Se a tensão não for conhecida, assim como nos sistemas de alta tensão, deve ser mantida uma distância de segurança de pelo menos cinco metros. Devem ser tomadas as mesmas providências que no caso de alta tensão.

10.2 Equipamentos de proteção individual

Os equipamentos de proteção individual (EPIs) devem incluir em geral roupas de proteção, botas, luvas e equipamentos para proteção respiratória. Os usuários de EPIs devem consultar as respectivas disposições de saúde e segurança ocupacional e a norma regulamentadora brasileira NR-6 referente à aplicação delas, porque as exigências e as obrigações podem ser diferentes.

Os acidentes no local de trabalho podem ser em boa parte atribuídos a defeitos técnicos, a deficiências organizacionais, como falta de instruções de trabalho ou instruções inadequadas (por exemplo, indisponibilidade de EPIs, ou uso inadequado de EPIs), bem como a falhas humanas, como ações impróprias.

A abordagem básica para medidas de segurança ocupacional está apresentada na Figura 64.

Figura 64 — Visão geral das medidas de segurança ocupacional

Fonte: Rolf Huehren.

EPIs são equipamentos especiais (como roupas, dispositivos ou objetos) para autoproteção e representam uma medida de controle de riscos, cujo uso é exigido por lei para trabalhar com atividades que têm o potencial de serem perigosas para a saúde. Porém, em geral ele é usado como uma medida de último recurso quando outras medidas de controle de riscos não funcionam.

O empregador tem a obrigação de fornecer os EPIs adequados para o trabalhador.

No contexto desta seção, há duas situações comuns nas quais os EPIs são considerados:

1. Em condições normais de trabalho; e
2. Em resposta a uma emergência.

É óbvio que, durante uma emergência, muitas das medidas rotineiras de controle de riscos já não funcionaram e os EPIs ganham maior importância. Entretanto, eles não devem ser vistos como a única abordagem para gerenciar os riscos identificados ou suspeitos.

A escolha dos EPIs se baseia em diversos fatores. Entre eles:

- O tipo e a natureza dos perigos, como inflamabilidade, contaminantes elétricos e transportados pelo ar;
- Local do trabalho ou tarefas, como área aberta, espaço confinado, trabalho em altura;
- O tipo de tarefa; ex.: trabalho a quente, tarefas manuais ou manuseio de produtos químicos;
- Adequação dos EPIs para perigo, desempenho do incêndio, proteção química, dissipação de calor; e
- Adequação do operador (condicionamento físico, idade, estresse físico e psicológico).

Além da escolha dos EPIs, devem ser consideradas as políticas de trabalho e outros fatores como comunicação, metodologia de trabalho, riscos de segurança (para a equipe de resgate, por exemplo) e detecção de gás.

Garantir os EPIs adequados para o local de trabalho é de suma importância, e as considerações devem incluir:

- Seleção e avaliação;
- Política e procedimentos;
- Treinamento;
- Manutenção e serviço;
- Uso e descontaminação; e
- Revisão e auditorias.

10.2.1 Visão geral de EPIs

As tabelas, apresentadas a seguir, dão uma visão geral dos EPIs para diferentes fins de proteção.

Tabela 24 — Proteção da cabeça

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Capacete rígido	Figura 65 - *Capacete rígido* Fonte: 3M.	O EPI mais comum para a segurança da cabeça é o capacete rígido. O capacete rígido é usado para evitar lesões na cabeça decorrentes da queda de objetos, choque elétrico e lesões causadas por golpes de objetos pendurados em locais acima da cabeça. O uso permanente do capacete rígido pode ser obrigatório em alguns locais como fábricas. O uso de bonés ou gorros por baixo do capacete rígido é proibido. Existem diversas normas internacionais, por exemplo: o capacete rígido deve estar em conformidade com a norma americana ANSI Z89.1 de proteção pessoal — Capacete de proteção para trabalhadores da indústria.
	Capacete	Figura 66 - Capacete para soldagem, etc. Fonte: Toolineo.	O capacete é uma cobertura de proteção para a cabeça, em geral feito de carbono ou metal, projetado para proteger a cabeça inteira. Os capacetes são usados para atividades de soldagem, por exemplo.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 25 — Proteção auricular

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Protetores pré-moldados	Figura 67 - Protetores pré-moldados Fonte: 3M.	Os protetores pré-moldados e os abafadores protegem as orelhas contra ruídos altos, mas também evitam a entrada de elementos estranhos nos canais auditivos em ambientes poluídos. O uso permanente de proteção auricular pode ser obrigatório em alguns locais e fábricas.
	Abafadores	Figura 68 - Abafadores Fonte: 3M.	

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 26 — Proteção dos olhos

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Óculos de segurança - mecânica	Figura 69 - Óculos de segurança Fonte: 3M.	Óculos de segurança, idealmente ajustáveis, resistentes a arranhões e com revestimento antiembaçante.
	Óculos de segurança - refrigeração	Figura 70 - Óculos de segurança com visão completa Fonte: 3M.	Os óculos de segurança com visão completa são projetados especialmente para uso com óculos de grau ou peças semifaciais respiratórias. Eles possuem ventilação indireta.
	Óculos de segurança - brasagem	Figura 71 - Óculos de segurança na cor verde Fonte: 3M.	Óculos de segurança na cor verde, também para quem usa óculos de grau, adequados para soldagem e brasagem com oxiacetileno.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 27 — Proteção para as mãos

Símbolo	EPI	Imagem	Descrição
	Luvas de segurança para brasagem	Figura 72 - Luvas de segurança para brasagem Fonte: Dupont.	Luvas de segurança de Kevlar para brasagem; resistentes ao calor e a cortes. Luvas de couro para brasagem também estão disponíveis. Elas oferecem proteção contra o calor gerado pelo processo e, também, contra superfícies quentes.
	Luvas de segurança para trabalhos mecânicos	Figura 73 - Luvas de segurança para trabalhos mecânicos Fonte: 3M.	Luvas de segurança para trabalhadores da construção civil e mecânica de RAC para proporcionar aderência forte em ambientes secos, ligeiramente úmidos ou oleosos e trabalhos com coordenação motora fina.
	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo Todos os fluidos refrigerantes, exceto o R-717	Figura 74 - Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante e óleo Fonte: Polyco.	As luvas de borracha nitrílica impermeável evitam queimaduras na pele durante o manuseio de fluidos refrigerantes com halocarbonos e hidrocarbonetos, óleos e uma ampla variedade de solventes.
	Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R-717 e óleo	Figura 75 - Luvas de segurança para manuseio de fluido refrigerante R-717 e óleo Fonte: Schick GmbH.	Para amônia anidra, os materiais recomendados para luvas de proteção são o neoprene (OSHA) e o butil. Para informações adicionais, consulte a norma ANSI/ ISEA 105-2016.1
	Luvas de segurança para trabalhos elétricos	Figura 76 - Luvas de segurança para trabalhos elétricos Fonte: eletricistas da Polyco.	As luvas de eletricistas são feitas de borracha natural para trabalhar com fio vivo.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 28 — Proteção para os pés

Símbolo	EPI	Descrição
	Calçados de segurança para trabalhos elétricos	O tipo de botas de segurança recomendado para fazer trabalho técnico em unidades e equipamentos RAC deve ser dielétrico, resistente a óleo e a água, lavável, fechado e com biqueira de fibra de vidro.

Fonte: Rolf Huehren.

Tabela 29 — Roupas de trabalho e arnês de segurança

Símbolo	EPI	Descrição
	Calças de trabalho	Recomenda-se o uso de calças compridas no trabalho, pois elas oferecem alguma proteção e espaço para as ferramentas que precisam estar à mão.
	Macacão de trabalho	Os macacões também oferecem proteção limitada da pele e das roupas durante o trabalho. Uma melhor visibilidade pode ser oferecida por elementos refletivos.
	Arnês de segurança	O arnês de segurança e o sistema de absorção de choque podem ser obrigatórios, por exemplo, no trabalho em shoppings e em fábricas.

Fonte: Rolf Huehren.

10.2 Equipamentos de proteção respiratória

A máscara para respiração é colocada sobre a boca e o nariz para evitar a entrada de substâncias, partículas ou organismos no corpo. As máscaras respiratórias são de purificação do ar, que filtram o ar atmosférico, ou podem ser fornecidas com um suprimento adicional de oxigênio/ar respirável.

As máscaras respiratórias com suprimento de ar não costumam ser necessárias no trabalho com fluidos refrigerantes. As exceções podem ocorrer em determinados tipos de tarefas nas quais a amônia ou o CO_2 são manuseados, ou quando a concentração de fluido refrigerante é tão alta que haja expectativa de ela substituir o ar atmosférico.

Existem muitas normas que definem diferentes tipos de equipamentos ou dão orientações sobre o uso deles:

- EN 133 – Equipamentos de proteção respiratória — Classificação;
- ABNT NBR 12543 – Equipamentos de proteção respiratória — Classificação;
- ABNT NBR 13698 – Equipamentos de proteção respiratória — Peça semifacial filtrante para partículas;
- EN 134 – Equipamentos de proteção respiratória — Nomenclatura dos componentes;
- EN 529 – Equipamentos de proteção respiratória — Recomendações para a seleção, uso, cuidado e manutenção — Documento de orientação; e
- "BGR 190, Regras de segurança e saúde no trabalho". Esse regulamento da associação alemã de seguro de responsabilidade civil para os empregadores fornece informações úteis sobre a seleção e o uso de equipamentos de proteção respiratória para o trabalho e também para casos de evacuação de uma área.

Para fazer a seleção específica de equipamentos de proteção respiratória conforme o uso destinado, consulte o suporte do fabricante. Algumas informações podem ser encontradas nas seções a seguir.

Seleção simplificada de máscaras respiratórias

A Tabela 30 associa os equipamentos a atividades ocupacionais comuns de AVAC-R.

As máscaras respiratórias são classificadas conforme a capacidade delas de filtrar o ar. Cada país ou região adota normas diferentes para testar a eficácia da filtração. As mais usadas são as máscaras que filtram cerca de 95% das partículas de teste; ex.: FFP2, PFF2 ou N95. Elas também foram projetadas para fazer a vedação no rosto e podem ser consideradas funcionalmente comparáveis para a maioria das aplicações contra partículas transportadas pelo ar não oleosas:

- Austrália/Nova Zelândia (Austrália/Nova Zelândia AS/NZA 1716:2012) – P2;
- Brasil – PFF2;
- China (China GB2626-2006) – KN95, KP95;
- Europa (Europa EN 149-2001) – FFP2;
- Japão (Japão JMHLW-Notificação 214, 2018) – DS2, DL2;
- Índia – BIS P2;
- Coreia (Coreia KMOEL – 2017-64) — 1ª classe; e
- EUA (Estados Unidos NIOSH—42CFR84) – N95, R95, P95.

Tabela 30 — Equipamentos de proteção respiratória para procedimentos técnicos de RAC

		Proteção respiratória				
		Descartável			Reutilizável	
		FFP1	FFP2	FFP3	Máscara completa ou semifacial[3]	Máscara completa com cartuchos de código 6004[4]
Processo/ trabalho	**Substância nociva**					
Soldagem (soldagem a arco elétrico)	Vapores de óxido de alumínio e metal		☺	☺	☺	
Brasagem	Vapores		☺		☺	
Fluidos refrigerantes de halocarbono	Vapores[1] (processo de desbrasagem)		☺		☺	
Manuseio de amônia	Amônia[2]					☺
Corte de metal	Pó de metal		☺		☺	
Retífica de metal	Pó de metal		☺		☺	
Marcenaria	Vapores, partículas finas, pó de madeira		☺	☺	☺	
Manuseio de isolamento de sótão	Pó de fibra			☺	☺	
Cola de isolamento de tubulação	Solventes		☺	☺	☺	
Limpeza de evaporadores de ar condicionado (mini split)	Bactérias			☺	☺	

(Continuação)

		Proteção respiratória				
		Descartável			Reutilizável	
		FFP1	FFP2	FFP3	Máscara completa ou semifacial[3]	Máscara completa com cartuchos de código 6004[4]
Processo/ trabalho	**Substância nociva**					
Pintura	Sprays contendo cobre, cromo, arsênico				☺	
Varrição de pisos, limpeza de oficina, equipamentos, etc.	Poeira (não tóxica)	☺			☺	
Trabalho com amianto em baixos níveis	Poeira de amianto			☺	☺	

Fonte: HEAT GmbH; Fotos: 3M.

1 — A desbrasagem de compressores, do filtro secador e de outros componentes pode liberar vapores tóxicos quando a chama entra em contato com o óleo misturado com fluido refrigerante. 2 — A classificação de segurança da amônia é B2L. 3 — Confirme com seu fornecedor local a referência correta do cartucho. 4 — Apenas cartuchos com o código 6004 para a marca 3M. Para o manuseio de amônia, as máscaras completas são o equipamento de proteção respiratória recomendado; elas também oferecem proteção contra queimadura e irritação nos olhos.

11

Ferramentas e equipamentos de trabalho específicos para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis

11. Ferramentas e equipamentos de trabalho específicos para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis

Os trabalhadores qualificados em AVAC-R estão sempre realizando uma série de tarefas, desde o planejamento do projeto até a execução. O uso de fluidos refrigerantes inflamáveis demanda alto padrão de ferramentas e maquinário em termos de segurança, funcionalidade, durabilidade e qualidade.

Em geral, quando são usados fluidos refrigerantes A2L, A2, B2L e A3, as ferramentas e os equipamentos devem ser os mais avançados. Isso pode incluir os regulamentos CE[12] e ATEX[13] (ou normas aplicáveis) e certificação UL[14] . Para o manuseio de fluidos refrigerantes A2L, existem equipamentos certificados correspondentes que são similares/equivalentes aos usados para fluidos refrigerantes A3. Os equipamentos para A3 podem ser usados para fluidos refrigerantes A2L, mas o contrário não se aplica.

A seleção de ferramentas é feita conforme o sistema a ser processado (quantidade de carga, local de instalação, etc.), a atividade planejada e a avaliação de risco. O uso de ferramentas varia muito de acordo com uma ampla gama de atividades e situações.

---

[12]Os regulamentos CE fazem parte do direito derivado da UE. São adotados pelas instituições da UE com base nos tratados e visam assegurar a aplicação uniforme do direito da UE em toda a UE.

[13]É o conjunto de regulamentações europeias que definem as condições de segurança obrigatórias em áreas com risco de explosão.

[14]A marca UL, emitida pelos *Underwriters Laboratories*, certifica que um produto cumpre com garantia os padrões de segurança e qualidade dos produtos no Estados Unidos e no Canadá.

Atenção:

As recomendações de segurança relevantes para as práticas de instalação e trabalhos específicos de manutenção e reparo devem ser sempre seguidas com o maior cuidado possível. Todos os processos de trabalho devem estar de acordo com as normas, regulamentos e leis relevantes.

Os usuários de substâncias perigosas devem ler e entender as fichas de informações de segurança de produtos químicos (FISPQs) antes de começar a manusear ou usar substâncias perigosas. Os usuários devem seguir todas as informações aplicáveis fornecidas pelo fabricante.

A não observância das fichas de segurança e das instruções do fabricante podem resultar em lesões ou morte. As fichas de informações de segurança de produtos químicos podem ser acessadas, gratuitamente, na internet.

A Tabela 31 mostra uma lista não exaustiva de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis. Uma avaliação de risco pode determinar quais dessas ferramentas são relevantes para a tarefa em questão.

Tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Breve descrição	Finalidade do uso
Detector de gás de combustão Por condutividade térmica (DCT). Figura 77 — Exemplo de detector de gás inflamável Fonte: Inficon.	Detector de gás, sensível aos fluidos refrigerantes mais comuns à base de hidrocarbonetos e amônia, usado para apontar pontos de vazamento no circuito de refrigeração.
Dispositivo de verificação de sensibilidade Do detector de gás. Figura 78 — Exemplo de vazamento de referência Fonte: HTP - Reino Unido.	Vazamento de referência para detectores de gás eletrônicos (instrumentos usados para encontrar vazamentos).
Recolhedora Para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis de classe A3 e A2L. Com certificação CE e/ou listado pela UL. Cabo de conexão de alimentação de pelo menos 5 m, conexão fixa. Figura 79 - Exemplo de recolhedora de fluidos refrigerantes inflamáveis Fonte: CPS/Ekotez/RDA.	Recolhimento seguro de fluidos refrigerantes inflamáveis e transferência para um cilindro de recolhimento aprovado.
Figura 80 — Exemplo de bomba manual de recolhimento de fluido refrigerante sem faísca Fonte: WIGAM.	Bomba manual para recolhimento ou transferência de fluidos refrigerantes inflamáveis de até 0,5 kg.

Continuação da tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Breve descrição	Finalidade do uso
Cilindros de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis Figura 81 — Exemplo de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis Fonte: WIGAM. Figura 82 — Interconexão de cilindro de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis Fonte: RDA.	Para uso com fluidos refrigerantes A2L e A3, o cilindro deve observar os regulamentos nacionais de transporte de produtos perigosos (ADR / DOT). Pressão mínima de trabalho de 42 bar (HCs) e 48 bar para o R-32.
Bomba de vácuo Certificada para uso com fluidos refrigerantes A3 e A2L. Cabo de conexão de alimentação de pelo menos 5 m, conexão fixa. Figura 83 — Exemplo de bomba de vácuo sem faísca Fonte: WIGAM. Figura 84 — Exemplo de bomba de vácuo sem faísca Fonte: CPS.	Evacuação segura do sistema de AVAC-R e remoção de resíduos de gás inflamável; um filtro de exaustão de névoa de óleo deve ser conectado junto com uma linha de ventilação de fluido refrigerante.

Continuação da tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Linha de ventilação de fluido refrigerante Figura 85 — Exemplo de mangueira trançada de PVC Fonte: Kwerk.de.	Mangueira trançada de plástico (PVC) usada junto com uma bomba de vácuo ou dispositivo perfurante para poder extravasar os vapores do fluido refrigerante para uma área externa segura.
Regulador de pressão de nitrogênio (N_2) Com diafragma projetado com pistão em latão. Figura 86 — Exemplo de regulador de pressão de nitrogênio Fonte: UNIVELD.	Pressão de entrega de 0-800 PSI (0-5500 kPa / 0-55 bar).
Dispositivo de regulagem de nitrogênio (N_2). Figura 87 — Exemplo de dispositivo de regulagem de nitrogênio Fonte: UNIVELD.	Para a purga do nitrogênio durante o *flushing* do sistema e brasagem com gás inerte de tubos de cobre em sistemas de refrigeração. Dispositivo com indicador de fluxo, etiqueta de calibração e válvula ajustável de pressão para controlar o baixo fluxo de gás nitrogênio. A purga permite 10 L/min. A brasagem permite 2 L/min.

Continuação da tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Conjunto *manifold* De teste de pressão com OFDN (teste de resistência). Figura 88 — Exemplo de dispositivo de teste de pressão de nitrogênio Fonte: WIGAM.	Dispositivo com setores definidos de teste de pressão para fluidos refrigerantes variados. Com parafuso de calibração e marcador de posição (indicador de arraste).
Estação do queimador de gás Desempenho do GLP: Até *250 kW/h - (25 L/h)*. Figura 89 — Exemplo de tocha para queima de HC Fonte: PA-Salzgitter.	Tocha para queima de fluido refrigerante hidrocarboneto (A3) para descarte seguro e não prejudicial ao meio ambiente (onde aplicável) - meio de líquido e gás residual.
Ventilador Para a área de trabalho com capacidade de 700 a 4.250 m³/h Cabo de conexão de alimentação de pelo menos 5 m, conexão fixa. Figura 90 — Exemplo de ventilador à prova de explosão Fonte: RDA. Figura 91 — Exemplo de ventilador à prova de explosão Fonte: Wigam.	O ventilador deve ser usado no local de trabalho (zona 2) para manter a dispersão de fluidos refrigerantes inflamáveis se houver algum vazamento.

Continuação da tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

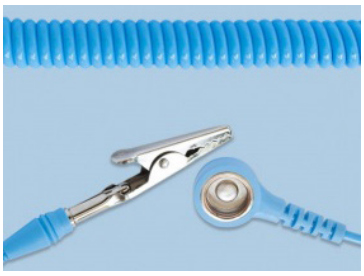
PGD - Detector de gás único Portátil, para uso como EPI. Figura 92 — Exemplo de detector de gás portátil Fonte: Crowcon.	Monitor pessoal de gás único usado como EPI para C_3H_8. 0-100% LII.
Balanças eletrônicas Para carga de fluido refrigerante com adaptador para o cilindro e alta precisão, adequadas para fluidos refrigerantes HC[15]. Figura 93 — Exemplo de balança sensível de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis Fonte: Refco. Figura 94 — Exemplo de suporte para a balança de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis Fonte: Refco.	Balanças sensíveis para cargas precisas de fluidos refrigerantes HC com resolução de 2 gramas e precisão de leitura de 0,5%; capacidade da balança de 100 kg.

[15]**Precisão da carga**
É necessário usar balanças muito precisas ao carregar sistemas pequenos com cargas críticas com alguns fluidos refrigerantes inflamáveis, como fluidos refrigerantes hidrocarbonetos. É necessário ter balança com precisão de escala adequada para o tipo de fluido refrigerante do sistema e o tamanho da carga. Muitas balanças usadas, tradicionalmente, para o serviço de fluidos refrigerantes HFC podem não ter a precisão suficiente para usar com fluidos refrigerantes hidrocarbonetos. A carga do fluido refrigerante é um fator de risco importante e as balanças devem ter a precisão correta, para garantir que as cargas instaladas sejam as certas.

Continuação da tabela 31 — Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Válvula de acesso Para aplicações de AVAC-R. Figura 95 — Exemplo de válvula de acesso ao circuito de refrigeração Fonte: WIGAM.	Conexão fácil aos sistemas/unidades de HC, válvulas de passagem e mangueira do fluido refrigerante; estanqueidade eficiente e sem vazamento do fluido refrigerante durante a conexão da mangueira e da válvula (válvula Schrader).
Palito antifaísca Figura 96 — Exemplo de palito antifaísca Fonte: Emarei.	Para penetração no cilindro descartável DOT39 antes do descarte do fluido refrigerante inflamável (A2L e A3).
Ferramentas manuais antifaíscas Figura 97 — Exemplo de ferramentas de serviço antifaíscas para o circuito de refrigeração inflamável Fonte: Emarei.	As ferramentas de AVAC-R mais comumente usadas são forjadas em cobre-berílio ou liga de bronze-alumínio e atendem aos padrões exigidos. O **cobre-berílio** é antifaísca, mas fisicamente duro e não magnético; é usado na fabricação de ferramentas que podem ser usadas com segurança em ambientes onde há vapores e gases explosivos, como os fluidos refrigerantes A2L e A3. As ferramentas de cobre-berílio atendem às demandas da diretiva ATEX para uso nos grupos I, IIA, IIB e IIC.
Kit de aterramento Pulseira ajustável e fio de bobina. Figura 98 — Exemplo de pulseira de aterramento Fonte: BJZ GmbH.	Kit de aterramento para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2.

Continuação da tabela 31 - Lista resumida de ferramentas e equipamentos para trabalhar com sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

Fio de bobina Figura 99 — Exemplo de fio de bobina de aterramento com garra jacaré  Fonte: BJZ GmbH.	Para conexão com plugue de aterramento para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2.
Plugue de aterramento e caixas Figura 100 — Exemplo de plugue de aterramento Fonte: BJZ GmbH.	Plugue e caixas para aterramento ESG fácil e barato usando o fio terra da rede elétrica para afastar a eletricidade estática ESD do corpo para trabalhos com fluidos refrigerantes inflamáveis na Zona 2. O plugue deve atender às normas nacionais de plugue da rede elétrica.
Parafuso de contato Figura 101 — Exemplo de parafuso de contato para, por exemplo, o uso no cilindro de recolhimento Fonte: BJZ GmbH.	Verifique se as conexões da mangueira do fluido refrigerante da recolhedora (SAE ¼") e cilindro estão aterradas.

Fonte: Rolf Huehren

12

Determinação das cargas máximas permitidas de fluido refrigerante

12. Determinação das cargas máximas permitidas de fluido refrigerante

12.1 Adoção das normas de produto da IEC nas normas nacionais

Quando são desenvolvidas novas normas de produto na Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), também leva algum tempo para que elas sejam inseridas nas versões revisadas da norma nacional. Essa adoção varia conforme o país, já que a norma internacional IEC é uma recomendação voluntária internacional. Para que essa recomendação tenha caráter vinculante, ela tem que ser transposta para os regulamentos nacionais de segurança do país em questão. Por exemplo: ABNT no Brasil, norma EN na Europa, DIN EN (VDE) na Alemanha, normas ASHRAE e UL nos Estados Unidos e, por último, mas não menos importante, a norma GB na China.

As normas nacionais costumam ser revisadas seguindo um cronograma rigoroso. Sendo assim, a implementação oficial dos novos limites na legislação nacional pode levar vários anos.

Em última instância, os fabricantes são responsáveis pela segurança dos próprios produtos. Em muitos países, existe a possibilidade de conduzir uma avaliação de riscos, em separado, fora dos regulamentos nacionais, como, por exemplo, no âmbito da norma europeia para sistemas de refrigeração e bombas de calor EN 378 partes 1 a 4. Qualquer fabricante tem a possibilidade de, sujeito às restrições estabelecidas na versão aplicável da norma nacional, justificar a própria avaliação de risco, alegando que os novos limites mais altos são seguros e usando a nova norma internacional (IEC).

12.2 Norma IEC 60335-2-40 bombas de calor elétricas, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores

A edição mais recente (publicada em 2022) da IEC representa uma revisão técnica da versão de 2014. Por exemplo: foram acrescentados requisitos para os fluidos refrigerantes A2L, e os fluidos refrigerantes inflamáveis foram classificados de acordo com a ISO 817. Como eles podem ser potenciais fontes de ignição, componentes como ventiladores, interruptores, relés, contatores, aquecedores elétricos, válvulas solenoide, etc. dentro da carcaça do aparelho, devem ser considerados em maiores detalhes, conforme as seções 22.116 e 22.117 da norma. Para fluidos refrigerantes A3, é feita uma avaliação de "potenciais fontes de ignição" durante a operação normal e no caso de falha. Para os fluidos refrigerantes A2L, só a operação normal é avaliada, não as falhas. Os requisitos de segurança dentro da carcaça da unidade são idênticos, independentemente do tipo de instalação! A atual norma IEC faz distinção entre fluidos refrigerantes A2L e A3, com requisitos separados para A2L (veja a Tabela 32). A novidade é que o Anexo GG permite o uso de um sistema indireto sem limitação no tamanho da sala.

Quando um fluido refrigerante inflamável é usado, os requisitos de espaço de instalação do aparelho e/ou requisitos de ventilação são determinados de acordo com:

- A carga do fluido refrigerante (m_c) usado no aparelho;
- A carga liberável (m_{rl});
- O local de instalação;
- O tipo de ventilação do local ou do aparelho; e
- Os limites de carga de fluido refrigerante m_1, m_2, m_3[16] estão listados na Tabela 33.

Para aparelhos com diversos sistemas de refrigeração, cada sistema deve ser avaliado de forma independente.

[16] m_1, m_2 e m_3 são chamados de fatores de limitação e definidos em norma, sendo utilizados para o cálculo da carga máxima de fluido refrigerante inflamável em uma sala, tendo como base o LII.

O Anexo GG da IEC 60335-2-40, com suas restrições e requisitos de implementação, avalia a instalação de sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (AVAC-R) em salas nas quais as pessoas estão presentes. Se os sistemas de AVAC-R observarem as restrições e os requisitos de implementação na sala específica, a instalação será considerada como segura de modo geral.

Tabela 32 — Esboço do Anexo GG.1

Carga de fluido refrigerante	**Sistema direto** [a.]				Sistema indireto [b.]
	Espaço interno			Espaço externo	
	Carga de fluido refrigerante e área da sala (sem requisitos adicionais)	Requisitos de carga, área da sala e adicionais	**Ventilação adicional**		
$m_c \leq m_1$ ou $m_{ri} \leq m_1$	Sem restrição de tamanho da sala R-32 = 1,8 kg / R290 = 0,150 kg			Sem restrição de tamanho da sala	Sem restrição de tamanho da sala, GG.6
$m_1 < m_c \leq 2 \times m_1$ (Aparelho não fixo) veja a Tabela 33 e a Tabela 37	Não permitido	GG.7	Não permitido		
$m_1 < m_c \leq m_2$ veja a Tabela 33 e a Tabela 37	GG.2.1	GG.2.2[c], GG.2.3[d] GG.9[c] GG.10[c] GG.14[d]	GG.3, GG.8[c] GG.10[c]		
$m_2 < m_c \leq m_3$ veja a Tabela 33 e a Tabela 37	Não permitido	GG.9[c] GG.10[c]	GG.3 GG.8[c] GG.10[c]		
$m_c > m_3$	Além do escopo nessa norma. Normas nacionais se aplicam ex.: EN 378 ou ABNT NBR ISO 5149				

a. Sistema direto significa um **sistema de refrigeração** no qual uma única ruptura do circuito de refrigeração resulta em liberação de fluido refrigerante no espaço, independentemente da localização do circuito de refrigeração.

b. Sistema indireto significa um **sistema de refrigeração** no qual uma única ruptura do circuito de refrigeração não vaza o fluido refrigerante no espaço interno, independentemente da localização do circuito de refrigeração.

c. Essas cláusulas só se aplicam a aparelhos com **fluido refrigerante A2L**.

d. Essas cláusulas só se aplicam a aparelhos com **fluido refrigerante A2 ou A3**.

Fonte: IEC 60335-2-40.

Observação: GG.3, GG.8 e GG.9 são seções para sistemas com “duto de ar”, ou sistemas de ventilação forçada no sentido amplo, que não são considerados aqui. Veja a Figura 104, ref. GG.2 da norma.

12.2.1 Determinação do limite máximo de carga dos fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3

GG.1.2 Determinação do limite máximo de carga de fluido refrigerante, onde *LII é o* limite inferior de inflamabilidade em kg/m³ para o fluido refrigerante usado.

O símbolo m_c indica a quantidade de carga de fluido refrigerante de um circuito. Se diversos circuitos de fluido refrigerante forem instalados na mesma sala, o circuito de refrigeração com a maior quantidade de carga será aquele decisivo para conformidade com os requisitos de segurança.

Se bombas de calor do ambiente interno forem operadas com fluidos refrigerantes A2L, A2 ou A3, os requisitos estruturais devem ser observados e os respectivos conceitos de segurança devem ser estabelecidos. A observância dos requisitos das condições de instalação com relação ao tamanho da sala e aos equipamentos de segurança está associada aos respectivos custos adicionais para a instalação em ambiente interno.

Para fluidos refrigerantes inflamáveis, as respectivas informações devem ser acrescentadas às instruções de instalação e à placa de identificação do aparelho de AVAC-R, tais como restrições de tamanho da sala relacionadas à carga do fluido refrigerante.

Para os fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3, m_1, m_2, m_3 são definidos conforme mostrado na Tabela 33.

Tabela 33 — Exemplos dos limites máximos de carga de fluido refrigerante para A2L, A2 e A3

Carga de fluido refrigerante	A2 e A3	(em kg) R-290	A2L	(em kg) R-32
m_1	4 x LII	0,152	6 x LII	1,23
m_2	26 x LII	0,988	52 x LII	15,96
m_3	130 x LII	4,94	260 x LII	79,82

Fonte: IEC 60335-2-40.

12.2.2 Determinação da área da sala não ventilada

Para determinar a área da sala "A" quando usada para calcular a carga do fluido refrigerante "m_{max}" em um espaço não ventilado, deve-se aplicar o seguinte:

- A área da sala "A" será definida como a área da sala que engloba a projeção das paredes até o chão, divisórias e portas do espaço em que o aparelho está instalado; e
- Espaços conectados somente por tetos rebaixados, canalizações ou conexões similares não serão considerados um espaço único.

Para unidades montadas acima de 1,6 m e em conformidade com GG.2.2, os espaços divididos por paredes divisórias que não tiverem acima de 1,6 m serão considerados um espaço único. A Cláusula GG.2 aplica-se a dispositivos com uma carga de fluido refrigerante $m_1 < m_c \leq m_2$ e a unidades em pacote único vedadas de fábrica que não forem dispositivos fixos com uma carga de fluido refrigerante $m_1 < m_c \leq 2 \times m_1$.

Para dispositivos fixos, salas no mesmo andar e conectadas por uma passagem aberta entre os espaços podem ser consideradas uma sala única ao se determinar a conformidade com A_{min}, se a passagem estiver em conformidade com todas as seguintes condições:

- É uma abertura permanente;
- Estende-se até o chão; e
- É destinada à passagem de pessoas.

Para aparelhos fixos, a área de salas adjacentes, no mesmo andar, conectadas por aberturas permanentes nas paredes e/ou portas entre espaços ocupados, incluindo aberturas entre a parede e o piso, pode ser considerada uma única sala ao se determinar a conformidade com A_{min}, desde que todas as seguintes condições sejam atendidas:

- O espaço deve ter aberturas apropriadas de acordo com GG.1.4 (**aberturas naturais e A2L**):
  - A área de quaisquer aberturas acima de 300 mm do piso não deve ser considerada para determinar a conformidade com $A_{nv,min}$;
  - Pelo menos 50% da área de abertura necessária $A_{nv,min}$ deve estar abaixo de 200 mm do piso;
  - A base das aberturas mais baixas não deve ser maior do que o ponto de liberação, quando a unidade estiver instalada, e a não mais de 100 mm de distância do piso;
  - Para aberturas que se estendam até o piso, a altura não deve ser menor do que 20 mm acima da superfície da cobertura do piso;
  - Uma segunda abertura, mais alta, deve ser fornecida. O tamanho total da segunda abertura não deve ser inferior a 50% da área de abertura mínima $A_{nv,min}$ e deve estar, pelo menos, 1,5 m acima do piso; e
  - As aberturas devem ser permanentes, não podendo ser fechadas.
- A área de abertura mínima para ventilação natural, $A_{nv,min}$, não deve ser inferior ao seguinte:

$$A_{nv,min} = \frac{m_c - m_{max}}{LII \; x \; 104} \; x \; \sqrt{\frac{A}{g \; x \; m_{max}} \; x \; \frac{M}{M - 29}}$$

12.2.3 Carga permissível para sistemas de refrigeração de estanqueidade elevada usando fluido refrigerante A2L ou A3 em áreas não ventiladas

Todos os requisitos são explicados no Anexo GG.2 da norma. Para fins de simplificação, somente o cálculo geral para unidades instaladas permanentemente com as quantidades de carga $m_1 < m_c \leq m_2$ será discutido neste documento.

A **carga máxima de fluido refrigerante** em uma sala deve estar de acordo com o seguinte:

$$m_{max} = 2{,}5 \times LII^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2}$$

Não exceder:

$$m_{max} = CF\ (0{,}5) \times LII \times h_0 \times A$$

Se a altura de instalação mínima (h_{inst}) fornecida pelo fabricante for maior do que a altura de liberação de referência da norma, em que $h_o = h_{inst} + h_{rel}$, A_{min} e m_{max}, para a altura de instalação de referência, devem também ser fornecidos pelo fabricante. Um dispositivo pode ter várias alturas de instalação de referência. Nesse caso, os cálculos de A_{min} e m_{max} devem ser fornecidos para todas as alturas de instalação de referência aplicáveis.

A medida h_{rel} é o deslocamento do fluido refrigerante em metros.

h_{inst}	Local da instalação/posicionamento
0,0 m	portátil e montado no piso
1,0 m	montado na janela
1,8 m	montado na parede
2,2 m	montado no teto

A Tabela 34 mostra a carga máxima de fluido refrigerante m_{max} fornecida para algumas áreas úteis A_{min}. E a Tabela 35 mostra a área mínima da sala A_{min} fornecida para algumas cargas de fluido refrigerante.

Tabela 34 — Carga máxima de fluido refrigerante m_{max} fornecida para determinadas áreas úteis A_{min}

Fluido refrigerante	LII kg/m³	Altura da instalação (h_o)	Área da sala A_{min} em m²						
			9	12	15	20	30	45	60
			Carga máxima m_{max} em kg						
R-32	0,307	0,6	1,03	1,19	1,33	1,53	1,88	2,30	2,66
		1,0	1,71	1,98	2,21	2,54	3,13	3,83	4,43
		1,8	3,09	3,56	3,98	4,58	5,64	6,90	7,96
		2,2	3,77	4,34	4,85	5,60	6,88	8,43	9,74
R-290	0,038	0,6	0,08	0,09	0,10	0,11	0,14	0,17	0,19
		1,0	0,13	0,15	0,16	0,19	0,23	0,28	0,32
		1,8	0,23	0,26	0,29	0,34	0,41	0,51	0,58
		2,2	0,29	0,32	0,37	0,41	0,51	0,62	0,71

Fonte: Derivado da norma IEC 60335-2-40.

Tabela 35 — Área mínima da sala A_{min} fornecida para algumas cargas de fluido refrigerante

Fluido refrigerante	LII kg/m³	Altura da instalação (h_o)	Carga de fluido refrigerante m_c em kg						
			1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	4,2	4,6
			Área útil mínima A_{min} em m²						
R-32	0,307	0,6	27,6	41,2	57,5	76,6	98,4	150	180
		1,0	9,9	14,8	20,7	27,6	35,4	54	64,8
		1,8	3.1	4,6	6,4	8,5	10,9	16,7	20
		2,2	2,1	3.1	4,3	5,7	7,3	11,2	13,4

Fluido refrigerante	LII kg/ m³	Altura da instalação (h_o)	Carga de fluido refrigerante m_c em kg						
			0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,75	0,85
			Área útil mínima Amin em m²						
R-290	0,038	0,6	35,5	98,7	193	320	478	888	1141
		1,0	12,8	35,5	69,6	115	172	320	411
		1,8	3,9	11	21,5	35,5	53	98,8	127
		2,2	2,6	7,3	14,4	23,8	35,5	66	84,9

Fonte: Derivado da norma IEC 60335-2-40.

12.2.4 Medições adicionais para fluidos refrigerantes inflamáveis, para aumentar a quantidade da carga de fluidos refrigerantes

Para fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3, é possível obter cargas maiores aplicando medidas adicionais dependendo do tamanho da sala e da construção (veja a Tabela 36).

Tabela 36 — Visão geral da fórmula para seções GG — requisitos para limites de carga de fluido refrigerante

De acordo com o Anexo da Norma	Cálculo e limite adicional	Melhoria(s) adicional(is)
GG.2.1 Selado de fábrica, não fixo	$m_{max} = 2,5 \times LII^{5/4} \times h_o \times A^{1/2}$ Não exceder $m_{max} = CF \times LII \times h_o \times A$	Nenhuma.
GG.2.2 Aparelhos fixos com A2L e fluxo de ar de circulação integral	*$m_{max} = CF \times LII \times h_{ra} \times A$* *é para um fator de concentração (CF) com um valor de 0,75 para sistemas de refrigeração usando A2L como fluido refrigerante e um valor de 0,5 para sistemas de refrigeração usando A2 ou A3.*	Com circulação de ar constante.
GG.10.3.1 Abaixo do solo e acima do solo A2L	$m_{max} \leq CF\ (0,50) \times LII$	Com estanqueidade melhorada.

(Continuação)

De acordo com o Anexo da Norma	Cálculo e limite adicional	Melhoria(s) adicional(is)
GG.10.3.1 Abaixo do solo A2L	$m_{max} \leq CF\ (0{,}50) \times LII \times H_r \times A$ *e* ≤ GG.10.3.2	Com estanqueidade melhorada. Mais dois outros aperfeiçoamentos. Alarme de segurança (GG.13) mais ventilação (GG.11) ou válvula de bloqueio de segurança (GG.12).
GG.10.3.1 Abaixo do solo A2L	$m_{max} \leq CF\ (0{,}50) \times LII \times H_r \times A$ *e* ≤ GG.10.3.2	Com estanqueidade melhorada. Mais um outro aperfeiçoamento. Alarme de segurança (GG.13), ventilação (GG.11) ou válvula de bloqueio de segurança (GG.12).
GG.10.3.2 Acima do solo A2L	*≤ CF (0,75) x LII + h0 ≥ 1,8 metro*	Com estanqueidade melhorada.
GG.10.3.2 Acima do solo A2L	*≤ CF (0,75) x LII + h0 < 1,8 metro* *e* *> GG.10.3.1*	Com estanqueidade melhorada, mais um outro aperfeiçoamento. Alarme de segurança (GG.13), ventilação (GG.11) ou válvula de bloqueio de segurança (GG.12).
GG.10.3.2 Acima do solo A2L	*≤ CF (0,75) x LII* *e* *> GG.10.3.2 e ≤ m3*	Com estanqueidade melhorada, mais dois outros aperfeiçoamentos. Alarme de segurança (GG.13) mais ventilação (GG.11) ou válvula de bloqueio de segurança (GG.12).
GG.14.2 Fluidos refrigerantes A2 ou A3	$m_{max} = CF \times LII \times h_{ra} \times A$	Com estanqueidade melhorada sem fluxo de circulação integral.
Quando a ventilação integrada a um aparelho é continuamente operada ou a operação é iniciada por um sistema de detecção de vazamento com taxa de fluxo de ar suficiente, a carga máxima do fluido refrigerante pode ser aumentada, ou a área útil mínima pode ser reduzida de acordo com o seguinte:		
GG.14.3 Fluidos refrigerantes A2 ou A3	$m_{max} = CF\ (0{,}35) \times LII \times A \times 2{,}2$ *(2,2 é a altura da sala em m)*	Com impermeabilidade melhorada com fluxo de ar de circulação contínua integral ou sistema de detecção de vazamento.

(Continuação)

<table>
<tr><th>De acordo com o Anexo da Norma</th><th>Cálculo e limite adicional</th><th>Melhoria(s) adicional(is)</th></tr>
<tr><td colspan="3">Observação: é possível especificar-se um valor menor de CF para ter um requisito menor de fluxo de ar, e isso resulta em um maior A_{min} e em um menor $m_{max.}$</td></tr>
<tr><td>GG.14.3.1
Cálculo mínimo de fluxo de ar de circulação</td><td>$$Q_{\min=3600}\frac{5Y\sqrt{A_0}\,\dot{m}_{leak}^{3/4}}{h_0^{1/4}[LII\ x\ (1-CF)]^{5/8}}$$</td><td>A conformidade é verificada por meio de ensaios.</td></tr>
<tr><td>GG.14.3.1
Taxas de vazamento de fluido refrigerante ($\dot{m}_{leak}$) para o cálculo da circulação mínima de fluxo de ar para alguns fluidos refrigerantes</td><td colspan="2"><table>
<tr><th>Fluido refrigerante</th><th>Grupo de segurança</th><th>Taxa de vazamento de fluido refrigerante kg/s</th></tr>
<tr><td>R-152a</td><td>A2</td><td>0,00092</td></tr>
<tr><td>RE-170</td><td>A3</td><td>0,00074</td></tr>
<tr><td>R-290</td><td>A3</td><td>0,00112</td></tr>
<tr><td>R-600</td><td>A3</td><td>0,00034</td></tr>
<tr><td>R-600a</td><td>A3</td><td>0,00048</td></tr>
<tr><td>R-1270</td><td>A3</td><td>0,00135</td></tr>
<tr><td colspan="3">As propriedades de fluidos refrigerantes selecionados também estão disponíveis na norma ISO 17584</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>GG.14.3.2
Fluxo de ar de circulação contínua</td><td colspan="2">A ventilação interna deve funcionar continuamente, exceto por breves períodos de manutenção e consertos. O fluxo de ar deve ser monitorado continuamente. Caso o fluxo de ar seja reduzido para abaixo de Q_{min}, as seguintes ações devem ser realizadas em até 10 segundos:
— Avisar o usuário que o fluxo de ar está reduzido;
— Desativar o compressor, a menos que o funcionamento dele reduza a taxa de vazamento ou a quantidade total liberada para o espaço interno.
A conformidade é verificada por meio de inspeção.</td></tr>
<tr><td>GG.14.3.3
Fluxo de ar de circulação ativado por um sistema de detecção de vazamento</td><td colspan="2">Se um sistema de detecção de vazamento for ativado, as seguintes medidas deverão ser tomadas e mantidas por, pelo menos, cinco minutos após esse sistema ter sido reinicializado:
— Energizar a(s) ventilação(ões) do aparelho para fornecer um fluxo de ar interno igual ou superior ao fluxo de ar mínimo Q_{min};
— Desativar o compressor, a menos que o funcionamento dele reduza a taxa de vazamento ou a quantidade total liberada para o espaço interno.
A conformidade é verificada por meio de inspeção.</td></tr>
</table>

Fonte: Derivado da norma IEC 60335-2-40.

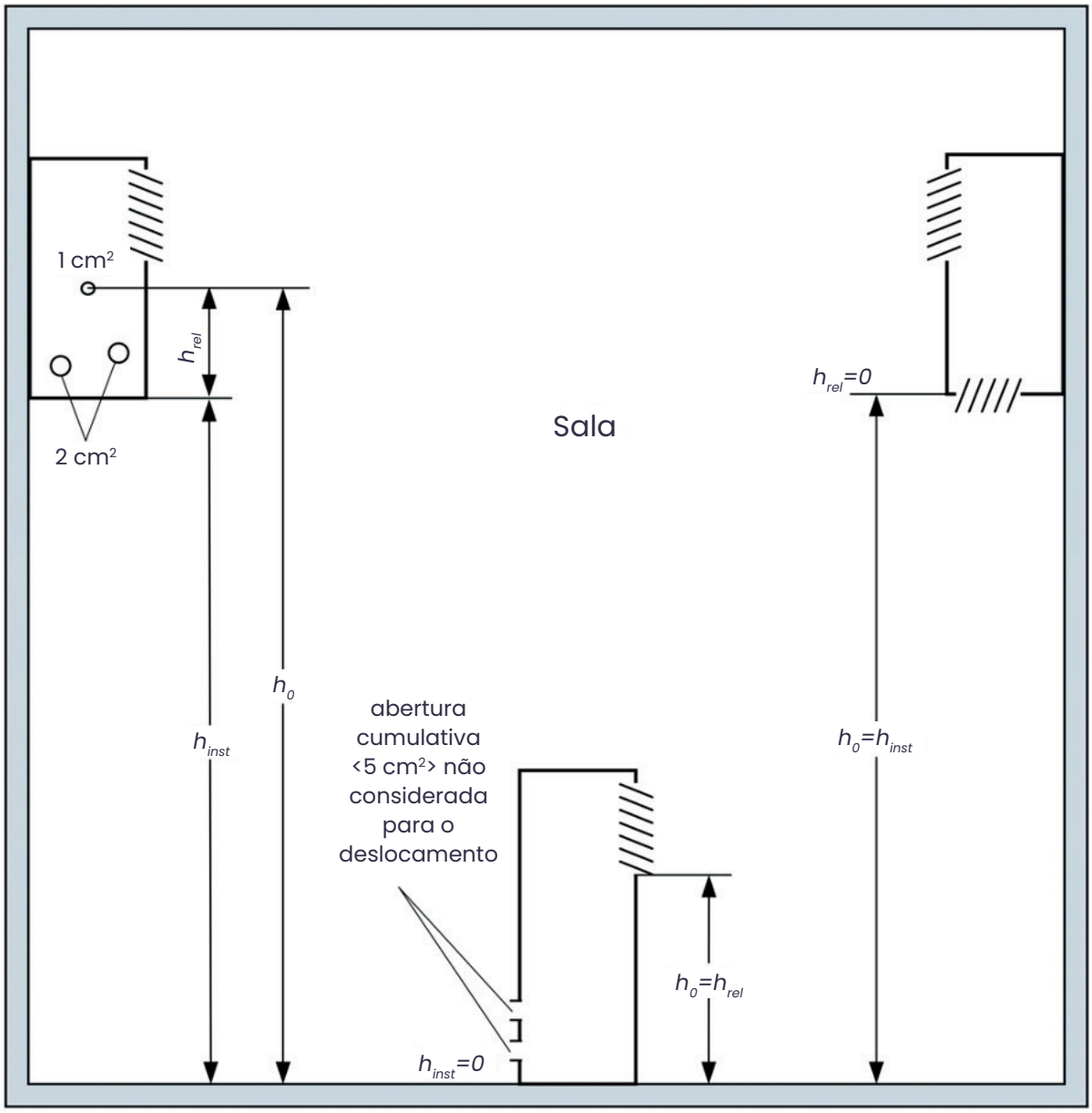
Tabela 37 — Símbolos e significados da fórmula

Símbolo da fórmula	Significado
CF	*CF é um fator de concentração.*
h_0	*É a altura de liberação, a distância vertical, em metros, do piso até o ponto de liberação, quando o aparelho é instalado (veja a figura GG.3 da norma) de acordo com GG.2.1, mas não menor do que 0,6 m e não superior a 2,2 m.*
h_{ra}	*É a altura de alcance estimada do fluxo de ar.*
h_{rel}	*É o deslocamento, em metros, da base do aparelho para o ponto de liberação, as aberturas devem incluir a área total da abertura, independentemente da área ocupada pela tubulação ou fiação.*
h_{inst}	*É a altura de instalação, em metros, da unidade.*
H_r	*É a altura efetiva da unidade interna em metros:* *- Em que a altura de liberação, h_0, conforme determinada na Cláusula GG.2 (limites de carga para áreas não ventiladas) é igual ou maior do que 1,8 m, ou o aparelho está com o fluxo de ar de circulação integrada, a altura efetiva, H_r, é a altura da sala, em metros, mas não acima de 2,2 m, a menos que h_0 seja maior do que 2,2 m.* *- Em todos os outros casos, a altura efetiva, H_r, é a altura de liberação, h_0, como determinado na Cláusula GG.2 da norma.*
Q_{min}	*É o volume do fluxo de ar exigido em m³/h.*
3600	*É uma constante para converter m³/s em m³/h.*
A_0	*É a área de descarga de fluxo de ar do aparelho em m². O valor é a área de superfície nominal da tomada. A área da grade não deve ser descontada.*
Y	*É uma constante, se não houver fontes de vazamentos fora da unidade, Y = 1,5; do contrário, Y = 1.*
$\dot{m}_{leak}$	*É a taxa de vazamento do fluido refrigerante conforme determinado na tabela GG.6 em kg/s.*
m_c	*A carga de fluido refrigerante usada no aparelho.*
m_{rl}	*A carga de fluido refrigerante Derivado IEC 60335 que pode ser liberada.*
LII	*É o limite inferior de inflamabilidade em kg/m³.*

Fonte: Derivado da norma IEC 60335-2-40.

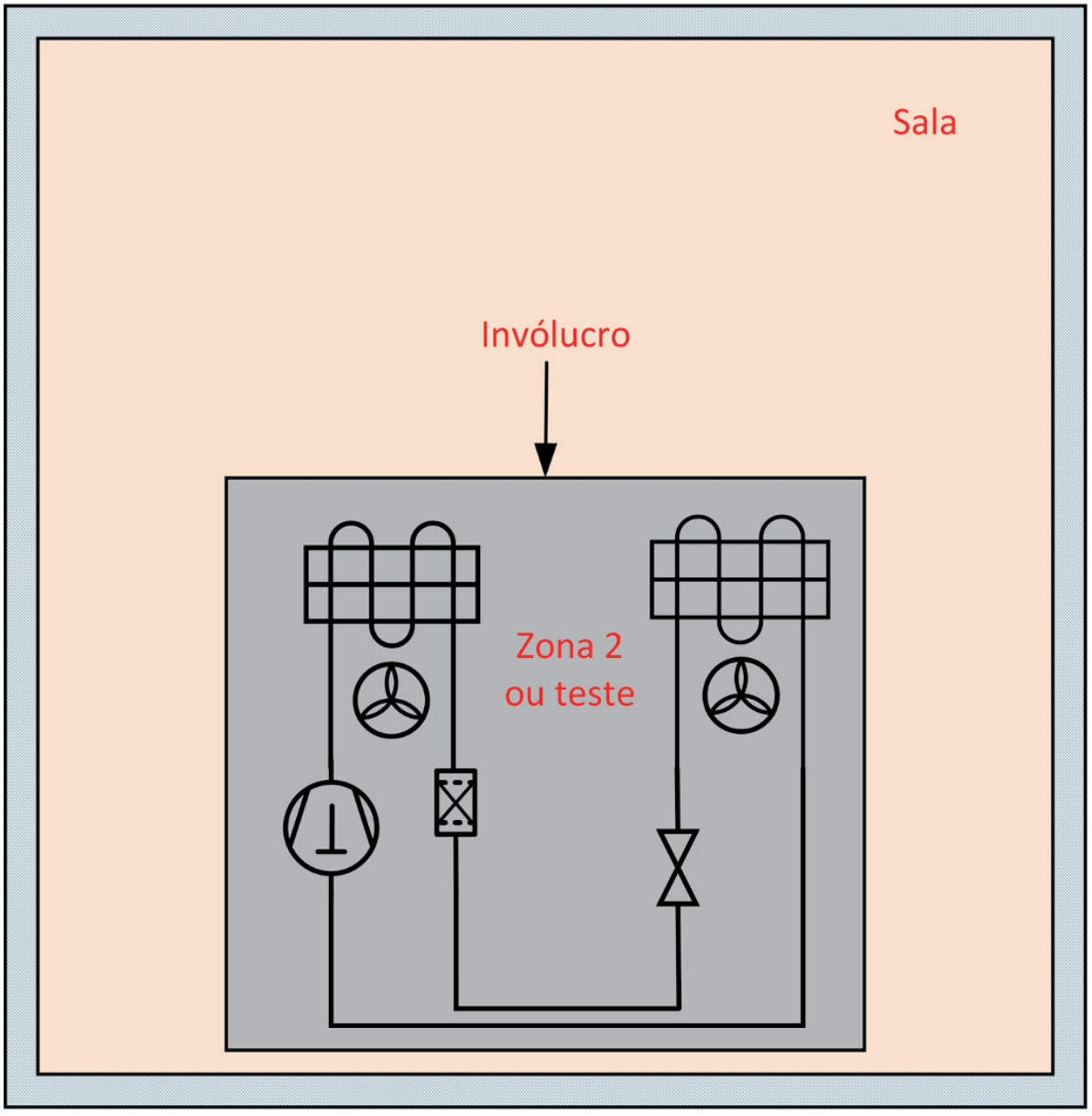
Para facilitar a validação da definição de alturas de instalação diferentes, a Figura 102 oferece uma orientação visual. Um exemplo da disposição na área não ventilada e da ventilação mecânica dos invólucros de unidades refrigeradas é apresentado nas Figuras 103 e 104.

Figura 102 — Alturas relevantes da norma IEC60335-2-40 GG.3



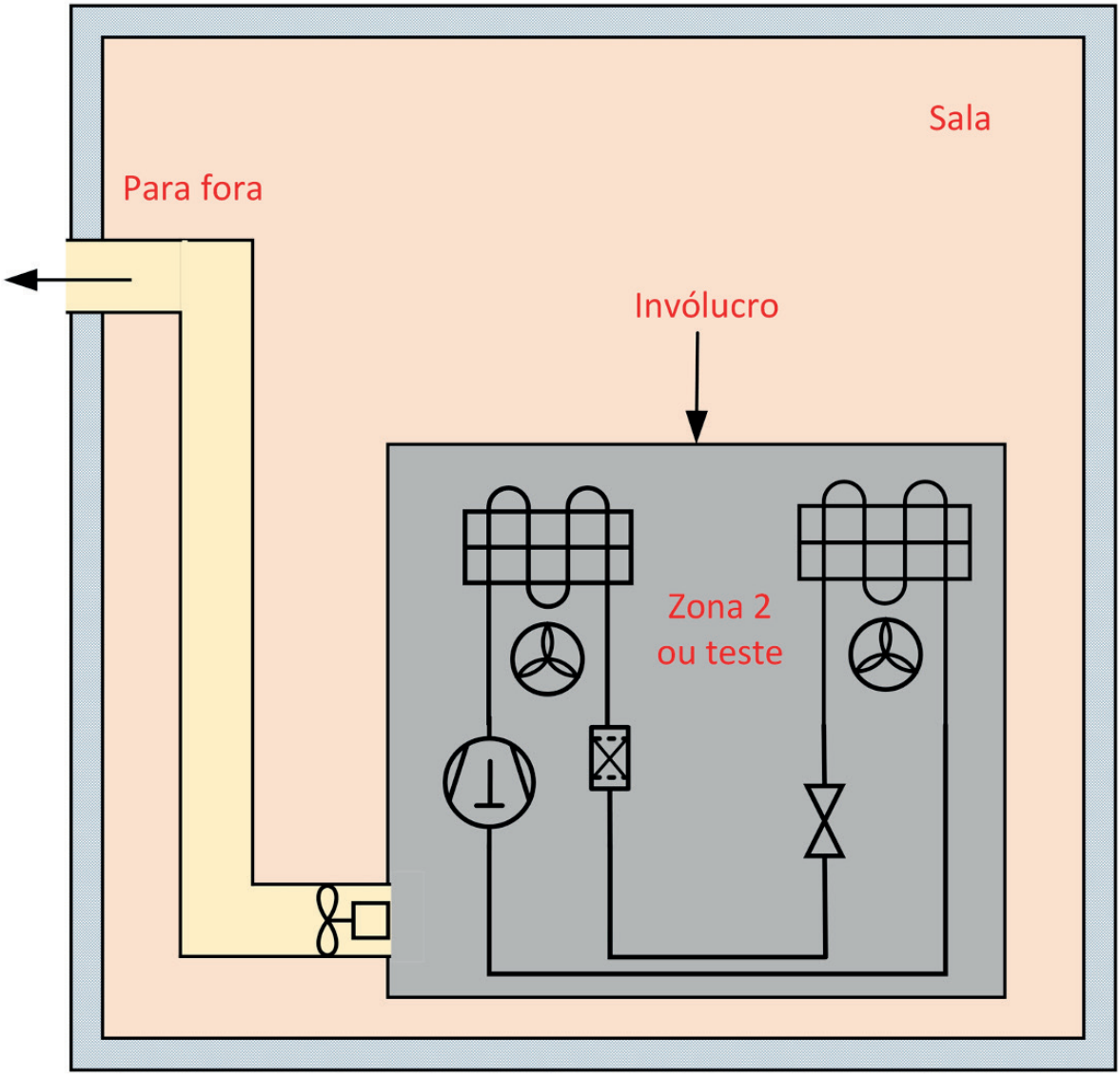
Fonte: Rolf Huehren com base na IEC.

Figura 103 — Área não ventilada GG.1 da norma IEC60335-2-40



Fonte: Rolf Huehren com base na IEC.

Figura 104 — Ventilação mecânica GG.2 da norma IEC60335-2-40



Fonte: Rolf Huehren com base na IEC.

12.2.5 Requisitos para sistemas de refrigeração empregando trocadores de calor secundários

Se um fluido refrigerante inflamável for usado e o sistema contiver um trocador de calor secundário, esse trocador não deve permitir a liberação do fluido em áreas atendidas pelo fluido do trocador de calor secundário.

A conformidade deve ser atendida por, pelo menos, um destes:

- Um sistema secundário de loop aberto ventilado para fora; ou
- Um separador ar/fluido refrigerante e válvula de alívio de pressão colocado no circuito secundário do tubo de saída do evaporador ou do condensador;
- Um trocador de calor de parede dupla; ou
- Um sistema de refrigeração no qual a pressão do circuito secundário seja sempre maior do que a pressão do circuito principal na área de contato; ou
- A ruptura do trocador de calor secundário é evitada por:

  1) Especificação dos requisitos das propriedades específicas do fluido do trocador de calor secundário, para evitar corrosão, incluindo:

  - Água: o fabricante deve especificar, no manual de instalação, a qualidade da água necessária para o trocador de calor especificado;
  - Salmoura: o fabricante deve especificar, no manual de instalação, o tipo de salmoura e a sua faixa de concentração permitida para a qual o trocador de calor seja adequado.

2) O uso de um dispositivo de proteção contra congelamento que considere:

- Ponto de congelamento do fluido;
- Distribuição por meio do trocador de calor;
- Variações do fluido refrigerante em evaporação;
- Procedimentos de serviços que poderiam levar a danos por congelamento, como adição ou remoção do fluido refrigerante em fase líquida de um trocador de calor contendo água parada.

Especificações e explicações adicionais dos procedimentos de teste constam no anexo GG.6 da norma.

12.2.6 Requisitos de ventilação mecânica para as salas em conformidade com a ISO 5149-3[17]

As casas de máquinas devem atender aos requisitos da ISO 5149-3, Cláusula 5 e da ISO 5149-3, 5.13, 5.14 e 5.15.

[17]A ISO 5149 foi traduzida para o português e foi publicada como a norma brasileira ABNT NBR ISO 5149 em 2020. Entretanto, atualizações e emendas da norma internacional podem não ter sido integradas ainda à versão brasileira.

12.3 Norma IEC 60335-2-89: exigências específicas para aparelhos de refrigeração e máquinas de gelo comerciais com uma unidade frigorífica incorporada ou remota, ou com um compressor

No início de 2019, a IEC revisou sua norma de segurança IEC 60335-2-89 e elevou, na nova versão, o limite de carga para fluidos refrigerantes inflamáveis em equipamento de refrigeração comercial independente.

- Os limites de carga para os fluidos refrigerantes A3 foram aumentados de 150 g para 500 g.
- Para fluidos refrigerantes menos inflamáveis A2 e A2L, o limite de 150 g foi aumentado para 1,2 kg.

Entretanto, o novo e maior limite de carga para fluidos refrigerantes é válido somente para certas aplicações e somente para salas de um determinado tamanho.

A norma revisada aplica-se a aparelhos de refrigeração operados eletricamente e, pela primeira vez, a máquinas de gelo.

Também se aplica a:

- *Coolers* para bebidas;
- Expositores refrigerados abertos;
- Expositores refrigerados de vários andares;
- Expositores refrigerados e gabinetes refrigerados com portas de vidro;
- Balcões refrigerados;
- Balcões de preparação;
- Geladeiras horizontais;
- Balcões de sorveteria;

- *Freezer* tipo baú;
- Congelador rápido; e
- Máquinas de gelo comerciais.

A carga de fluido refrigerante inflamável em aparelhos com uma unidade de refrigeração ou compressor incorporado não deve exceder 13 vezes o LII do fluido refrigerante inflamável ou 1,2 kg em qualquer circuito de refrigeração, o que for menor. O LII é expresso em kg/m^3. Os valores de LII para fluidos refrigerantes constam na Tabela 102 da norma. A massa molar do fluido refrigerante em aparelhos com uma carga excedendo 150 g de fluido refrigerante inflamável em qualquer circuito de refrigeração não deve ser menor do que 30 kg/kmol.

A Tabela 38 oferece exemplos de cargas calculadas e valores máximos para determinados fluidos refrigerantes inflamáveis.

Tabela 38 — Exemplos de fluidos refrigerantes inflamáveis, cargas calculadas e valores máximos

Fluido refrigerante	Classificação de segurança	LII (kg/m^3)	13 x LII (kg)	IEC máximo (kg)
R-290	A3	0,038	0,494	0,5
R-600a	A3	0,043	0,559	0,5
R-32	A2L	0,307	3,991	1,2
R-1234yf	A2L	0,289	3,757	1,2

Fonte: Derivado da norma IEC 60335-2-89.

Sistemas remotos com mais de 150 g de carga de fluido refrigerante inflamável não fazem parte do escopo desta nova edição da norma.

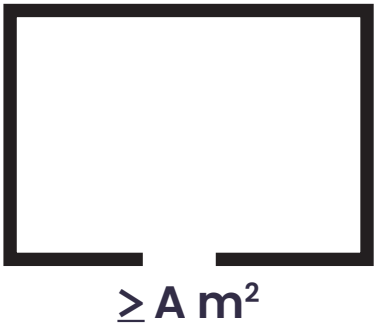
A carga de fluido refrigerante inflamável em aparelhos com uma unidade de refrigeração ou compressor remoto (sistema do tipo split) não deve exceder 150 g em qualquer circuito de refrigeração.

Novos requisitos principais para cargas de fluido refrigerante inflamável acima de 150 g

- O circuito de refrigeração tem que ser hermeticamente vedado (veja também o Capítulo 15.1);
- Para aparelhos com uma carga de fluido refrigerante em qualquer circuito de refrigeração excedendo 150 g de fluido refrigerante inflamável, as peças contendo esse fluido devem ser protegidas e não devem ser acessíveis. Qualquer superfície externa adjacente ou em contato com peças contendo fluido refrigerante devem ter força adequada para aguentar impactos mecânicos;
- Aparelhos com uma carga de fluido refrigerante acima de 150 g dentro de qualquer sistema de refrigeração devem ser construídos de forma que sua operação não cause vibração excessiva ou pontos de ressonância na tubulação conectada ao compressor;
- Os aparelhos devem ser marcados com a área útil mínima da sala A_{lim} na qual é permitido instalar tais aparelhos;

Se o símbolo da IEC 60417-6415-03 estiver gravado no aparelho (veja a Figura 105), o valor de A no símbolo deve ser igual ou maior do que o maior valor limite da área útil da sala Alim determinado pelo seguinte:

Figura 105 — Símbolo de área útil mínima da sala



$$A_{lim} = \frac{M}{2{,}2 \times (0{,}25 \times LII)}$$

em que:

M	é a carga do fluido refrigerante (kg)
LII	é o limite inferior de inflamabilidade do fluido refrigerante inflamável (kg/m³)
2,2	é a altura mínima assumida da sala (m)
0,25	coeficiente que dá 25% do LII

Fonte: IEC 60417-6415.

- A conformidade é verificada por meio de inspeção;
- O fluxo de ar é o fator principal para minimizar o risco de vapores inflamáveis ao redor do aparelho;
- O aparelho deve ser construído de forma a ser aprovado no teste de vazamento (Anexo CC da norma) para evitar concentração de fluido refrigerante inflamável; e
- Em caso de portas/gavetas, o Anexo CC, da norma, inclui um teste de abertura de porta após a liberação da carga completa de fluido refrigerante dentro do gabinete fechado.

12.4 EN 378 parte 1 — quase equivalente à ISO 5149 Parte 1 e ABNT NBR ISO 5149 Parte 1

Com o objetivo de prevenir acidentes, os limites de carga de fluido refrigerante são descritos nas normas de grupo e de produto com requisitos variáveis. A massa de fluido refrigerante HC dentro de um único circuito de refrigeração é limitada de acordo com o tipo de sistema, a localização do sistema e o tamanho do espaço, particularmente em relação a áreas ocupadas. Esses parâmetros são descritos em mais detalhes nas seções a seguir.

Duas restrições aplicam-se ao tamanho da carga de fluido refrigerante:

1. A primeira é o limite máximo da carga, que é uma função do tipo de localização e sua ocupação; e
2. A segunda é a carga permitida, que é uma função do tamanho da sala em que o fluido refrigerante poderia vazar e, às vezes, das características da instalação das partes do sistema.

A interpretação prática do segundo item é que, para uma determinada carga em um sistema, há um tamanho mínimo de sala especificado.

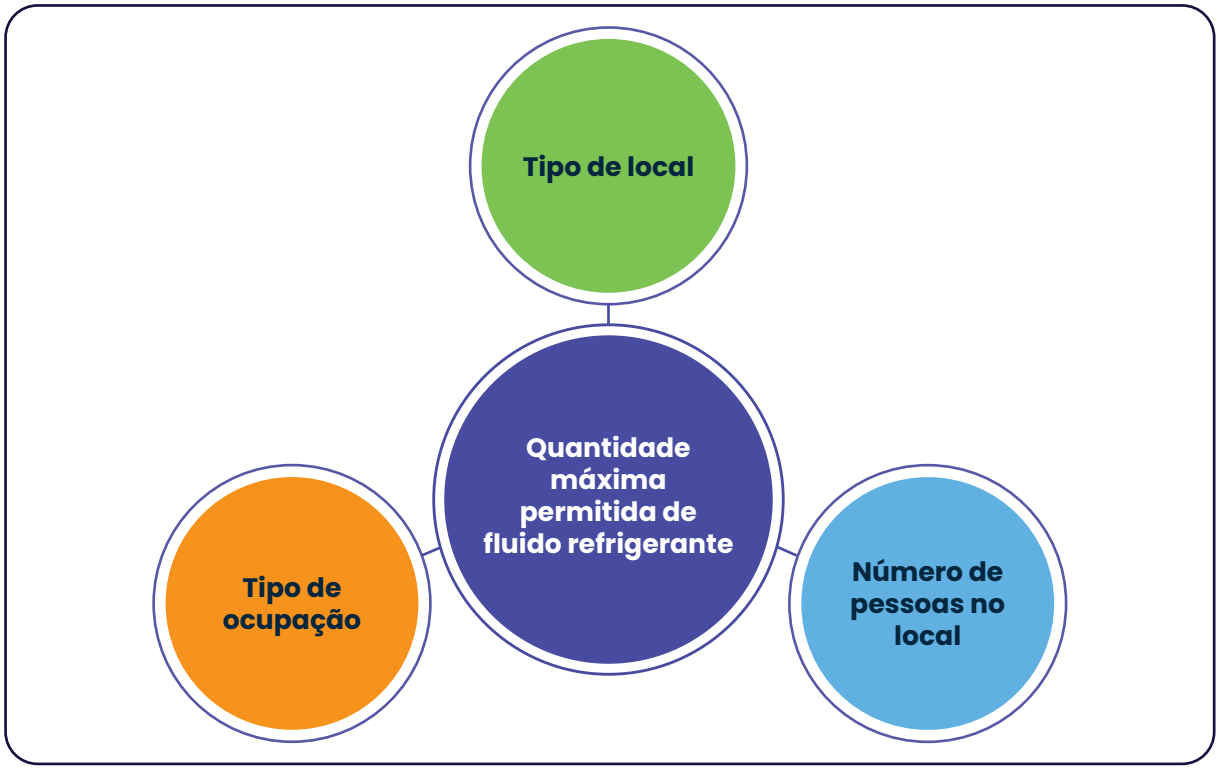
Se houver regulamentações nacionais ou regionais mais restritivas, elas terão precedência sobre os requisitos de limite de carga descritos nas normas aplicadas.

12.4.1 Categorias de ocupação de acordo com EN 378-1, ISO 5149-1 e ABNT NBR ISO 5149

O espaço ocupado é a área em um edifício que é limitada por paredes, chão e teto e ocupada por pessoas em um período significativo. Os espaços ao redor do espaço ocupado que não forem, por construção ou projeto, vedados em relação ao espaço ocupado poderão ser considerados parte do espaço ocupado, por exemplo, espaços vazios em teto rebaixado, passagens estreitas, dutos, divisórias móveis e portas com passagens de ar ou portas com frestas inferiores.

Dependendo de como o espaço é ocupado, aplicam-se diferentes requisitos quanto às precauções de segurança. A quantidade máxima de fluido refrigerante permitido (por circuito de refrigeração) é uma função de vários parâmetros, como pode ser observado na Figura 106.

Figura 106 — Parâmetros determinando a quantidade máxima de fluido refrigerante inflamável



Fonte: HEAT GmbH, com base na EN 378-1.

O tipo de ocupação é crítico para a determinação da carga máxima de fluido refrigerante. Em alguns locais, os ocupantes podem não conhecer as saídas de emergência ou podem achar difícil sair do edifício no caso de uma emergência, enquanto, em outros locais, os ocupantes podem estar bem conscientes quanto aos procedimentos de emergência.

A Tabela 39 mostra diferentes categorias de ocupação (a, b ou c).

Tabela 39 — Tipos de ocupação e exemplos

Categoria	Características gerais	Exemplos[1]
Acesso geral **a**	Salas, partes de prédios, locais públicos, edifícios onde: • São fornecidas instalações para pernoite; • As pessoas têm a sua locomoção restringida; • Há um número não controlado de pessoas; • Qualquer pessoa pode ter acesso, sem estar pessoalmente familiarizada com as precauções de segurança necessárias; • As pessoas provavelmente não conheçam os riscos dos fluidos refrigerantes.	Hospitais, tribunais, presídios, teatros, supermercados, escolas, auditórios, terminais de transporte público, hotéis, residências e restaurantes.
Acesso supervisionado **b**	Salas, partes de prédios, edifícios onde: • Apenas um número limitado de pessoas pode ser reunido; • Algumas pessoas estando necessariamente familiarizadas com as precauções gerais de segurança do estabelecimento.	Empresas, escritórios profissionais, laboratórios, locais de fabricação geral, e onde as pessoas trabalham.
Acesso autorizado **c**	Salas, partes de prédios, edifícios onde: • Somente pessoas autorizadas tenham acesso, que estejam familiarizadas com as precauções de segurança gerais e especiais do estabelecimento; • Ocorre a produção, o processamento ou armazenamento de materiais ou produtos.	Fábricas de manufatura (por exemplo, de produtos químicos, alimentos, bebidas, gelo, sorvete), refinarias, câmaras frigoríficas, laticínios, abatedouros, áreas restritas ao público em supermercados.

[1] A lista mostra apenas alguns exemplos.

Fonte: EN 378- 1.

No caso de mais de uma categoria de ocupação, aplicam-se os requisitos mais rigorosos, isso é, a categoria “a” é escolhida em vez da categoria “b”, ou a categoria “a” em vez da “c”. Entretanto, se cada ocupação for isolada, por exemplo, por divisórias vedadas, pisos e tetos, aplicam-se os requisitos da categoria individual da ocupação.

Atenção:

As normas de produto da série IEC 60335 não seguem as categorias de ocupação ou acesso. Todo o equipamento é tratado da mesma forma.

12.4.2 Classificação do local dos sistemas de refrigeração

Há quatro classes de local para sistemas de refrigeração. A classe apropriada do local deve ser determinada de acordo com a norma europeia EN 378-1, ISO 5149-1 e com a ABNT NBR ISO 5149-1, que leva em conta possíveis perigos.

Local de classe IV — Espaços ventilados

Se todas os componentes contendo fluido refrigerante ficam em um espaço ventilado, os requisitos para uma classe IV devem ser aplicados. Os espaços ventilados devem atender aos requisitos da EN 378-2/ ISO 5149-2 / ABNT NBR ISO 5149-2 e EN 378-3/ ISO 5149-3 / ABNT NBR ISO 5149-3.

Local de classe III — Casa de máquinas ou ao ar livre

Se todos os componentes contendo fluido refrigerante estiverem localizados em uma casa de máquinas ou ao ar livre, os requisitos para o local de classe III devem ser aplicados. As casas de máquinas devem atender aos requisitos da EN 378-3/ ISO 5149-3 / ABNT NBR ISO 5149-3.

Local de classe II — Compressores na casa de máquinas ou ao ar livre

Se todos os compressores e vasos de pressão estiverem localizados em uma casa de máquinas ou ao ar livre, os requisitos para o local de classe II devem ser aplicados, a menos que o sistema esteja em conformidade com os requisitos da classe III. Os trocadores de calor e tubulações, incluindo as válvulas, podem estar localizados em um espaço ocupado.

Local de classe I — Equipamentos mecânicos localizados dentro do espaço ocupado

Se o sistema de refrigeração ou partes dele, que contenham fluido refrigerante, estiverem localizadas no espaço ocupado, o sistema é considerado de classe I, a menos que o sistema esteja em conformidade com os requisitos da classe II.

12.4.3 Limites de concentração

A restrição de tamanho de carga também depende das características de inflamabilidade do LII, LP, ODL e ATEL da substância (veja as definições específicas no Capítulo 9.1).

O LII, o LSI e o LP constam na ficha de segurança de produto químico (FISPQ) específica e/ou EN 378, ISO 817 e ISO 5149/ABNT NBR ISO 5149 (veja exemplos de propriedades de fluidos refrigerantes específicos no Capítulo 8, Tabela 19).

12.4.4 Restrição no tamanho da carga de acordo com EN 378

Na EN 378, a fórmula a ser usada para cálculos de tamanho de carga é escolhida com base em 1) classe de inflamabilidade, 2) categoria de ocupação e acesso e 3) local. Os limites de carga de fluidos refrigerantes inflamáveis e não tóxicos devem ser calculados de acordo com a tabela C.2 (EN 378-1, veja a Tabela 40) e a classe de segurança específica de fluido refrigerante (A2L, A2, A3). Para equipamentos voltados ao conforto humano, a fórmula descrita abaixo é usada para calcular a carga máxima de acordo com o tamanho da sala.

Atenção:

As normas de produto da série IEC 60335 não seguem as categorias de ocupação ou acesso. Todo o equipamento é tratado da mesma forma, e as mesmas fórmulas aplicam-se, independentemente de a unidade ser colocada em uma residência particular ou usada em configuração industrial ou comercial.

A carga é limitada com base no LII do fluido refrigerante. No caso de fluidos refrigerantes de inflamabilidade classe 2 ou 3, o fator de limitação básico é m_1, m_2 e m_3 (indicados abaixo na tabela). Para fluidos refrigerantes de classe de inflamabilidade 2L, o fator de limitação básico é aumentado por um fator

de 1,5 (m_2 = 39 m_3 × LII) por causa das menores velocidades de queima desses fluidos, o que leva a uma probabilidade e consequência reduzidas de ignição.

Tabela 40 — Tamanhos de carga máximos permitidos, abordagem geral como exemplo para inflamabilidade classe A3

Tabela C.2 — Requisitos de limite de carga para sistemas de refrigeração com base na inflamabilidade — EN 378-1							
Classe de inflamabilidade	Categoria de acesso			Classificação do loca			
				I	II	III	IV
3	a — ocupação geral	Conforto humano		De acordo com C.2 e não acima do maior entre m_2 e 1,5 kg		Não mais que 5 kg [c]	Carga de fluido refrigerante não maior que m_3 [b]
		Outras aplicações	Abaixo do solo	Somente sistemas selados: 20% × LII × volume da sala e não mais do que 1 kg			
			Acima do solo	Somente sistemas selados: 20% × LII × volume da sala e não mais do que 1,5 kg			
	b — supervisionado	Conforto humano		De acordo com C.2 e não acima do maior entre m_2 e 1,5 kg		Não mais que 10 kg [c]	
		Outras aplicações	Abaixo do solo	20% × LII × volume da sala e não mais do que 1 kg [a]			
			Acima do solo	20% × LII × volume da sala e não mais do que 2,5 kg			
	c — autorizado	Conforto humano		De acordo com C.2 e não acima do maior entre m_2 e 1,5 kg		Sem restrições de carga [c]	
		Outras aplicações	Abaixo do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 1 kg [c]			
			Acima do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 10 kg [c]	20% × LII × volume da sala e não mais que 25 kg [c]		

[a] m_1 = 4 m³ x LII
m_2 = 26 m³ × LII
[b] m_3 = 130 m³ × LII
[c] Para ar livre, EN 378-3, 4.2 aplica-se; para casas de máquinas, EN 378-3, 4.3 aplica-se.

Fonte: EN 378- 1.

Observação:

Observe que esses limites se aplicam a circuitos individuais de sistemas, de forma que, se um sistema tiver dois circuitos de refrigeração independentes, o limite do tamanho da carga é aplicado a cada um separadamente.

Atenção:

A provisão de uma carga máxima de 1,5 kg para fluidos refrigerantes A3 é aplicável de acordo com a EN 378-1 (C.2.). A ISO 5149-1 / ABNT NBR ISO 5149-1 não estipula esse valor máximo, então, a carga máxima de fluido refrigerante para A3 é limitada pelo fator de limitação m2 com 26 m³ x LII (0,988 kg) para R-290 e para as categorias de ocupação “a” a “c”.

Os limites de carga para o sistema de refrigeração com base na inflamabilidade são determinados desta forma:

1. Limite de carga da Tabela C.2 EN 378-1;
2. m_1 x 1,5 para sistemas de refrigeração selados usando inflamabilidade classe 2L;
3. m_1 para sistemas de refrigeração selados usando inflamabilidade classe 2 ou 3; e
4. 150 g para sistemas de refrigeração selados.

Para fluidos refrigerantes inflamáveis classe A3, não há restrições no volume da sala quanto à carga do fluido refrigerante até um máximo de m_1. Os limites de carga para sistemas de refrigeração selados usando fluidos refrigerantes A3 e para o fator de limitação m_1 são conforme mostrados na Tabela 41.

Tabela 41 — Limites de carga para sistema selado e fator de limitação m_1 = 4 m x LII

Classe de inflamabilidade A3	Limite de carga para sistemas de refrigeração selados "m_1 = 4 m³ x LII"	
	LII	4 m³ x LII
	kg/m³	kg
R-290 - Propano	0,038	0,152
R-600a - Isobutano	0,043	0,172
R-1270 - Propileno	0,046	0,184

Fonte: Derivado da ABNT NBR ISO 5149-1.

12.4.5 Limitações de carga para sistemas de ar condicionado ou bombas de calor para conforto humano

Peças contendo fluido refrigerante em espaço ocupado

Quando a carga de fluidos refrigerantes com inflamabilidade classe 2 e 3 for maior do que m_1, a carga máxima (m_{max}) na sala deve estar de acordo com esta fórmula:

$$\boldsymbol{m_{max}} = 2{,}5 \times \boldsymbol{LII}^{5/4} \times \boldsymbol{h_0} \times \boldsymbol{A}^{1/2}$$

às vezes, a mesma fórmula é apresentada de maneira diferente:

$$m_{max} = 2{,}5 \times LII^{1{,}25} \times h_0 \times A^{0{,}5}$$

mas não mais que m_2 = 26 m³ x LII

A área útil mínima necessária A_{min} para instalar um sistema com carga de fluido refrigerante *m* (kg) deve estar de acordo com a fórmula (C.2 EN 378-1):

$$\boldsymbol{A_{min}} = \frac{\boldsymbol{m}^2}{(2{,}5 \times \boldsymbol{LII}^{5/4} \times \boldsymbol{h_0})^2}$$

às vezes, a mesma fórmula é apresentada de maneira diferente:

$$\boldsymbol{A_{min}} = \frac{\boldsymbol{m}^2}{(2{,}5 \times \boldsymbol{LII}^{1{,}25} \times \boldsymbol{h_0})^2}$$

em que:

m_{max}	é a carga máxima permitida em uma sala em kg
m	é a carga de fluido refrigerante no sistema em kg
A_{min}	é a área mínima necessária da sala em m²
A	é a área da sala em m²
LII	é o limite inferior de inflamável em kg/m³, conforme definido pela ISO 817/EN 378-1/ISO 5149/ABNT NBR ISO 5149 (Tabela 42)
h_0	é o fator de altura do aparelho; por exemplo: • 0,6 para local do piso; • 1,0 montado na janela; • 1,8 montado na parede; • 2,2 montado no teto.

12.4.5.1 Exemplo de cálculo 1

Determine o tamanho da carga máxima permitida para um aparelho de ar condicionado do tipo split R-290 instalado para conforto humano.

Conclusão:

- A Tabela 42 mostra um exemplo do uso da tabela para determinar o tamanho da carga máxima permitida para “Ar-condicionado do tipo split” com fluido refrigerante A3 R-290 em uma ocupação geral (categoria a) usado para conforto humano; e
- A limitação m_2 é 26 m³ x LII, que é 0,988 kg no caso do R-290. O valor de 1,5 kg é maior e decisivo.

Atenção:

O tamanho da carga máxima ainda tem que ser determinado com base no tamanho da sala. Na prática, o tamanho da carga é geralmente informado, e o tamanho da sala é determinado de acordo.

Tabela 42 — Tamanhos de carga máxima permitidos para ar condicionado do tipo split com fluido refrigerante R-290 em um apartamento com ocupação geral

Tabela C.2 — Requisitos de limite de carga para sistemas de refrigeração com base na inflamabilidade — EN 378-1

Classe de inflamabilidade	Categoria de acesso			Classificação do local			
				I	II	III	IV
3	**a** — ocupação geral	Conforto humano		De acordo com C.2 e **não acima do maior entre m_2 e 1,5 kg**		Não mais que 5 kg [c]	Carga de fluido refrigerante não maior que m_3 [b]
		Outras aplicações	Abaixo do solo	Somente sistemas selados: 20% × LII × volume da sala e não mais que 1 kg			
			Acima do solo	Somente sistemas selados: 20% × LII × volume da sala e não mais que 1,5 kg			
	b — supervisionado	Conforto humano		De acordo com C.2 e não acima do maior entre m^2 e 1,5 kg		Não mais que 10 kg [c]	
		Outras aplicações	Abaixo do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 1 kg [a]			
			Acima do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 2,5 kg			
	c — autorizado	Conforto humano		De acordo com C.2 e não acima do maior entre m_2 e 1,5 kg		Sem restrições de carga [c]	
		Outras aplicações	Abaixo do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 1 kg [c]			
			Acima do solo	20% × LII × volume da sala e não mais que 10 kg [c]	20% × LII × volume da sala e não mais que 25 kg [c]		

[a] m_1 = 4 m³ x LII
m_2 = 26 m³ × LII
[b] m_3 = 130 m³ × LII
[c] Para ar livre, EN 378-3, 4.2 aplica-se; para casas de máquinas, EN 378-3, 4.3 aplica-se.

Fonte: EN 378-1.

12.4.5.2 Exemplo de cálculo 2

Calcule a área útil mínima para um sistema de ar condicionado do tipo split que tenha carga de 300 g de R-290 na capacidade de 4 kW. O LII do R-290 é 0,038 kg/m³. A unidade será colocada em uma casa e usada para conforto humano.

Conclusão:

1. A carga é maior do que 152 gramas (4 m³ × LII), de modo que o tamanho mínimo da sala deve ser calculado de acordo com o local da instalação.
2. Cálculo:

$$A_{min} = \frac{m^2}{(2{,}5 \times LII^{1{,}25} \times h_0)^2}$$

Exemplo h_0 *(fator de altura)* para montagem na parede é 1,8 m.

$$A_{min} = \frac{0{,}3^2}{(2{,}5 \times 0{,}038^{1{,}25} \times 1{,}8)^2}$$

$$A_{min} = 15{,}8 \text{ m}^2$$

As áreas úteis mínimas e o volume mínimo da sala para outros fatores de altura são fornecidos abaixo. Essa unidade não pode ser instalada no piso e na altura da janela. A área útil mínima aqui é muito alta. Uma sala desse tamanho precisaria de uma unidade com capacidade maior:

Local da instalação	Fator de altura h_0	Área útil mínima (m²)	Volume mínimo da sala (para uma altura de 2,2 m) em m³
Piso	0,6	142,10	312,6
Montado na janela	1,0	51,2	112,64
Montado na parede	1,8	15,8	34,76
Montado no teto	2,2	10,6	23,3

12.4.5.3 Exemplo de cálculo 3

Calcule a carga máxima permitida para uma unidade de ar-condicionado do tipo split com fluido refrigerante R-290. A sala tem uma área útil de 30 m². Um aparelho de condicionador de ar janela deve ser instalado.

- A área útil *A* é 30 m²
- Fluido refrigerante R-290
- O LII é 0,038 kg/m³
- h_0 para uma unidade de ar condicionado tipo janela é 1,0 m

Cálculo:

$$m_{max} = 2{,}5 \times LII^{1{,}25} \times h_0 \times A^{0{,}5}$$

$$m_{max} = 2{,}5 \times 0{,}038^{1{,}25} \times 1{,}0 \times 30^{0{,}5}$$

$$m_{max} = 0{,}230\ kg$$

Conclusão:

Para uma sala com área útil de 30 m², a carga máxima permitida de R-290 para um aparelho de ar condicionado janela é 230 gramas (nessa instalação específica).

A carga máxima de fluido refrigerante m_{max} é 0,230 kg de R-290.

12.4.6 Tipos genéricos de sistemas de refrigeração de acordo com a EN 378 e ISO 5149 / ABNT NBR ISO 5149

Há ilustrações de exemplo de sistemas genéricos de refrigeração a seguir para explicar visualmente as diferenças de aplicação, definição de espaço ocupado e local da casa de máquinas.

Definição de sistema selado (EN 378-1 e ISO 5149-1/ ABNT NBR ISO 5149-1):

Sistema de refrigeração em que todas as peças contendo fluido refrigerante estão conectadas de forma estanque por soldagem, brasagem ou processo similar permanente que pode incluir válvulas e conexões de serviço com tampa com limitações que permitem reparo ou descarte adequados e que tenham uma taxa de vazamento testada de menos de três gramas por ano sob uma pressão de, no mínimo, um quarto da pressão máxima permitida.

Observação 1 sobre a entrada: Onde os acoplamentos mecânicos são protegidos contra uso impróprio por meio de ferramentas especiais (por exemplo, por selante), isto é considerado similar a uma conexão permanente.

Definição de sistema autossuficiente (EN 378-1 & ISO 5149-1/ ABNT NBR ISO 5149-1):

Sistema de refrigeração montado em fábrica em uma estrutura e/ou gabinete adequado, que é fabricado e transportado completo, ou em duas ou mais seções, e no qual nenhuma parte contendo fluido refrigerante é conectada no local, exceto por válvulas de isolamento, como válvulas de bloqueio conjugadas.

Sistemas diferentes têm requisitos diferentes em relação ao tamanho da carga de fluidos refrigerantes inflamáveis.

12.4.6.1 Sistemas de liberação direta

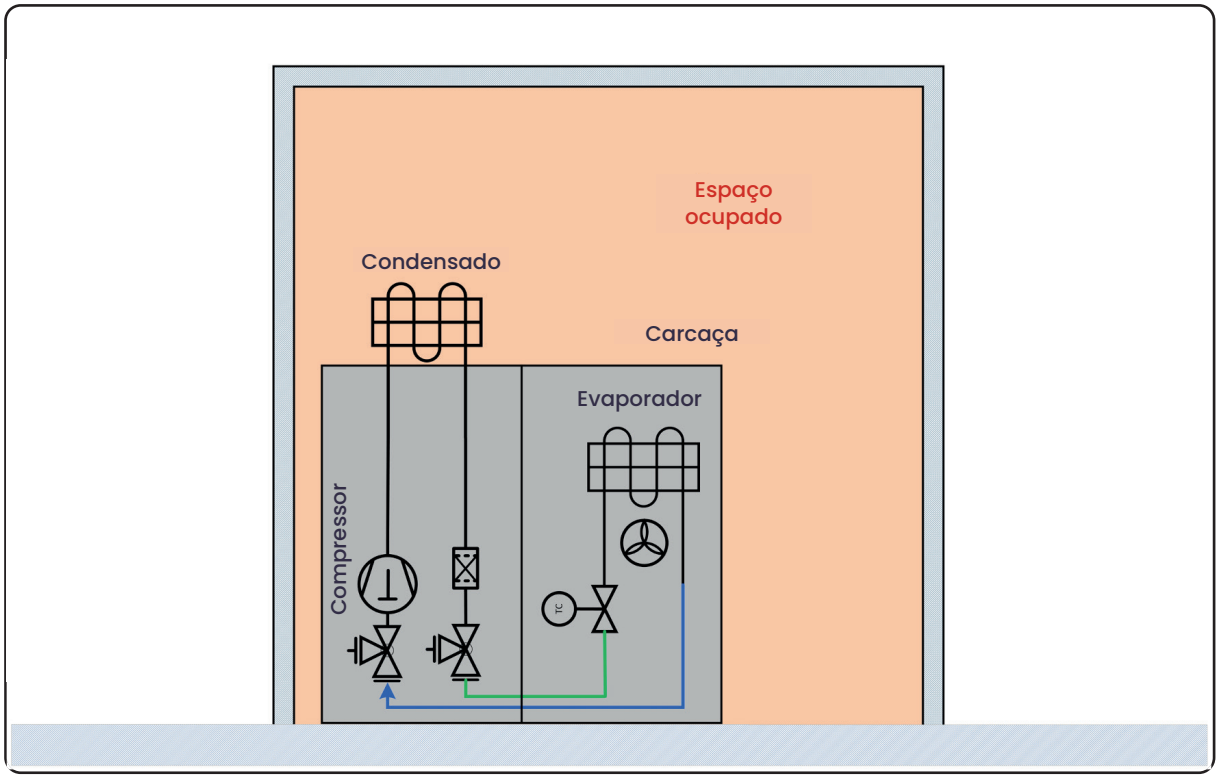
O evaporador, condensador ou refrigerador de gás do sistema de refrigeração está em contato direto com o ar ou o bem a ser resfriado ou aquecido. Sistemas em que o fluido secundário está em contato direto com o ar ou bens a serem resfriados ou aquecidos (por exemplo, sistemas de pulverização) são sistemas de liberação direta. Nas seções seguintes, quatro tipos de sistemas de liberação direta são apresentados:

A Figura 107 mostra um exemplo de um aparelho completo, incorporando todas as seções e componentes contendo o fluido refrigerante, localizado dentro do espaço ocupado.

- Sistema direto de expansão

Exemplos: refrigerador, congelador, vitrine refrigerada e máquina de vendas.

Figura 107 — Exemplo — aparelho completo dentro do espaço ocupado



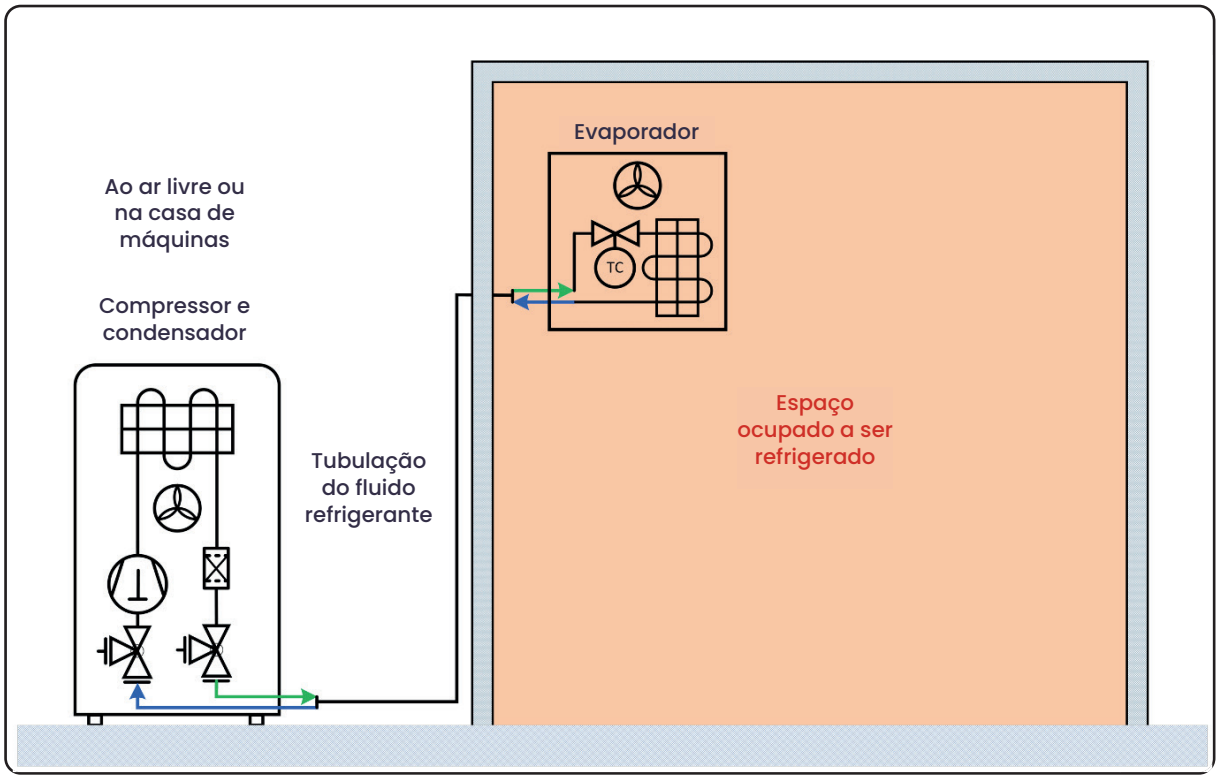
Fonte: Rolf Huehren.

12.4.6.2 Sistema do tipo split

- Sistema direto de expansão;
- Evaporador dentro do espaço ocupado (*fan coil*, unidade interna); e
- Unidade condensadora a céu aberto ou dentro de uma casa de máquinas.

Exemplos: ar-condicionado do tipo split para resfriamento de instalações de processamento de comida (Figura 108).

Figura 108 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, evaporador dentro do espaço ocupado



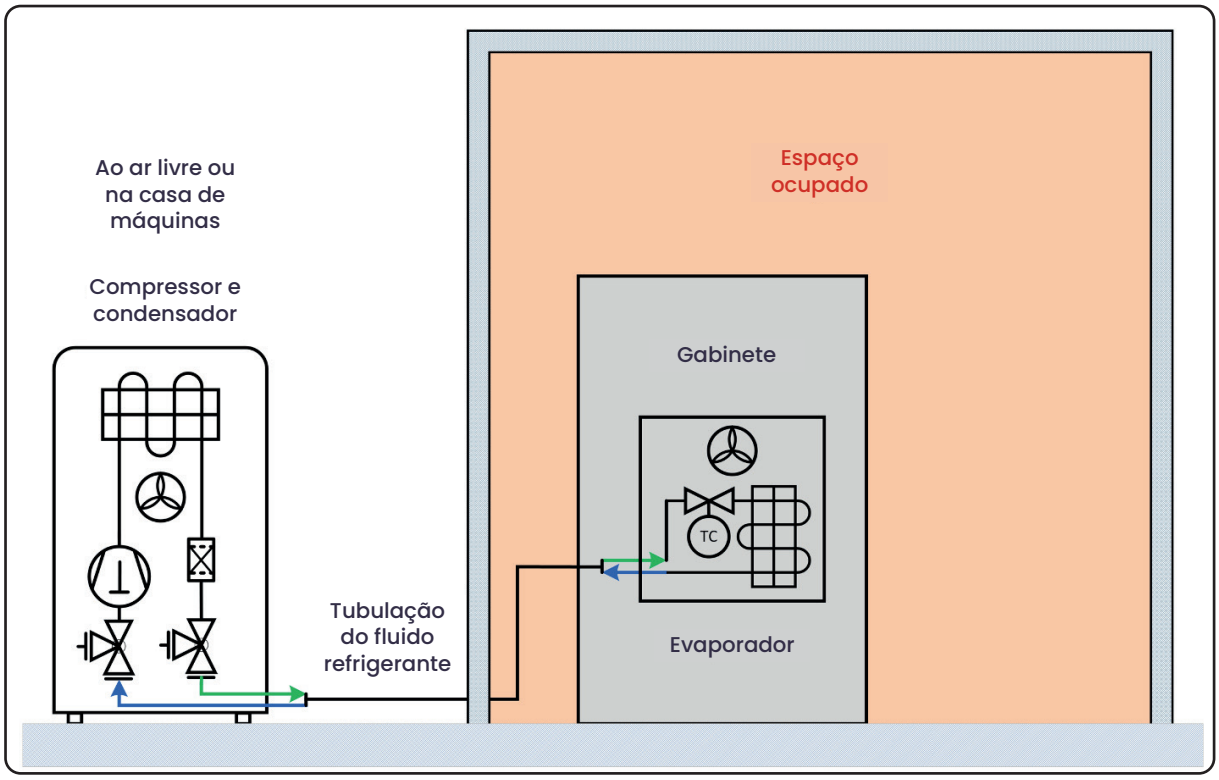
Fonte: Rolf Huehren.

12.4.6.3 Sistema do tipo split — evaporador dentro de um gabinete

- Sistema direto de expansão;
- Evaporador dentro de um gabinete; e
- Unidade condensadora a céu aberto ou dentro de uma casa de máquinas.

Exemplo: equipamento de refrigeração para varejo de alimentos (Figura 109).

Figura 109 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, evaporador dentro de um gabinete



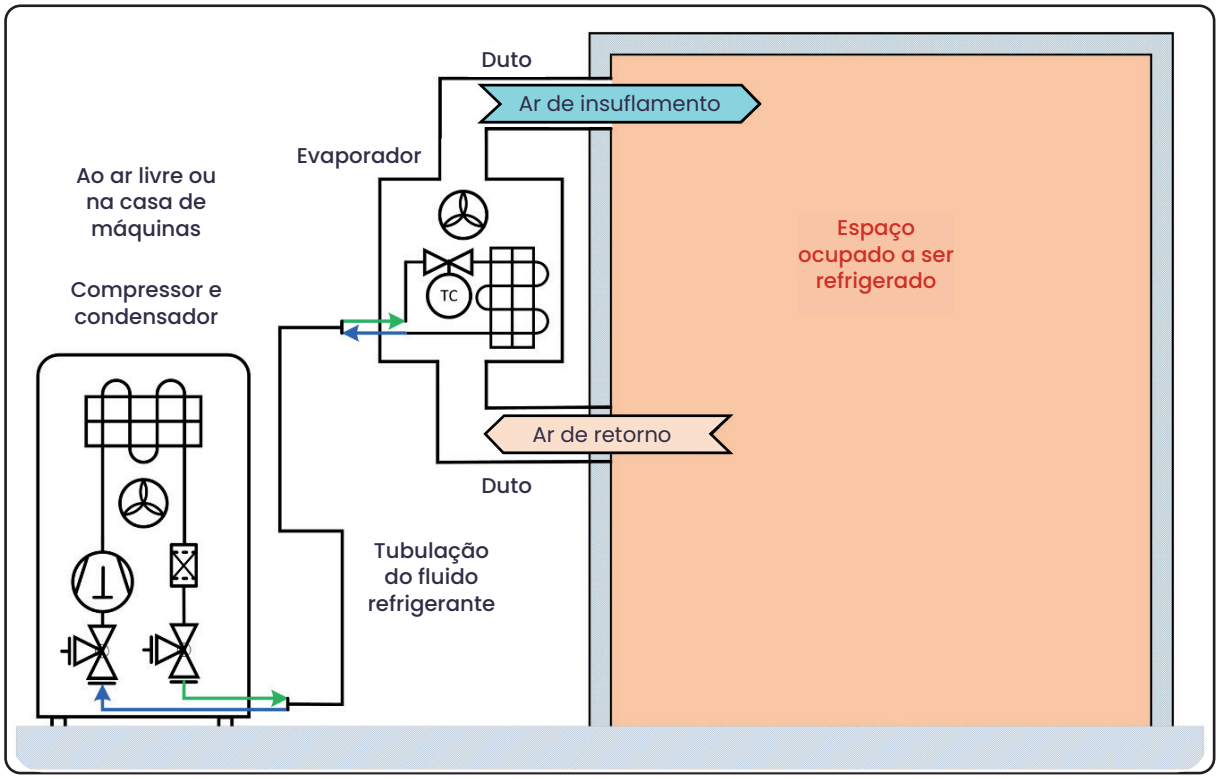
Fonte: Rolf Huehren.

12.4.6.4 Sistema do tipo split — unidade de tratamento de ar (AHU) do evaporador incorporada a um sistema de dutos

- Sistema direto de expansão;
- Evaporador conectado a um sistema de dutos (por exemplo, unidade de tratamento de ar, *fan coil*); e
- Unidade condensadora a céu aberto ou dentro de uma casa de máquinas.

Exemplo: sistema de ar condicionado de prédio (Figura 110).

Figura 110 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão direta, AHU



Fonte: Rolf Huehren.

12.4.6.5 Sistemas indiretos

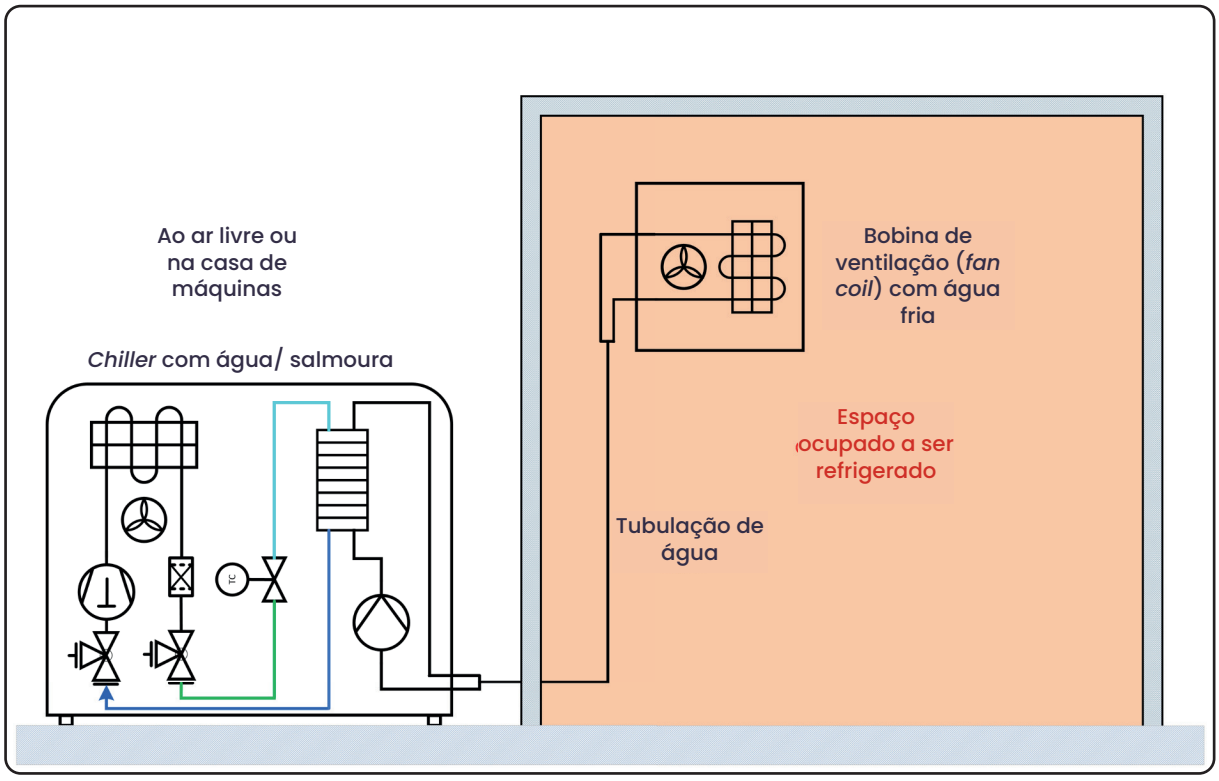
O evaporador resfria, ou o condensador ou refrigerador de gás aquece o fluido de transferência de calor (água, salmoura, CO_2), que passa por um circuito fechado contendo o trocador de calor que está em contato direto com a substância a ser tratada. A seguir, dois exemplos são apresentados (Figura 111 e Figura 112):

1. Instalação de sistema do tipo split, *chiller* e *fan coil* para circulação de água fria/salmoura/CO_2 (meio de transferência de calor).
    - Sistema fechado indireto (circuito de refrigeração);
    - Evaporador dentro da casa de máquinas ou ao ar livre;
    - *Fan coil* com circulação do fluido de transferência de calor no local de resfriamento/aquecimento;
    - Instalação única de *fan coil* ou várias *fan coils* de circulação dentro de uma rede distribuída; e
    - Unidade condensadora dentro de uma casa de máquinas ou a céu aberto, possivelmente sobre a mesma estrutura de base de máquinas que o evaporador.

Exemplos: sistema de ar condicionado de prédios, aplicação no varejo de alimentos, aplicação em produção.

Comumente chamado também de *chiller*.

Figura 111 — Exemplo de sistema do tipo split — expansão indireta, *fan coils*



Fonte: Rolf Huehren.

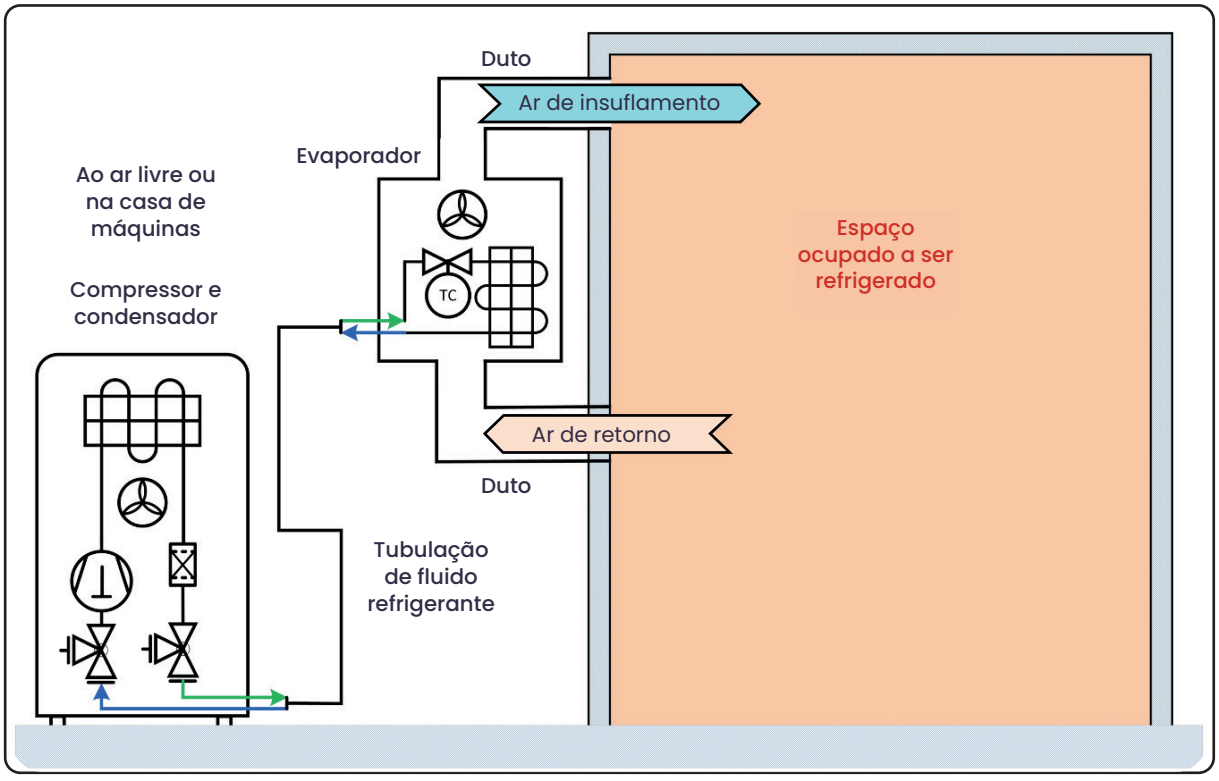
2. Instalação de sistema do tipo split, *chiller* e unidade de tratamento de ar (AHU) para circulação de água fria/salmoura/CO_2 (fluido de transferência de calor).

- Sistema fechado indireto (circuito de refrigeração);
- Evaporador dentro da casa de máquinas ou ao ar livre;
- Unidades de tratamento de ar com circulação do fluido de transferência de calor conectadas no local de resfriamento/ aquecimento;
- Instalação única de AHUs ou várias AHUs dentro de uma rede distribuída; e
- Unidade condensadora dentro de uma casa de máquinas ou a céu aberto, possivelmente sobre a mesma estrutura de base de máquinas que o evaporador.

Exemplos: Sistema de ar condicionado de prédios, aplicação no varejo de alimentos, aplicação em produção.

Comumente chamado também de *chiller*.

Figura 112 — Exemplo de sistema indireto split — AHU



Fonte: Rolf Huehren.

13

Classificação e etiquetagem de zonas inflamáveis

13. Classificação e etiquetagem de zonas inflamáveis

13.1 Divisão por zonas

A proteção contra explosão é uma das tarefas mais importantes em termos de segurança para o projeto, a fabricação e a manutenção de aparelhos e sistemas. Em caso de explosão, a vida e a saúde de usuários e trabalhadores são ameaçadas pelos efeitos incontroláveis das chamas e da pressão, bem como por produtos de reação perigosa (por exemplo, produtos da decomposição dos fluidos refrigerantes) e pelo consumo do oxigênio necessário para a respiração, que está no ar ambiente.

Uma explosão ou incêndio ocorre quando há um combustível (fluido refrigerante) misturado com o ar (ou seja, oxigênio suficiente) dentro dos limites da explosão [entre o limite inferior de inflamabilidade (LII) e o limite superior de inflamabilidade (LSI)] e uma fonte de ignição.

Há normas, mas também legislações nacionais ou — no caso da UE — regionais para atmosferas explosivas. Tanto a Diretiva de Local de Trabalho ATEX, quanto a norma IEC 60079-10-1:2021: Atmosferas explosivas — Parte 10-1: Classificação de áreas — Atmosferas de gás explosivo, bem como várias regulamentações nacionais, descrevem a divisão em zonas de áreas perigosas.

As áreas perigosas são divididas em zonas de acordo com a frequência e a duração da ocorrência de atmosferas explosivas. Essa classificação informa o escopo das medidas a serem tomadas (veja a Figura 113).

Ao trabalhar em sistemas usando fluidos refrigerantes inflamáveis, o trabalhador habilitado deve considerar determinados locais como “zonas temporariamente inflamáveis”. Essas, normalmente, são regiões onde se prevê alguma emissão de fluido refrigerante, pelo menos, ocorrendo durante os procedimentos normais de trabalho.

Tipicamente, isso ocorre quando mangueiras são conectadas ou desconectadas. Por causa da quantidade máxima de fluido refrigerante que pode ser liberada durante um desses procedimentos (como desconectar uma mangueira enquanto ela estiver cheia de fluido refrigerante sob pressão), a distância mínima desse ponto que deve ser considerada como uma zona inflamável temporária é de cerca de meio metro em todas as direções.

A área de trabalho deve ser marcada como "Área dividida em zonas". Ela será um perímetro de, no mínimo, três metros ao redor do equipamento de refrigeração em manutenção, e deve haver sinalização de perigo (normalmente, um triângulo amarelo alertando quanto a "incêndio"). Antes de começar o trabalho, o supervisor local deve ser notificado da existência da zona (se aplicável).

Para gases e vapores:

Figura 113 — Classificação de zonas inflamáveis

Zona 0	Zona 1	Zona 2
• Um local no qual uma atmosfera explosiva, consistindo de uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, está presente continuamente, ou por longos períodos, ou frequentemente. • Observação: O termo "frequentemente" deve ser usado no sentido de "predominantemente com o passar do tempo".	• Um local no qual uma atmosfera explosiva, consistindo de uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, é provável de ocorrer, em operação normal[1], de forma ocasional.	• Um local no qual uma atmosfera explosiva, consistindo de uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, não é provável de ocorrer, em operação normal[1], mas, se ocorrer, será por um breve período. • Observação: isso quer dizer que atmosferas explosivas perigosas ocorrem apenas raramente e apenas por breves períodos.

Fonte: Rolf Huehren conforme a IEC60079-10-1.

[1]Operação normal

Operação normal é a condição na qual as máquinas ou instalações de trabalho e seu equipamento são usadas ou operadas dentro dos parâmetros de seu projeto.

Observação quanto aos defeitos:

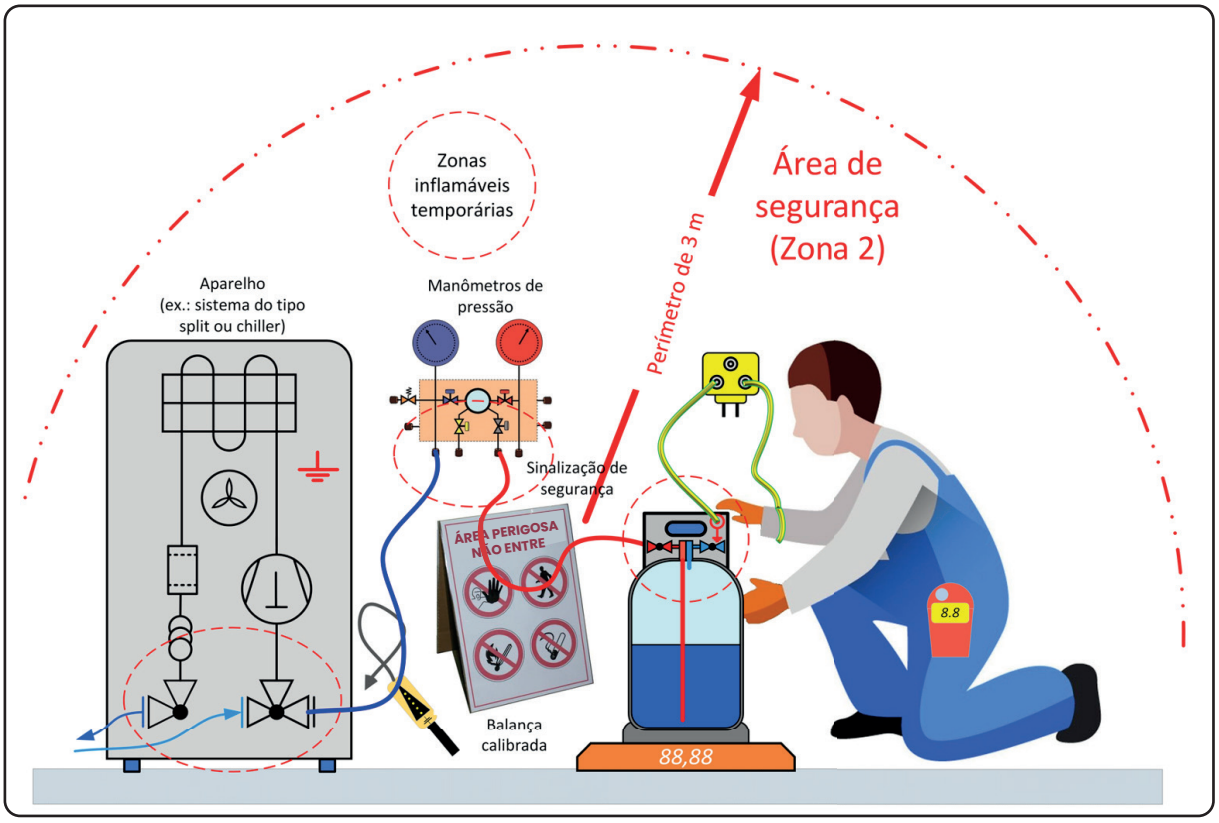
Defeitos (como falhas de vedação, bombas ou flanges ou com liberação de substâncias como resultado de acidentes) que exigem reparos ou desligamento, por exemplo, não são considerados operação normal.

Em locais de trabalho, as atmosferas potencialmente explosivas são normalmente classificadas, no máximo, como Zona 1 ou 2.

A Zona 0 é restrita a áreas inacessíveis muito pequenas em locais de trabalho ou são geralmente restritas ao interior de equipamento técnico.

A Figura 114 mostra zonas inflamáveis temporárias típicas (Zona 2) que podem ser criadas durante a manutenção do sistema de AVAC-R. Essas zonas são marcadas com um círculo tracejado vermelho. A área de segurança atribuída de 3 m para se trabalhar próximo a zonas inflamáveis temporárias deve incluir sempre todas as partes em que essas zonas podem ocorrer.

Figura 114 — Ilustração de zonas inflamáveis temporárias e área de segurança



Fonte: Rolf Huehren.

13.2 Requisitos de construção

Atenção:

As áreas perigosas são divididas em zonas de acordo com a frequência e a duração da ocorrência de atmosferas explosivas. Uma zona inflamável temporária (Zona 2) é uma área onde é raro haver uma concentração inflamável e, se houver, será breve. É necessário usar equipamento protegido e monitorar a ocorrência de concentrações inflamáveis (misturas de fluidos refrigerantes inflamáveis e ar) durante a manutenção do sistema de AVAC-R.

13.2.1 Ventilação de locais de instalação para sistemas de refrigeração e componentes do sistema

A ventilação deve estar em conformidade com as regulamentações nacionais.

A ventilação de locais de instalação para sistemas de refrigeração e componentes do sistema deve ser o suficiente para condições operacionais normais e situações de emergência.

Esse requisito aplica-se em particular às casas de máquinas.

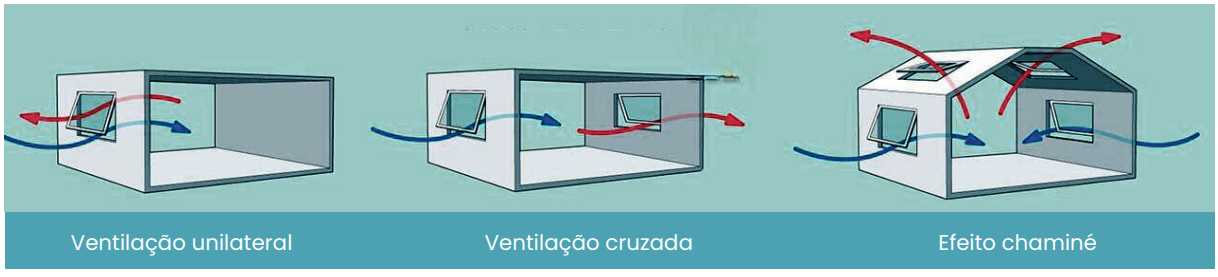
As medidas de ventilação para situações de emergência servem para evitar ou reduzir os acúmulos de gás.

Há uma distinção entre os dois tipos de ventilação, a natural e a mecânica forçada.

A ventilação natural é a troca de ar sem equipamentos técnicos específicos. A troca de ar acontece por conta de diferenças de densidade ou pressão de ar em áreas espacialmente adjacentes, devido a diferenças de temperatura dentro/fora de uma sala, ou por causa do vento.

Os princípios da ventilação natural são mostrados na Figura 115.

Figura 115 — Princípios da ventilação natural



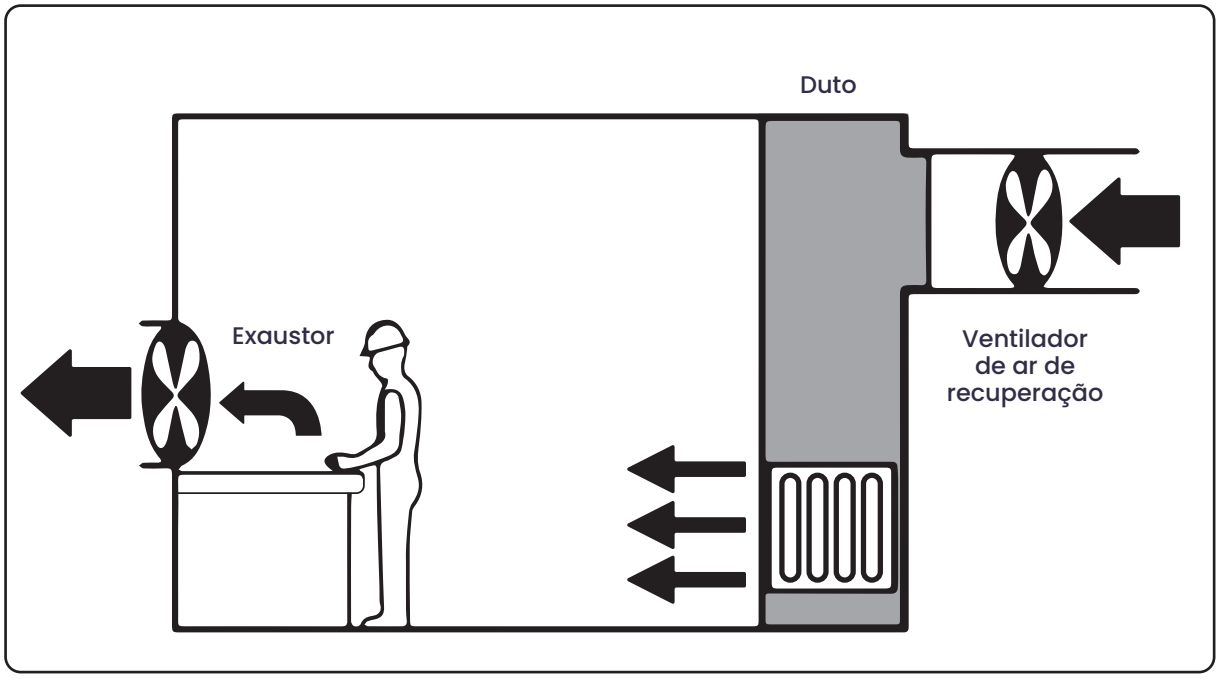
Fonte: Teal Products UK.

A ventilação mecânica (forçada) é a troca de ar com equipamento técnico específico (por exemplo, ventiladores, injetores de ar).

As especificações necessárias das medições de ventilação resultam da avaliação de risco e podem variar da dispersão natural (por exemplo, salas suficientemente grandes ou saídas de ar permanentemente abertas para o ar livre) até a troca de ar 15 vezes maior, conforme definida pela EN 378-3 Seção 5.13.4.

A Figura 116 mostra um exemplo de ventilação mecânica (forçada).

Figura 116 — Exemplo de ventilação mecânica (forçada)



Fonte: Centro Canadense de Saúde e Segurança Ocupacionais.

Se a ventilação for usada como uma medida de proteção contra explosões (Regras técnicas para substâncias perigosas TRFS 720 — *Misturas explosivas perigosas — Geral e TRGS 722 Prevenção ou limitação de misturas explosivas perigosas*), ela deve ser avaliada em termos de força, qualidade e disponibilidade.

13.2.2 Proteção contra perigos de incêndio e explosão

Para sistemas que utilizam fluidos refrigerantes inflamáveis, os sistemas de refrigeração devem ser construídos de modo que qualquer fluido refrigerante vazado não flua ou estagne, de modo a causar risco de incêndio ou explosão em áreas dentro do equipamento; onde componentes e dispositivos que possam ser uma fonte de ignição e que poderiam funcionar em condições normais ou em caso de vazamento estejam instalados.

Os sistemas de refrigeração no escopo, e em conformidade com a série de normas de produto da EN 60335, devem estar em conformidade com essas provisões.

- As fontes de ignição incluem superfícies quentes que excedem os limites de temperatura especificados, chamas e gases quentes que não estejam adequadamente isolados e equipamentos elétricos que poderiam gerar arcos ou faíscas. Para conhecer sobre outros tipos de potenciais fontes de ignição, consulte a EN 1127—1 (Atmosferas explosivas — Prevenção e proteção contra explosões — Parte 1: Conceitos básicos e metodologia);

- Para determinar se uma fonte de ignição está em uma posição em que fluido refrigerante vazado poderia fluir ou se estagnar, a norma EN 60079-10-1 (Atmosferas explosivas — Parte 10-1: Classificação de áreas — Atmosferas com gás explosivo) deve ser usada para estimar o tamanho e a extensão de uma zona potencialmente inflamável.

As potenciais fontes de ignição são:

1. Superfícies quentes
   Exemplos: bobinas, resistências ou lâmpadas, superfícies de equipamentos quentes, freios ou rolamentos superaquecidos.

2. Chamas e gases quentes
   Exemplos: chamas livres de equipamento de brasagem,

escapamentos de motores de combustão interna ou partículas formadas pelas faíscas de interruptores (liga/desliga), corroendo o material de seus contatos.

3 Faíscas geradas mecanicamente
Exemplos: faíscas causadas pelo uso de ferramentas elétricas (cortador, furadeira, esmeril, etc.), ou ferramentas como um martelo ou formão enferrujados em contato com ligas leves ou o garfo de metal de uma empilhadeira.

4 Equipamento e componentes elétricos
Exemplos: faíscas de contatores e relés, fusíveis disparados, faíscas em coletores ou anéis deslizantes.

5 Correntes elétricas de fuga, proteção contra corrosão catódica
Exemplos: diferenças em potencial entre pontos de aterramento distintos. Fontes de tensão aterradas para proteção de equipamento contra corrosão elétrica, por exemplo. Observação: uma ligação equipotencial deve ser fornecida sempre, independentemente de tais correntes serem ou não esperadas ou de suas fontes serem conhecidas.

6 Eletricidade estática
Exemplos: correias de transmissão feitas de materiais plásticos, invólucros de aparelhos portáteis, material sintético de vestiário. Processos de separação ao se desenrolar papel ou filme plástico, sistemas de tubulação de transporte em plástico.

7 Relâmpagos

8 Ultrassônicos
Exemplos: equipamento de transmissão e recepção, telefones celulares, barreiras fotoelétricas e scanners.

Componentes e aparelhos não são considerados uma fonte de ignição desde que estejam em conformidade com, pelo menos, uma destas condições:

- Posicionados de tal forma que estejam fora da zona potencialmente inflamável, onde qualquer fluido refrigerante poderia vazar ou se estagnar; ou
- Ventilados com um fluxo de ar alto o suficiente, que seja permanente ou iniciado antes da energização dos componentes e equipamentos. Um fluxo de ar alto o suficiente para que a concentração de fluido refrigerante na potencial fonte de ignição não exceda 50% do LII; ou
- Requisitos de equipamento protegido adequados para áreas de Zona 2, Zona 1 ou Zona 0, conforme definição na EN 60079-10-1; ou
- Para equipamento elétrico, a energia máxima possível de uma faísca ou arco dentro de seu circuito não causará a ignição na concentração mais inflamável do fluido refrigerante usado;
- Deve-se considerar a disponibilidade do fluxo de ar pela duração da vida útil do equipamento e controles adequados devem ser implementados para evitar a energização dos componentes ou equipamentos, no caso de o fluxo de ar diminuir para um valor que resultaria em uma concentração excedendo 50% do LII;
- A temperatura das superfícies que podem ser expostas a vazamento de fluidos refrigerantes A2, A2L, B2L, A3, B2 ou B3 não deve exceder a temperatura de autoignição do fluido refrigerante em 100 K.
- As temperaturas de autoignição constam na ISO 817 ou EN 378-1, ISO 5149-1, ABNT NBR ISO 5149-1;
- A desconexão e conexão de componentes ou conectores elétricos não é considerada operação normal;

- Quando houver um plugue e uma tomada, eles devem ser considerados parte do equipamento. Desconexão ou conexão do plugue da/na tomada elétrica é considerada parte da operação normal, a menos que o uso de uma ferramenta especial seja necessário; e
- Para equipamento que tenha gabinete com portas e outros painéis móveis, etc., a avaliação também deve considerar a extensão das zonas inflamáveis. Quando portas ou painéis forem abertos, antes ou após um vazamento, se é esperado que eles possam ser abertos na operação normal. Se a avaliação demonstrar que uma potencial zona inflamável pode se estender além dos limites do equipamento, essas informações devem constar na documentação do equipamento.

13.2.3 Proteção do sistema de refrigeração contra excesso de pressão exceto no caso de incêndio externo

13.2.3.1 Sistemas de AVAC-R inerentemente seguros

Nem todas as categorias de equipamento usando fluidos refrigerantes inflamáveis exigem o mesmo nível de conhecimento e habilidades dos funcionários em relação às medidas de segurança.

Uma das categorias, que requer um nível limitado e específico de habilidades, é a de sistemas inerentemente seguros contra excesso de pressão. As características de um sistema inerentemente seguro são:

- Um sistema de refrigeração no qual o volume interno e a carga total do fluido refrigerante sejam tais que, com o sistema parado, a pressão permitida não será excedida quando a evaporação completa do fluido refrigerante for excedida;

- Ele é projetado e construído de tal forma a evitar que o compressor gere uma pressão mais alta do que a pressão operacional permissível do sistema em condições específicas; e
- Todas as partes do sistema devem suportar a pressão máxima permitida esperada na operação normal, operação anormal e inatividade.

Isso é conseguido, por exemplo, com:

- Carga limitada de fluido refrigerante;
- Maior espaço livre ao redor;
- Válvula de alívio de pressão; ou
- Baixa potência de acionamento.

A quantidade de substância inflamável, que pode ser manipulada, é assim determinada e limitada com precisão pelos fabricantes.

Exemplos de sistemas inerentemente seguros podem ser encontrados em diferentes tipos de aplicações, incluindo refrigeradores, congeladores para alimentos, máquinas de gelo, aparelhos de ar condicionado de pequeno porte (incluindo sistema de ar condicionado do tipo split), bombas de calor e desumidificadores elétricos, dispensadores comerciais e máquinas de venda (*vending machine*).

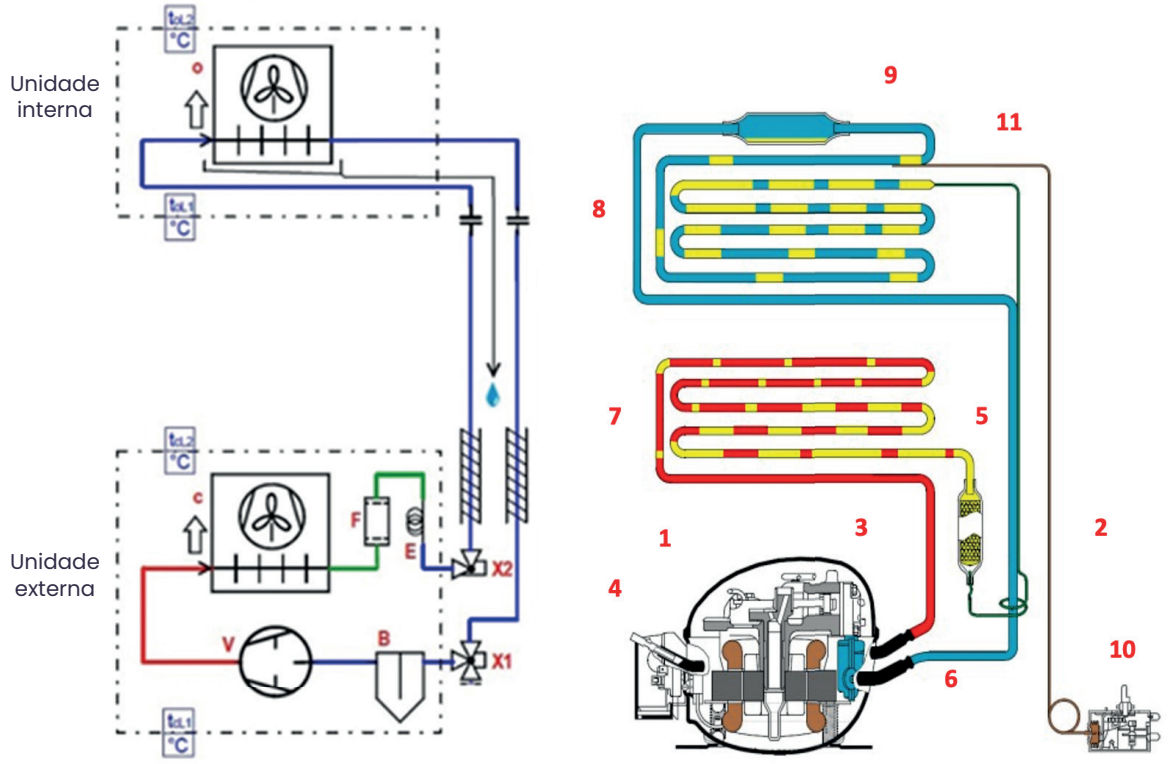
Para um sistema inerentemente seguro, os seguintes dispositivos de segurança não são obrigatórios:

1. Dispositivo de segurança contra excesso de pressão para descarga na atmosfera;
2. Dispositivo de segurança contra excesso de pressão para desligamento do compressor;
3. Dispositivo de segurança contra pressão operacional muito baixa; e
4. Dispositivo de segurança contra temperaturas operacionais muito altas ou muito baixas.

Sistemas inerentemente seguros são geralmente chamados de sistemas com injeção de tubo capilar (ou dispositivos similares, por exemplo, pistão *Chatleff,* se aplicável; veja a Figura 117). Para esses aparelhos inerentemente seguros, não será necessário nenhum dispositivo de segurança adicional para limitar a pressão do sistema.

Figura 117 — Esquerda: Sistema de dispositivo de expansão capilar — aparelho de ar condicionado do tipo split.

Direita: Sistema de injeção capilar (refrigerador doméstico)



1	Compressor	7	Condensador
2	Filtro secador	8	Evaporador
3	Tubo de descarga	9	Acumulador
4	Tubo de processo	10	Termostato
5	Tubo de sucção	11	Sensor
6	Tubo capilar		

Fonte: Rolf Huehren /Fonte imagem da direita: Danfoss.

13.2.3.2 Dispositivos de alívio de pressão de segurança e pressostatos

Um dispositivo de alívio de pressão de segurança é um equipamento com uma função de segurança atribuída a uma ou mais partes do sistema. Equipamentos com função de segurança também são dispositivos limitadores de pressão, temperatura ou nível do fluido, o que permite um desligamento seguro do sistema.

Os dispositivos de proteção devem ser fornecidos para o sistema de refrigeração e para o circuito de transferência de calor secundário.

Sempre que possível, deve ser usado um pressostato de segurança para limitar a pressão antes que qualquer dispositivo de alívio de pressão comece a funcionar. Também sempre que possível, dê preferência a válvulas de alívio de pressão, que ventilam para um estágio de pressão inferior, ou para um vaso de expansão, em vez de usar dispositivos de alívio de pressão, que fazem esse alívio para a atmosfera.

Dispositivos usados para proteção de partes do sistema de refrigeração devem ser configurados de acordo com estas regras:

1. Quando a pressão é limitada por um pressostato de segurança de limitação de pressão:
   - Os pressostatos de segurança de limitação da pressão devem ser configurados a uma pressão ≤ 1 × PS.
2. Quando a pressão é limitada por um dispositivo de alívio de pressão:
   - Os dispositivos de alívio de pressão devem ser configurados a uma pressão ≤ 1 × PS;
   - Os dispositivos de alívio de pressão devem ser totalmente abertos a ≤ 1,1 × PS.

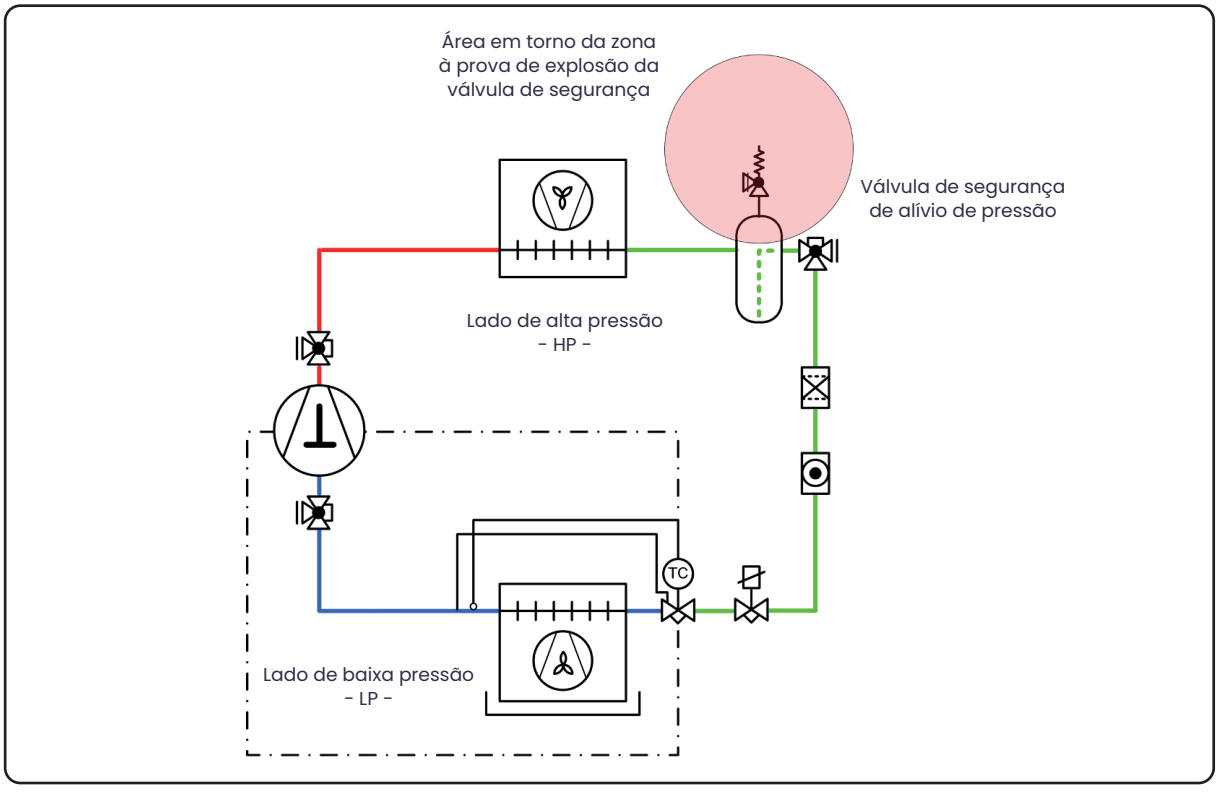
3 Quando os dispositivos de alívio de pressão e os pressostatos de segurança de limitação de pressão forem usados para proteção da mesma parte do sistema de refrigeração, a configuração do pressostato de segurança de limitação de pressão deve ser ≤ 0,9 vezes a configuração do dispositivo de alívio de pressão.

Para válvulas de segurança de purga, o empregador deverá fornecer medidas de acordo com a avaliação de risco, para garantir que nenhum perigo seja causado pela purga dos fluidos refrigerantes inflamáveis.

Uma Zona 2 para atmosferas potencialmente explosivas deve ser definida e marcada na vizinhança das saídas de purga (Figura 118 e Figura 119).

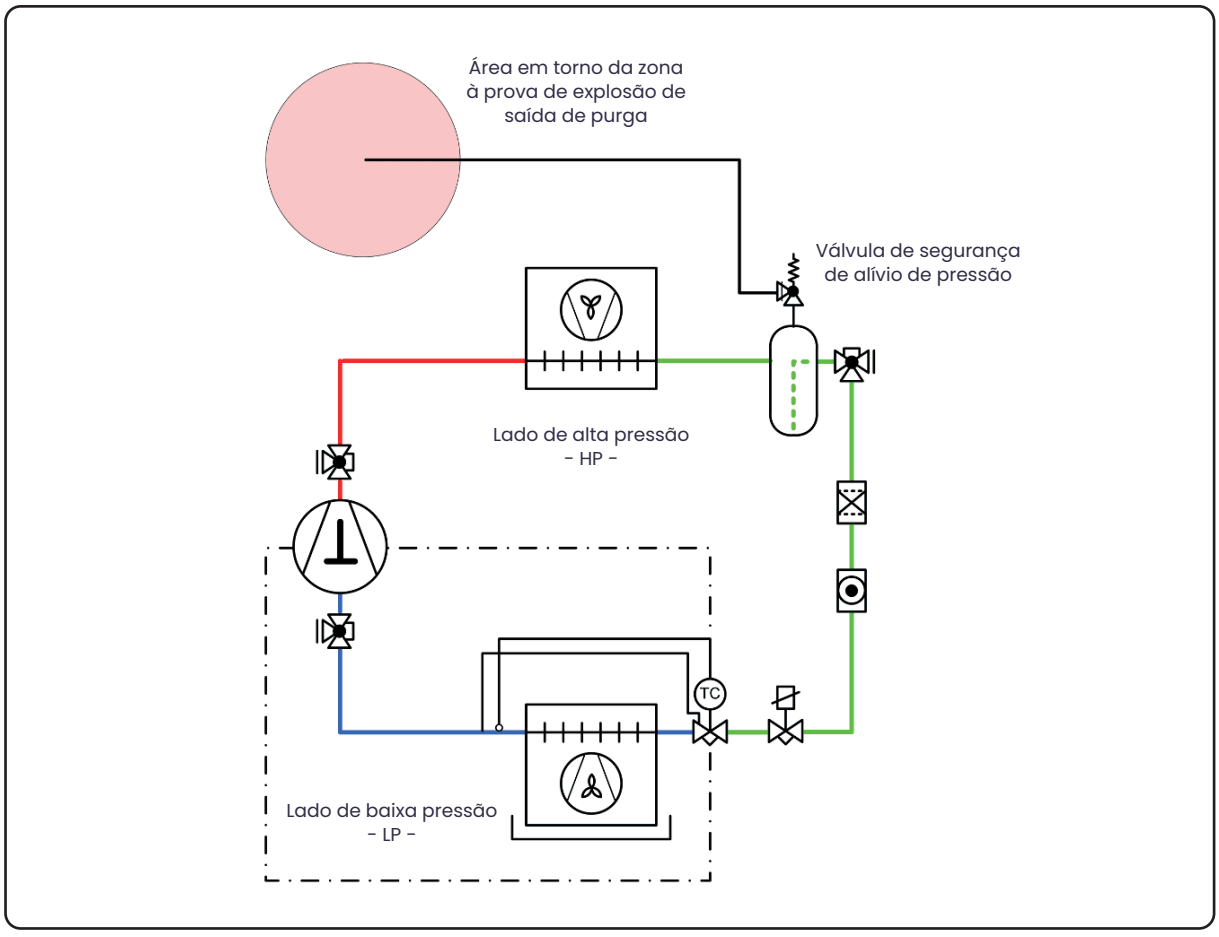
O tamanho da atmosfera potencialmente explosiva deve ser determinado de acordo com a quantidade de fluido refrigerante que pode ser liberada e não deve ter raio inferior a 2 metros.

Figura 118 — Purga da válvula de segurança e classificação de zona à prova de explosão, exemplo 1



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 119 — Purga da válvula de segurança e classificação de zona à prova de explosão, exemplo 2



Fonte: Rolf Huehren.

A tubulação de purga deve estar protegida contra a entrada de água e contaminação. O fluido refrigerante liberado não deve se acumular, de forma que possa levar a uma atmosfera perigosa, explosiva, asfixiante ou tóxica. Isso também deve ser levado em conta na avaliação de risco do operador/empregador. Uma inspeção regular deve ser feita nesses dispositivos de alívio de pressão, de acordo com as normas aplicáveis.

As medições feitas pelo operador para garantir a descarga segura das saídas de purga podem incluir:

- A válvula de segurança e a saída de purga ficam ao ar livre, em uma área que não cause perigo às pessoas; e
- A linha de purga para o fluido refrigerante é estendida para uma área que não ofereça perigo.

Para o dimensionamento da tubulação, é necessário observar as especificações do fabricante da válvula de segurança.

Se os requisitos de Zona 2 não forem atingidos na purga, será necessário especificar a Zona 1.

13.2.3.3 Válvulas de alívio

Quando um dispositivo de alívio de pressão, exceto dispositivos de alívio de compressor, faz descargas de um estágio mais alto para um mais baixo do sistema, uma válvula de alívio de pressão do tipo compensação de contrapressão deve ser usada.

As características de compensação de contrapressão da válvula devem ser tais que a pressão criada durante o alívio não seja maior do que a pressão criada por um dispositivo de alívio de pressão fazendo a liberação para a atmosfera.

13.2.3.4 Sistemas hidráulicos

Um sistema de ventilação, com válvulas de segurança apropriadas, deve ser fornecido para garantir que qualquer fluido refrigerante seja descarregado para o ar livre e não possa entrar no edifício através da parte hidráulica, ou seja, em uma área em que haja pessoas. A ventilação para o interior do edifício (zona ocupada) deve ser evitada no caso da aplicação de fluidos refrigerantes inflamáveis.

13.2.3.5 Pressostatos de limitação de pressão

Dispositivos de segurança para limitar a pressão (pressostatos) são acionados por pressão e projetados para desligar o compressor, para fins de segurança ou funcionamento, se a pressão ficar muito alta. As seguintes distinções são feitas:

1. **Limitador de pressão:** reinicia automaticamente. Um limitador de pressão é o PSH designado para proteção contra pressão alta e o PSL para pressão baixa;
2. **Limitador de pressão homologado:** certificação adicional realizada; usado geralmente por razões de segurança. PSH designado para proteção contra pressão alta, e PSL contra pressão baixa;
3. **Pressostato de corte de pressão homologado:** reinicia manualmente, sem a ajuda de uma ferramenta. PZH designado para proteção contra pressão alta, e PZL contra pressão baixa; e
4. **Pressostato de corte de pressão de segurança homologado:** reinicia manualmente com a ajuda de uma ferramenta. PZH designado para proteção contra pressão alta, e PZL contra pressão baixa.

Figura 120 - Pressostatos KP Fonte: Danfoss.	Limitador de pressão: • Limitador de pressão homologado; • Corte de pressão homologado; • Corte de pressão de segurança homologado. Dependendo do projeto, tipo e construção.
Figura 121 - Pressostatos do tipo cartucho Fonte: Danfoss.	Os limitadores de pressão, como pressostatos do tipo cartucho, bem como inversores de frequência variável (VFD) são comumente usados como dispositivos de regulação de condensação.

Atenção:

Os pressostatos devem ser calibrados e testados usando OFDN antes de serem instalados no sistema de refrigeração.

Os pressostatos do tipo cartucho vêm com faixas operacionais fixas de fábrica (não ajustáveis).

Mais informações sobre a configuração dos pressostatos são fornecidas no Capítulo 16.8.6.

13.2.4 Carga de fluido refrigerante e área/local de instalação

Para uma operação segura, é preciso ter atenção redobrada à relação entre a área/local de instalação e a carga de fluido refrigerante correta.

Os objetivos da proteção incluem:

- Operação segura de um sistema que exija monitoramento (pressão e temperatura);
- Prevenção contra atmosferas explosivas.

Informações sobre instalação em áreas diferentes e a carga de fluido refrigerante inflamável podem ser encontradas na EN 378-1, Apêndice C.

13.2.5 Considerações gerais para instalações elétricas

A instalação elétrica geral do equipamento de refrigeração e de outros, incluindo iluminação, energia, etc., deve estar em conformidade com as regulamentações nacionais e as disposições da série IEC 60364, conforme apropriado.

Suprimento de energia principal: O fornecimento de energia principal para um sistema de refrigeração deve ser eletricamente disposto para que possa ser desligado, independentemente, do suprimento de energia para outros equipamentos elétricos em geral e, em particular, para qualquer sistema de iluminação, unidade de ventilação, alarme e outros equipamentos de segurança.

13.2.6 Equipamento elétrico em casas de máquinas e sistemas de AVAC-R usando fluidos refrigerantes inflamáveis

O equipamento elétrico deve ser selecionado de modo a ser adequado ao uso nas zonas identificadas para casas de máquinas com fluidos refrigerantes A2L, A2, B2L, B2, A3 e B3 e deve ser avaliado em relação à inflamabilidade e classificado de acordo com os requisitos da EN 60079-10-1 (veja o Capítulo 13 para informações sobre a zona de perigo).

Para fluidos refrigerantes 2L, o equipamento elétrico será considerado em conformidade com os requisitos, se o suprimento elétrico for isolado quando a concentração do fluido refrigerante alcançar 25% do limite inferior de inflamável ou menos. O equipamento que permanecer energizado no caso de a concentração de fluido refrigerante exceder o nível de alarme principal, por exemplo, alarmes, detectores de gás, ventilação e iluminação de emergência devem ser adequados para operação em uma área perigosa. Essa provisão aplica-se a todos os equipamentos elétricos e suprimentos de energia na sala, não apenas ao sistema de refrigeração.

13.2.7 Trabalho em áreas de zonas inflamáveis

Preparação:

- Esteja completamente familiarizado com o equipamento e sua finalidade e operação;
- Assegure-se de que todas as ferramentas e equipamentos apropriados e necessários estejam disponíveis;
- Assegure-se de que todo o equipamento de proteção individual necessário esteja disponível e sendo usado corretamente;
- Mantenha, pelo menos, um extintor de incêndio de pó seco ou CO_2 disponível no local;
- Assegure-se de que haja ventilação suficiente no local de trabalho (natural e/ou forçada, por exemplo, com um ventilador); e
- Use apenas equipamento elétrico aterrado.

Fluxo de trabalho:

1. Isole o equipamento do fornecimento de eletricidade sempre que possível. Assegure-se de que a energia do equipamento de refrigeração tenha sido desconectada (de acordo com as "cinco regras de segurança", veja item 14.3);
2. Desative todas as potenciais fontes de ignição dentro da Zona Inflamável Temporária;
3. Ao conectar equipamento de serviço (como bombas de vácuo, recolhedoras, sopradores etc.) a uma fonte de energia, a conexão deve ser feita fora da Zona Inflamável Temporária;
4. Use um detector de gás inflamável para monitorar o ar na Zona Inflamável Temporária. O equipamento de detecção de gás usado deve estar adequadamente vedado ou ser intrinsecamente seguro;

5 Assegure-se de que a ventilação da área seja suficiente para dispersar com segurança qualquer fluido refrigerante liberado ao manusear fluidos inflamáveis. Isso pode ser feito quando houver, pelo menos, cinco trocas de ar por hora nas áreas de trabalho ocupadas. O ideal é que o fluido refrigerante seja removido de dentro de um edifício por meio da ventilação;

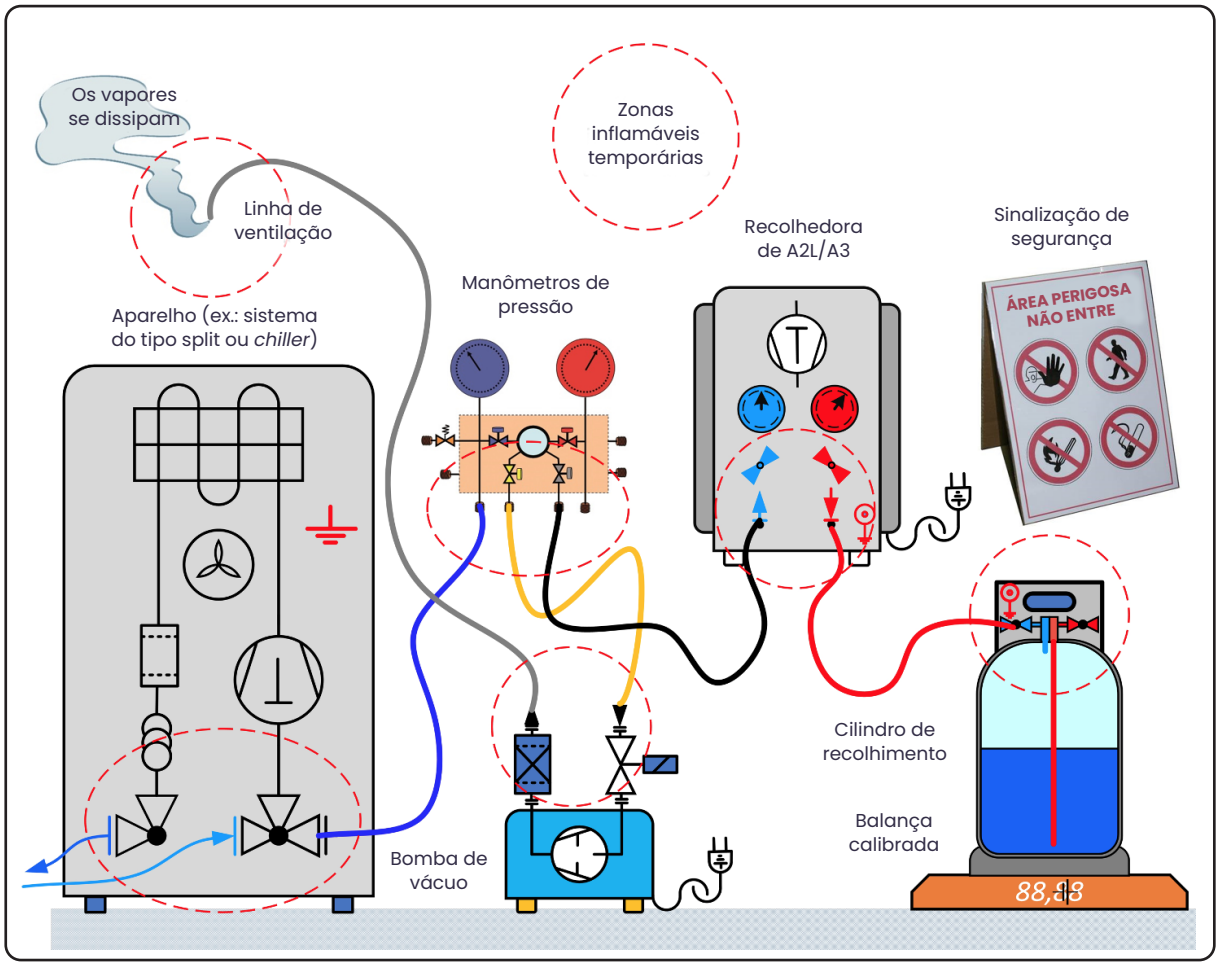
6 Use tiras de aterramento entre os equipamentos de recolhimento e carga e o profissional de serviço para evitar descargas eletrostáticas (ESD);

7 Quando possível, use tecnologias de conexão a frio, em vez de brasagem, ao fazer reparos no sistema em situações em que é provável haver presença de fluido refrigerante inflamável residual;

8 Antes da execução de "trabalhos a quente" ou trabalhos em que sejam geradas faíscas, ou antes de qualquer processo de evacuação final, o circuito de refrigeração (seção) deve ser inertizado e deve-se fazer *flushing* com OFDN; e

9 Não misture fluidos refrigerantes inflamáveis com ar, especificamente durante o processo de recolhimento. Todas as precauções devem ser tomadas para eliminar a mistura de ar com fluidos refrigerantes inflamáveis, incluindo o monitoramento para ver se não há conteúdo de ar no cilindro de recolhimento.

Figura 122 — Organização do local de trabalho com o reconhecimento de “Zonas Inflamáveis Temporárias”



Fonte: Rolf Huehren.

13.3 Medidas de segurança

13.3.1 Avaliação de perigos devido à liberação de substâncias e explosão

Os sistemas de refrigeração, os sistemas de ar condicionado e as bombas de calor são à prova de vazamentos, de acordo com os padrões mais elevados.

Não se espera que haja liberação de fluido refrigerante inflamável durante a operação normal. Manter a vedação dos sistemas de AVAC-R é uma medida essencial para a proteção das pessoas e do ambiente.

O empregador deve preparar uma avaliação de risco (veja também o Anexo 2). Como parte da documentação de avaliação de risco, os perigos existentes devido a misturas explosivas devem ser identificados especificamente (documento de proteção contra explosões).

Os dados e propriedades dos fluidos refrigerantes são classificados nas regulamentações de refrigeração (EN 378, ISO 5149, ISO 817, ABNT NBR ISO 5149), e, em alguns casos, diferenciando-se das regulamentações de saúde e segurança (Portaria CLP e Portaria de Substâncias Perigosas).

13.3.2 Medidas organizacionais

As pré-condições necessárias para a operação segura de ferramentas e equipamentos elétricos em ambientes potencialmente explosivos são criadas em um esforço conjunto pelos fabricantes de equipamentos protegidos contra explosões e pelos construtores e operadores de equipamentos e sistemas de AVAC-R. É importante que o operador de tais plantas garanta que seu pessoal saiba como pode surgir o perigo de explosões e as medidas que são tomadas para evitar isso.

Os funcionários devem ser regularmente treinados quanto ao documento de proteção contra explosões de acordo com a Diretiva Europeia 1992/92/CE (regulamentações de segurança ocupacional) e informados via regulamentações corporativas por escrito que devem ser atualizadas regularmente. Regulamentações nacionais específicas podem ser aplicáveis.

13.3.3 Instrução dos funcionários pelo empregador

O empregador deve garantir que os funcionários estejam treinados adequadamente e tenham competência para suas tarefas.

Os funcionários devem ser instruídos antes do início do primeiro trabalho e regularmente, em intervalos apropriados, mas pelo menos uma vez por ano, sobre o seguinte:

- Os perigos do manuseio de equipamentos de refrigeração;
- Os perigos do manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis;
- As regulamentações de segurança; e
- O comportamento no caso de acidentes ou defeitos e as medidas a serem tomadas em tais casos.

Se necessário, a instrução deve ser repetida (como no caso de mudanças no sistema, acidentes e mudanças na lei.

13.3.4 Documento de proteção contra explosões

Antes de adquirir o equipamento de trabalho e os equipamentos de proteção individual, o empregador deve determinar os perigos que ocorrem e as medidas de proteção necessárias e apropriadas. Em particular, a adequação do equipamento de trabalho ao uso pretendido, os processos de trabalho e a estrutura organizacional devem ser levados em conta.

Dentro da estrutura da avaliação de risco, o empregador também deve determinar se os funcionários podem conduzir atividades envolvendo substâncias perigosas ou se substâncias perigosas podem aparecer ou ser liberadas durante as atividades. O documento de proteção contra explosões é, assim, um documento do sistema de controle interno que oferece uma visão geral do uso e manipulação de fluidos refrigerantes ou substâncias inflamáveis na empresa. O documento também pode se referir a avaliações de risco, regulamentações, normas e outros documentos (assim como a FISPQ) não incluídos no documento de proteção contra explosões em si.

O documento de proteção contra explosões deve ser adaptado às circunstâncias do sistema de AVAC-R em particular. Ele deve ser bem estruturado, fácil de ler e breve, para dar uma boa compreensão da situação.

Se for esse o caso, o empregador deve avaliar todos os perigos para a saúde e segurança dos funcionários, incluindo os seguintes aspectos:

1. Descrição do local de instalação e ambiente ao redor;
2. Descrição do sistema de AVAC-R;
3. Designação das propriedades perigosas das substâncias ou misturas, incluindo seus efeitos e propriedades físico-químicos;
4. Informações do fornecedor do fluido refrigerante quanto à segurança e saúde, em particular da ficha técnica de segurança;
5. Resultados dos cuidados com a saúde ocupacional;
6. Medidas preventivas e proteção contra explosões;
7. Implementação de medidas preventivas contra explosões;
8. Coordenação de medidas preventivas contra explosões; e
9. Eficácia das medidas protetivas tomadas ou a serem tomadas.

O empregador deve determinar se as substâncias, misturas e produtos usados podem levar a perigos de incêndios ou explosões durante as atividades de trabalho, além de levar em conta o equipamento específico usado e o ambiente de trabalho, bem como suas possíveis interações.

O empregador deve documentar a avaliação de risco. Ao fazer isso, o empregador deve identificar especificamente os perigos de misturas explosivas em um documento chamado de “Documento de proteção contra explosões”.

Um exemplo de “Documento de proteção contra explosões” consta no Anexo 3.

13.4 Dispositivos e sistemas de detecção de gás para fluidos refrigerantes A2L, A2 e A3

Como de praxe, é feita a distinção entre dispositivos portáteis pessoais e fixos de detecção de gás normalmente usados para atividades de detecção de vazamentos (móveis ou fixos no local de instalação) monitorando a atmosfera ao redor e detectando se há qualquer vazamento dentro do intervalo calibrado do limite de resposta.

O uso da detecção de gás é de suma importância durante a instalação, o comissionamento, os reparos e a manutenção de aparelhos e sistemas operando com fluidos refrigerantes inflamáveis (e tóxicos ou supressores de oxigênio). Os detectores de gás móveis são normalmente usados por um profissional habilitado para localizar pontos de vazamento de fluido refrigerante ou para ajudar nos avisos no caso de haver gás inflamável na área das atividades e para iniciar as medidas necessárias (por exemplo, ventilar, desenergizar, etc.).

Dependendo do projeto dos fluidos refrigerantes inflamáveis, um sistema fixo de detecção de gás pode ser necessário no local da instalação. Os elementos do sensor e o sistema de aviso de gás devem ser adequados ao fluido refrigerante usado e devem ser testados de acordo com os intervalos de manutenção especificados pelo fabricante. Ao se escolher o sistema de aviso de gás, também devem ser levados em conta os circuitos sequenciais necessários e o comportamento do sistema de medição quando o intervalo de medição é excedido.

Os limites do alarme devem ser determinados de acordo com, por exemplo, as informações 213-057 do DGUV (Seguro Estatutário Contra Acidentes da Alemanha) “Dispositivos de aviso de gás para proteção contra explosões - Uso e operação (folheto T 023 de - Tecnologia Segura -)”. Geralmente, os limites do alarme a serem definidos estão entre 10% e 40% (máximo) do LII. Como regra, são fornecidos dois limites de alarme: um pré-alarme e um alarme principal. A experiência mostra que o pré-alarme não é selecionado acima de 20% do LII.

O sinal do alarme deve ser tanto audível (sirene) quanto visual (luz piscando). Esse aviso deve ser reconhecível dentro e fora da sala de instalação. Dependendo do fluido refrigerante usado, os detectores devem ser colocados em uma posição adequada de acordo com a densidade do fluido refrigerante em relação com ar.

13.4.1 Requisitos para equipamento em atmosferas potencialmente explosivas

A relação entre as zonas e as categorias de equipamento é mostrada na Tabela 43.

Tabela 43 — Relacionamento entre zonas e categorias de equipamento

	Zona		
Categoria de equipamento	0	1	2
1 G	Sim	Sim	Sim
2 G	Não	Sim	Sim
3 G	Não	Não	Sim

Fonte: VDMA 24020-3.

A Tabela 44 apresenta a correlação do tipo de aprovação CE (ATEX) e a categoria do equipamento.

Tabela 44 — Correlação do tipo de aprovação CE (ATEX) e a categoria do equipamento

	Grupo - II	
	Eletricamente	Não eletricamente
Categoria 1	Exame de tipo pelo órgão notificado	
Categoria 2	Exame de tipo pelo órgão notificado	Exame de tipo pelo fabricante e documentação para o órgão notificado
Categoria 3	Exame de tipo pelo fabricante	

Fonte: VDMA 24020-3.

13.4.2 Equipamento usado para detecção de gás

Figura 123 — Exemplo de detector eletrônico de gás Fonte: Inficon — GAS-Mate.	O detector portátil de gás é um detector eletrônico de fluido refrigerante com tecnologia de sensor semicondutor e é projetado para o uso com hidrocarbonetos (A3), fluidos refrigerantes B2L e amônia.
Figura 124 — Exemplo de detector eletrônico portátil de gás Fonte: Inficon D-Tek Stratus.	Detector de vazamento de fluido refrigerante com monitor, unidade portátil. Localiza a área contendo o vazamento usando o visor LCD e localiza o vazamento com um instrumento de detecção. Fluidos refrigerantes compatíveis: ➢ Sensor de fluido refrigerante para: R-22, R-32, R-134a, R-404a, R-407c, R-410a, R-422b, R-448a, R-449a, R-452a, R-452b, R-507 (AZ50), R-1234yf, entre outros; ➢ Sensor CO_2 (R-744); ➢ Sensor de fluido refrigerante inflamável R-290, R-600a, R-441a.
Figura 125 — Vazamento de referência para teste de detector portátil de gás Fonte: HTP UK — LS4.	Vazamento de referência para calibração do detector de gás. A calibração é necessária para verificar se o detector de gás está funcionando adequadamente na faixa de concentração para a qual foi projetado. Isso também é necessário para conformidade com as normas e as regulamentações internacionais. Os vazamentos de referência calibrados contêm até 5 g de emissão de fluido refrigerante. Os vazamentos de referência estão disponíveis como anexos a um cilindro de fluido refrigerante normal para um vazamento de referência fixo de 5 g/ano tendo uma conexão SAE ¼" ou uma lata descartável com orifício de emissão.

13.4.3 Monitor pessoal de gás usado como EPI (exemplo)

Figura 126 — Detector portátil de gás para uso como EPI

Fonte: Crowcom.

O detector portátil de gás deve ser usado como EPI. É um monitor de gás único (deve ser preso no corpo) para ambientes industriais. Com operação simples por um único botão, ele tem um visor fácil de ler a concentração de gás e alarmes audíveis, visuais e vibratórios.
Disponível com sensores de gás inflamável, gás tóxico, oxigênio, CO_2 e CO.

13.4.4 Dispositivos fixos de detecção de gás (exemplo)

Figura 127 — Exemplo de sistema de medição de gás MF420-Ex-2.1 com aprovação ATEX para zonas 1 e 2

Fonte: AFRISO-EURO-INDEX Alemanha.

Dispositivo de detecção de gás de instalação fixa para detecção e monitoramento de gases inflamáveis, explosivos e tóxicos. Também pode ser usado em ambientes empoeirados e sujos. Pode ser usado como um sistema de medição independente ou em conjunto com sistemas de aviso de gás como uma instalação de alarme de gás completa para áreas de risco. Aprovado para operação em atmosferas/áreas à prova de explosão (EX) zona 1 e zona 2 potencialmente explosivas.

13.4.5 Testes de vazamento com gás marcador

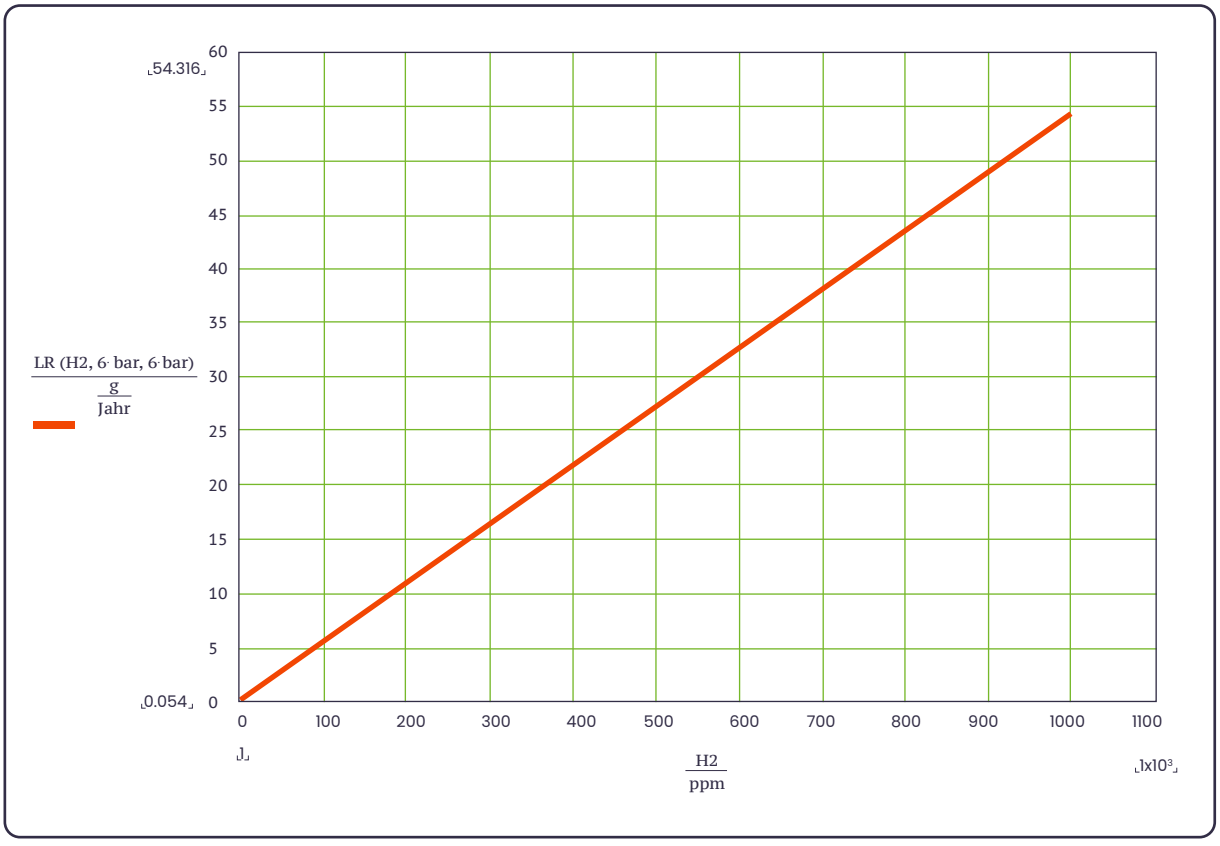
O gás marcador é uma mistura de nitrogênio e hidrogênio na qual as proporções podem variar. A atmosfera de gás marcador não é tóxica, mas é inflamável se o conteúdo de hidrogênio exceder 5,5%. Assim, uma atmosfera de gás marcador formada de 95% de nitrogênio e 5% de hidrogênio é preferível para testes de vazamento.

Normalmente, a mistura de gás é injetada no sistema para ser testada em pressão operacional. O componente de hidrogênio serve como gás de rastreamento durante o teste de vazamento. Com a ajuda de um detector eletrônico de vazamento que responde ao hidrogênio, os vazamentos são localizados com precisão. A vantagem é que o detector de vazamento reage exclusivamente ao hidrogênio e dificilmente é influenciado por outros gases. Outra vantagem é que as moléculas de hidrogênio são partículas muito pequenas que escapam mesmo nos menores vazamentos. Assim, mesmo vazamentos muito pequenos podem ser detectados pelo gás marcador.

Exemplo R-22

Para o cálculo, a pressão operacional foi considerada 6 bar (pressão do vapor do R-22) a uma temperatura operacional de 6 °C. Assim, a taxa de vazamento para R-22 pode ser determinada no teste exibido da concentração de gás conforme ilustrado na Figura 128.

Figura 128 — Determinar a taxa de vazamento do R-22 exemplar usando a medição de concentração do gás marcador



Fonte: Vulkan Lokring.

Na prática, uma combinação excelente é a do teste de pressão antes do comissionamento do sistema com uma detecção fina de vazamento usando-se gás marcador em vez de nitrogênio puro para o teste de pressão/estanqueidade. A pressão alta (pressão de teste máxima), bem como o diâmetro pequeno e a baixa viscosidade dinâmica das moléculas de hidrogênio, tem um efeito favorável no fluxo do vazamento de gás.

Figura 129 — Detector de gás eletrônico para uso com gás marcador (95% N_2 e 5% H_2)

Fonte: Vulkan Lokring.

Para detecção de vazamentos, um gás marcador 95/5, consistindo em 95% de nitrogênio e 5% de hidrogênio, é injetada no sistema de AVAC-R cujo fluido refrigerante foi recolhido.
Essa mistura 95/5 não é inflamável, tóxica ou corrosiva, além de não ser danosa ao meio ambiente.

As moléculas de hidrogênio têm a menor massa atômica de todos os elementos e vazam mesmo no menor dos vazamentos. Consequentemente, vazamentos muito pequenos podem ser detectados com a ajuda do detector de gás hidrogênio. O detector de gás reage quase exclusivamente ao hidrogênio. Assim, dificilmente haverá quaisquer sensibilidades cruzadas.

14

Avaliação de risco

14. Avaliação de risco

A avaliação de risco é um processo que envolve a identificação e a avaliação de itens/ambientes perigosos. A avaliação de risco pode ser conduzida de acordo com critérios de avaliação normativa (por exemplo, valores-limite) e/ou critérios de avaliação subjetivos (por exemplo, probabilidade de ocorrência, gravidade provável de possíveis danos à saúde).

Dentro do contexto de uma avaliação de risco, o empregador/operador deve determinar quais perigos aparecem para funcionários ou terceiros durante a operação de um sistema que exige supervisão especial. Além disso, é necessário que o empregador/operador garanta que os funcionários sejam instruídos.

A Tabela 45 mostra perigos comuns e os relaciona às atividades ocupacionais de AVAC-R nas quais é mais provável que eles apareçam. Ela também identifica possíveis razões para os perigos, como falta de treinamento. Identificar a causa do perigo é importante para implementar medidas preventivas.

Tabela 45 — Perigos comuns relativos aos perigos ocupacionais

O que pode trazer um perigo, e como profissionais habilitados em AVAC-R são afetados?		
Perigos ou exposições	**Atividades ocupacionais com perigos associados**	**Possível razão / causa do perigo**
Perigos mecânicos	Trabalhos temporários em altura	Falta de treinamento, EPI, andaimes certificados ou sinalização. Superfícies instáveis para pisar. Uso de escadas inadequadas.
	Manuseio de cilindros pressurizados	Falta de treinamento, FISPQ, carrinhos adequados para o cilindro de gás, tampa protetora da válvula do cilindro, cinto de fixação, EPI ou sinalização.
	Brasagem	Falta de treinamento, FISPQ, tapa chamas e válvulas de verificação no equipamento de brasagem de oxiacetileno ou propano, EPI. Vazamentos em reguladores de pressão e mangueiras.

(Continuação)

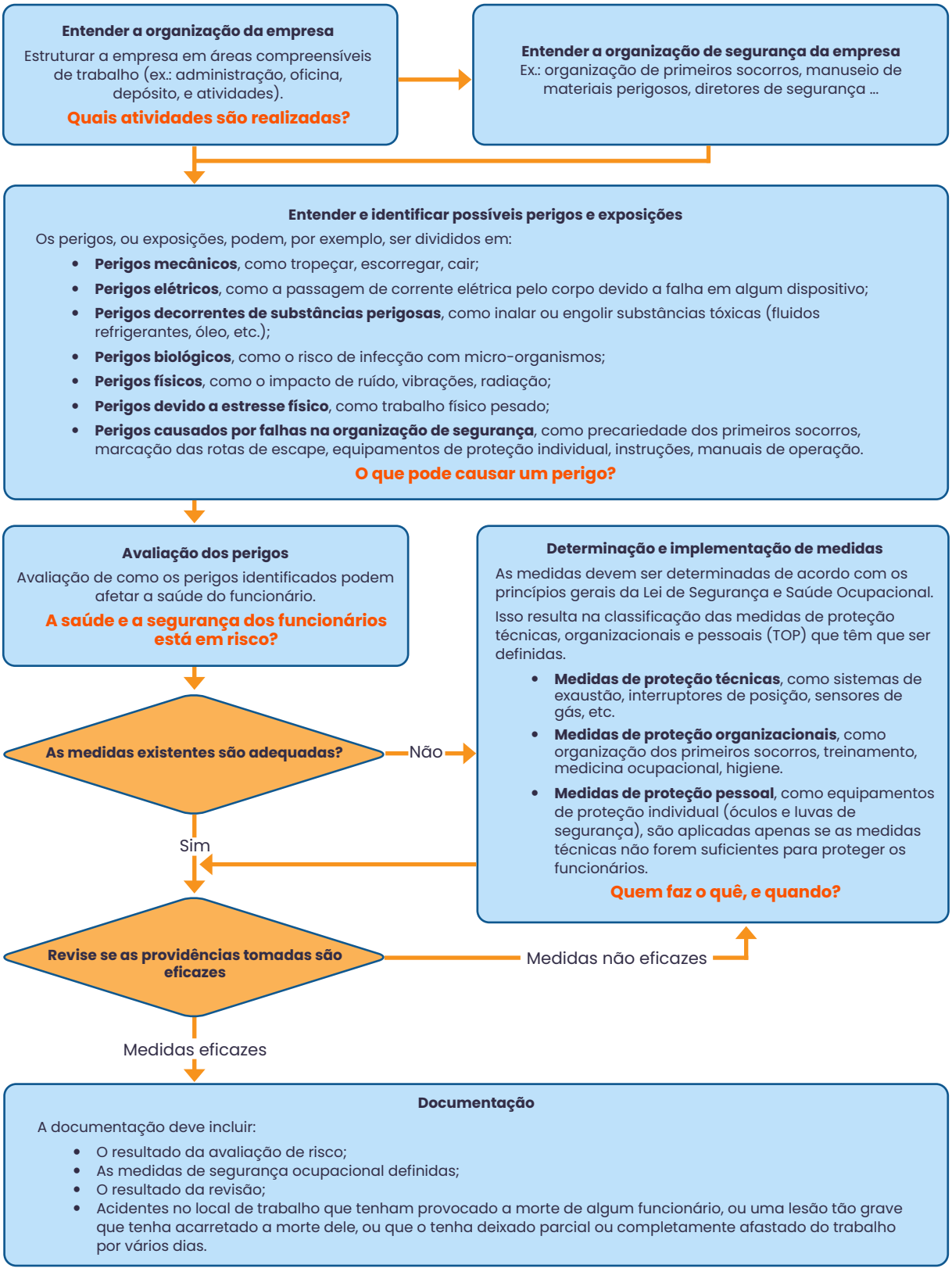
O que pode trazer um perigo, e como profissionais habilitados em AVAC-R são afetados?		
Perigos ou exposições	**Atividades ocupacionais com perigos associados**	**Possível razão / causa do perigo**
Substâncias perigosas	Manuseio de fluidos refrigerantes	Falta de treinamento, FISPQ, EPI, sinalização.
	Manuseio de óleos	
	Manuseio de agentes químicos de limpeza	
	Manuseio de tinta e solventes	
	Outros	
Perigos biológicos	Trabalhar em locais biologicamente contaminados	Falta de treinamento, FISPQ, EPI.
Perigos físicos	Trabalhar em ambientes poluídos	Falta de treinamento, FISPQ, EPI.
	Manuseio de ferramentas elétricas e manuais	
Esforço físico	Manuseio de componentes e elementos pesados	Falta de treinamento, auxílios mecânicos, EPI.
Organização de segurança	Trabalhos complementares (vigilância, limpeza, entregas)	Falta de treinamento, equipamento ergonômico de escritório, segurança e saúde ocupacional, pausas a intervalos regulares.
	Trabalho administrativo	

Fonte: Rolf Huehren.

A base para uma avaliação de risco é, entre outras coisas, a ficha de segurança do produto químico (FISPQ) fornecida pelo fabricante da substância (por exemplo, fluido refrigerante) e sua classificação de acordo com a Regulamentação Europeia 1272/2008 EC (classificação, etiquetagem e embalagem de substâncias e misturas), que deve estar disponível em todos os sistemas de refrigeração. Uma lista de perigos significativos consta na norma EN 378-2, Anexo D.

A estrutura fornecida na Figura 130 explica a avaliação de risco e as medidas de acompanhamento a serem tomadas em qualquer contexto para avaliação de riscos e perigos.

Figura 130 — Matriz de avaliação de risco e medidas de acompanhamento



Fonte: Rolf Huehren.

14.1 Avaliação de risco de último minuto (LMRA)

Uma Avaliação de Risco de Último Minuto (LMRA) é uma avaliação de risco conduzida no local imediatamente antes de o trabalho começar. Os termos Avaliação de Risco de Último Minuto e a abreviação LMRA são largamente usados como sinônimos. O objetivo é identificar todos os (potenciais) perigos para segurança, saúde e ambiente no local de trabalho e atividades relacionadas ao trabalho específico para evitar acidentes. A avaliação deve ser feita antes de o trabalho começar diretamente no local." É recomendado conduzir sempre uma avaliação dessas, independentemente do tamanho da unidade a ser instalada, por exemplo, ar condicionado do tipo split ou câmara frigorífica.

Os seguintes perigos podem estar sujeitos à análise:

1. Perigos mecânicos;
2. Perigos elétricos;
3. Substâncias perigosas;
4. Materiais biológicos de trabalho;
5. Perigos térmicos;
6. Perigos devidos a impactos físicos; e
7. Perigos devidos às condições no ambiente de trabalho.

A LMRA deve ser realizada pelo próprio empregador ou por pessoas confiáveis e competentes que sejam envolvidas separadamente (por exemplo, para atividades de trabalho de complexidade ampla). O envolvimento do pessoal deve sempre ser por escrito e descrever exatamente que tarefas e competências são atribuídas.

Um modelo de LMRA consta no Anexo 4.

14.2 Permissões de trabalho (PTW)

Tanto a permissão de trabalho geral (veja também o Anexo 5) quanto a avaliação de risco de trabalho são procedimentos críticos para garantir que o trabalho seja feito com segurança. Ambos os métodos envolvem identificar perigos, determinar o risco e especificar as precauções necessárias. Permissões de trabalho são requisitos formais (e jurídicos) específicos do perigo e do trabalho real para definir a pessoa competente que vai realizar o trabalho como uma solicitação de desempenho claramente especificada. Ambos, empregado e empregador, devem assinar o formulário de permissão de trabalho. O documento tem que ser mantido nos arquivos de monitoramento.

Tipos de permissões de trabalho seguro:

- Permissão de trabalho a quente (veja Anexo 6);
- Permissão de trabalho a frio;
- Permissão de entrada em espaço confinado;
- Permissão de trabalho em altura;
- Permissão de isolamento elétrico seguro, trabalho com presença de eletricidade; e
- Permissões especiais.

Os processos de permissão de trabalho e avaliação de risco são complementares, e ambos são obrigatórios.

A PTW é um documento importante que aborda todo o ciclo de vida de um trabalho, começando com o planejamento do trabalho, a solicitação da permissão inicial, a listagem de perigos esperados e a definição das precauções necessárias a serem tomadas. A PTW permanece válida durante todo o trabalho até que o equipamento seja formalmente entregue pelo empregado e colocado em operação.

A PTW verifica se todas as etapas nos procedimentos de definição foram seguidas corretamente.

As pessoas competentes responsáveis podem assinar o documento em diferentes estágios do ciclo de vida da permissão.

Um sistema de PTW bem projetado ajuda também a guiar o usuário para seguir os procedimentos necessários para trabalhar em segurança. Ele também ajuda a aplicar as regras de segurança e atribuir uma responsabilidade clara entre instalação, operação e manutenção. Também deixa claros quais os isolamentos elétricos necessários e identifica todas as precauções necessárias para determinadas atividades de alto risco, como realizar trabalhos a quente em circuitos de fluido refrigerante, entrar em espaços confinados ou trabalhar em altura. A PTW também identifica e ajuda a controlar as interações do grupo de trabalho em que várias equipes são necessárias para trabalhar em áreas adjacentes ou em sistemas comuns.

14.3 As cinco regras de segurança para trabalhar com sistemas elétricos (veja também a EN 50110-1)

Para trabalho seguro em equipamento elétrico, mantenha a conformidade com as seguintes regras de segurança na ordem determinada! As regras garantem que as peças ativas de dispositivos ou sistemas sejam desligadas antes de você começar a trabalhar e fiquem desse jeito enquanto você trabalha.

1. Desligue a energia;
2. Proteja-se contra a realimentação do circuito elétrico;
3. Certifique-se da ausência de tensão em todos os cabos e dispositivos;
4. Faça aterramento e curto-circuito das fases; e
5. Cubra ou proteja as partes que estejam próximas e sob tensão.

Observação: as peças ativas são condutores ou peças condutoras a serem usadas para condução de tensão durante a operação normal sem complicações, incluindo o condutor neutro.

Dependendo do sistema e da tensão, podem ser necessárias apenas as etapas de 1 a 3. Esse, por exemplo, é o caso dos aparelhos de ar condicionado do tipo split.

14.4 Isolamento seguro de sistemas elétricos — riscos e precauções de segurança (veja também a EN 50110-1)

O conteúdo eletrotécnico é uma parte importante do aprendizado e do treinamento de profissionais de AVAC-R capacitados e deve ser parte dos exames práticos e teóricos de competência.

Atenção:

Trabalhar em circuitos elétricos é uma das principais causas de acidentes de profissionais de AVAC-R.

Um circuito elétrico defeituoso também é uma das maiores razões de acidentes em uma unidade de AVAC-R com funcionamento normal.

Sempre aplique "As cinco regras de segurança" e siga o "Fluxograma de isolamento seguro" (Anexo 7).

Os sistemas e equipamentos elétricos podem ser instalados, modificados, conservados e reparados por um profissional qualificado ou sob a liderança e supervisão de um eletricista qualificado de acordo com as regras e regulamentações de engenharia elétrica aplicáveis.

Normas internacionais lidam com requisitos gerais para instalações elétricas, especificamente com a diferenciação e especificação de requisitos para:

- Eletricista capacitado;
- Profissional com treinamento em eletricidade; e
- Leigo em eletrotécnica.

Empregados e supervisores no setor de AVAC-R são responsáveis por determinar se uma tarefa pode ser feita por um técnico de AVAC-R ou se é necessário consultar um eletricista qualificado.

15
Instalação

15. Instalação

15.1 Projeto de sistema em condições seladas

A contenção do fluido refrigerante é uma prioridade para todos que projetam, fabricam, operam ou realizam a manutenção de sistemas de refrigeração ou ar condicionado. O setor de refrigeração e ar condicionado (RAC) e, claro, os usuários finais estão cada vez mais conscientes do impacto ambiental de tais sistemas:

1. O impacto direto no ambiente decorrente do vazamento de fluidos refrigerantes na atmosfera. Isso pode levar à destruição da Camada de Ozônio e ao aquecimento global por meio do efeito estufa; e
2. O impacto indireto devido ao consumo de energia dos sistemas de refrigeração e ar condicionado levando a emissões de CO_2 que causam o aquecimento global.

Se o fluido refrigerante estiver contido em um sistema, seu impacto ambiental é negligenciável e calculável por suas propriedades termodinâmicas. Se o fluido refrigerante vazar para a atmosfera, escapando pelos pontos fracos do circuito de refrigeração ou durante manutenção e reparos, ele terá uma contribuição significativa para o aquecimento global e a destruição da Camada de Ozônio. Isso leva à necessidade de várias melhorias para minimizar os riscos ambientais e os riscos associados ao uso (operação) e manuseio (reparos e manutenção) de instalações e dispositivos de RAC:

1. A disposição de "sistemas em condições seladas" como uma demanda holística de projeto e instalação, nos quais as conexões mecânicas devem ser evitadas e as conexões de brasagem ou solda devem ser preferidas, por exemplo;
2. Seleção de fluidos refrigerantes com potencial zero de destruição da Camada de Ozônio e potencial baixo ou zero de aquecimento global;

3 A escolha dos componentes do circuito de refrigeração deve ser feita de forma que o seu projeto e integração com o sistema de refrigeração reduza o potencial de vazamentos; e

4 O projeto dos sistemas de RAC deve ser de tal forma que a carga de fluido refrigerante seja mantida em um nível mínimo. Isso é geralmente conseguido por meio de tubulação de transferência de fluido refrigerante de tamanho exato e com menor comprimento possível. O trocador de calor e o tanque de líquido devem ser otimizados de acordo com os requisitos dos sistemas, além do uso de tecnologias de ponta para a refrigeração. As distâncias entre a casa de máquinas (por exemplo, a unidade condensadora) e o local de resfriamento (carga frigorífica) devem ser reduzidas ao máximo. Um sistema de refrigeração com transferência indireta de calor também pode reduzir a quantidade de fluido refrigerante necessária. Esse tipo de sistema também é conhecido como "sistema de loop secundário".

Na sequência, o "Projeto do sistema em condições seladas" descreve a abordagem de vedação hermética geral de qualquer sistema de refrigeração.

Um sistema de refrigeração deve estar em condições seladas para evitar a perda de fluido refrigerante. Como todos os sistemas de refrigeração perdem uma quantidade de fluido refrigerante, por menor que seja, é necessário definir o termo "selado".

Um sistema hermeticamente selado, como definido na norma EN 378-1 (3.1.7), ISO 5149-1(3.1.11) / ABNT NBR ISO 5149-1 (3.1.11), ISO 14903 (3.3) e no regulamento europeu de gases F 517/2014/CE (2-11), é um sistema de refrigeração em que todas as peças contendo fluido refrigerante estão conectadas de forma estanque por soldagem, brasagem ou conexão permanente similar. O sistema pode incluir válvulas com tampas e portas de serviço com tampas, que permitam o reparo ou descarte adequados, e que tenham uma taxa de vazamento testada de menos 3 gramas por ano; sob uma pressão de, no mínimo, um quarto da pressão máxima permitida.

Os materiais de construção, soldagem e brasagem devem ser adequados para suportar os estresses mecânico, térmico e químico previstos. Eles devem ser compatíveis com os fluidos refrigerantes e com as misturas desses fluidos com óleo (com possíveis impurezas e contaminantes) ou do fluido de transferência de calor.

De acordo com a EN 378-1, os sistemas de refrigeração dividem-se em unidades de refrigeração e sistemas de refrigeração. As unidades de refrigeração são sistemas de refrigeração produzidos em fábrica. Os sistemas de refrigeração são sistemas que são montados no local de instalação. Há diferentes regulamentações para diferentes tipos de sistemas de refrigeração.

Para unidades de refrigeração, há uma subdivisão em "sistemas permanentemente fechados" e "sistemas fechados":

- **Sistema permanentemente fechado:** em um sistema "permanentemente fechado", todas as partes do sistema são firmemente conectadas por soldas, juntas brasadas e outras conexões não removíveis. As válvulas de serviço não devem exceder uma taxa de vazamento de 3 g/ano e podem ser abertas somente com ferramentas.

  Não são esperadas liberações de substâncias inflamáveis de componentes do sistema durante a operação normal.

  Não são esperadas liberações operacionais.

  Exemplos:

  Componentes de sistema selados tecnicamente e permanentemente (TRGS 722, Capítulo 2.4.3.2); compressores herméticos e semi-herméticos (sem vedações de eixo); compressores abertos com vedações de duto especiais (por exemplo, ação dupla); válvulas com a vedação de alimentação de passagem do fuso por meio do fole e da caixa de vedação de segurança; componentes de sistema soldados; componentes de sistema selados tecnicamente e permanentemente; conexões destacáveis que raramente são afrouxadas durante a operação, por exemplo, flanges com macho e fêmea, flanges com projeção e recesso.

- **Sistema fechado:** em um “sistema fechado”, a taxa de vazamento individual não pode exceder 5 g/ano. Com uma quantidade de carga inferior a 3 kg, a perda máxima de todo o sistema deve ser inferior a 2%/ano. Com uma quantidade de carga acima de 3 kg, a perda máxima pode ser inferior a 1%/ano.

  A expectativa é que haja liberações raras de fluido refrigerante das partes do sistema.

  Liberações operacionais → medições necessárias (por exemplo, ventilação e classificação de zonas à prova de explosão).

  Exemplos:

  Compressores abertos de ação simples com vedação de duto apenas; válvulas com caixa de vedação de fuso; flange com superfície de vedação comum e nenhum requisito de projeto especial para a vedação; conexões destacáveis que não são destacadas durante a operação.

  Componentes de sistema tecnicamente estanques também podem ser considerados “permanente e tecnicamente estanques” se, por meio de manutenção e monitoramento, sua estanqueidade é constantemente garantida gás, conforme Regras técnicas para substâncias perigosas TRGS22, Capítulo 2.4.3.2.

Para sistemas de refrigeração montados no local da instalação, há outros valores-limite para as taxas de vazamento. Na Alemanha, eles são regulamentados pela Portaria "*Chemikalien-Klimaschutzverordnung*". Os valores-limite, de acordo com o §3, são os seguintes:

Tamanho da carga	Perda máxima de fluido refrigerante por ano
< 10 kg	< 3 %
10 — 100 kg	< 2 %
> 100 kg	< 1 %

Observação: No geral, e independentemente do tamanho do sistema, não deve ser excedida uma taxa de vazamento de 5 g/ano para a conexão simples.

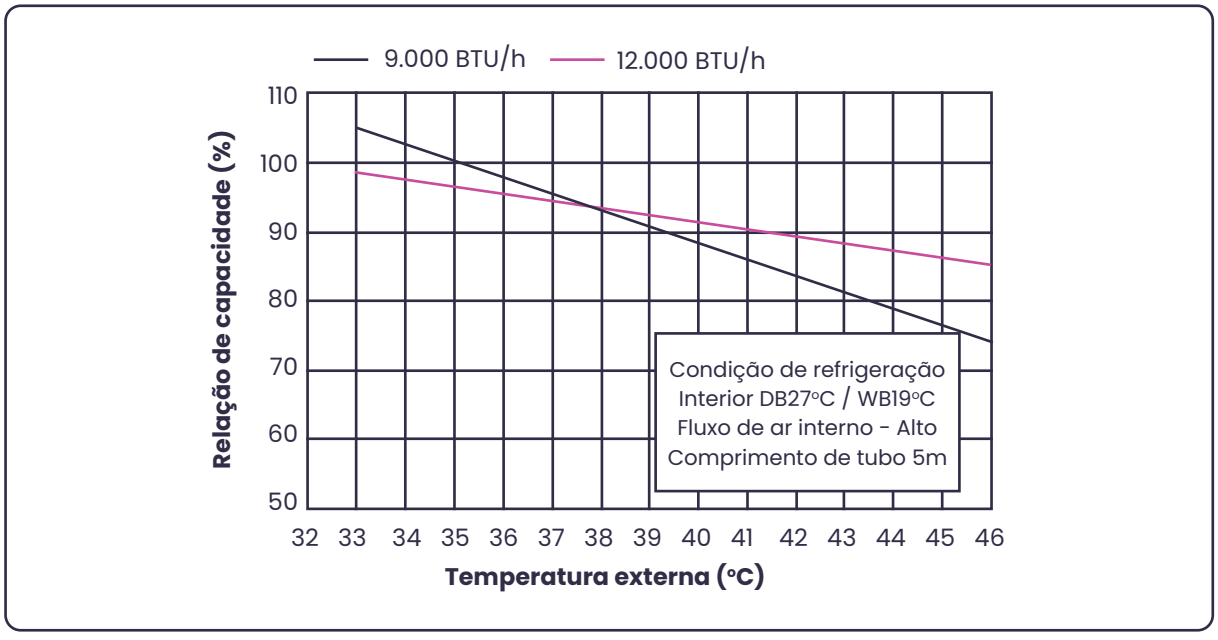
15.2 Montagem dos componentes (exemplo com aparelho de ar condicionado do tipo split)

15.2.1 Temperatura ambiente

Uma temperatura do ambiente externo alta significa que a unidade interna precisa remover mais energia térmica da sala e que será mais difícil, para a unidade externa, soltar essa energia na atmosfera.

O ideal é que a unidade externa seja instalada de forma a ficar fora da luz solar direta. Isso ajuda a rejeitar a energia térmica. A Figura 131 mostra um exemplo da relação entre a temperatura externa e a capacidade de refrigeração.

Figura 131 — Exemplo da relação entre a temperatura externa e a capacidade de refrigeração



Fonte: GREE.

15.2.2 Considerações para a instalação da unidade interna — unidade evaporadora

Siga sempre as especificações e instruções no manual de instalação fornecido pelo fabricante.

O evaporador precisa de um bom fluxo de ar, para que possa absorver o máximo de energia térmica possível da sala a ser refrigerada. A unidade interna (IDU) com proteção regular do trocador de calor não deve ser instalada em áreas com maresia ou demais contaminações de ar agressivas. Verifique se é necessário usar proteção adicional.

Para garantir a melhor funcionalidade, a unidade interna deve ser:

- Instalada de forma que o fluxo de ar não fique restrito (oferece boa circulação de ar);
- Posicionada longe de uma fonte de calor ou vapor;
- Posicionada distante (cerca de 1 m) de micro-ondas, TV, rádio ou demais dispositivos eletrônicos;
- Instalada longe de objetos combustíveis (por exemplo, roupas, cortinas, materiais de embalagem);
- No melhor lugar para conexão fácil com a unidade externa (ODU);
- Em um lugar para conexão fácil do dreno de condensado;
- Instalada com entrada e saída de ar distantes o suficiente de possíveis bloqueios;
- Montada em um lugar sólido o suficiente para suportar o peso da IDU e não causar nenhuma vibração; e
- Montada em um lugar em que o ambiente não seja corrosivo.

15.2.3 Considerações para a instalação da unidade externa — unidade condensadora

- Siga sempre as especificações e instruções no manual de instalação fornecido pelo fabricante;
- O compressor e o condensador precisam de um bom fluxo de ar sobre eles para mantê-los bem resfriados. Desta forma, eles possuem uma boa capacidade de transferência de calor com o ambiente;
- Assegure-se de que a base, o teto ou a parede em que será feita a montagem sejam todos sólidos o suficiente para suportarem o peso do sistema a ser montado;
- A unidade externa deve ser fixada em um local plano e estável. Assim, é necessário prestar atenção para que, no local da instalação, não haja possibilidade de neve, folha ou sujeira acumulando-se;
- O ruído da operação e o fluxo de ar não devem incomodar os vizinhos;
- A unidade também deve ser colocada longe de quaisquer materiais inflamáveis;
- Assegure-se de que sejam adotadas medidas apropriadas contra emissões de ruído, especialmente quando o sistema for instalado perto de instalações sensíveis (como hospitais e hotéis);
- Isole todas as conexões de tubo profissionalmente para evitar formação de condensação de água e danos por água às estruturas das salas ou do edifício em si;
- Cuide de outros requisitos para proteger o sistema contra danos causados por terremotos, furacões ou ventos fortes. A unidade externa não deve ser exposta à chuva ou luz solar direta;
- De forma geral, o ar emitido pela unidade externa não deve ser contrário à direção do vento (especificamente para instalações no litoral);

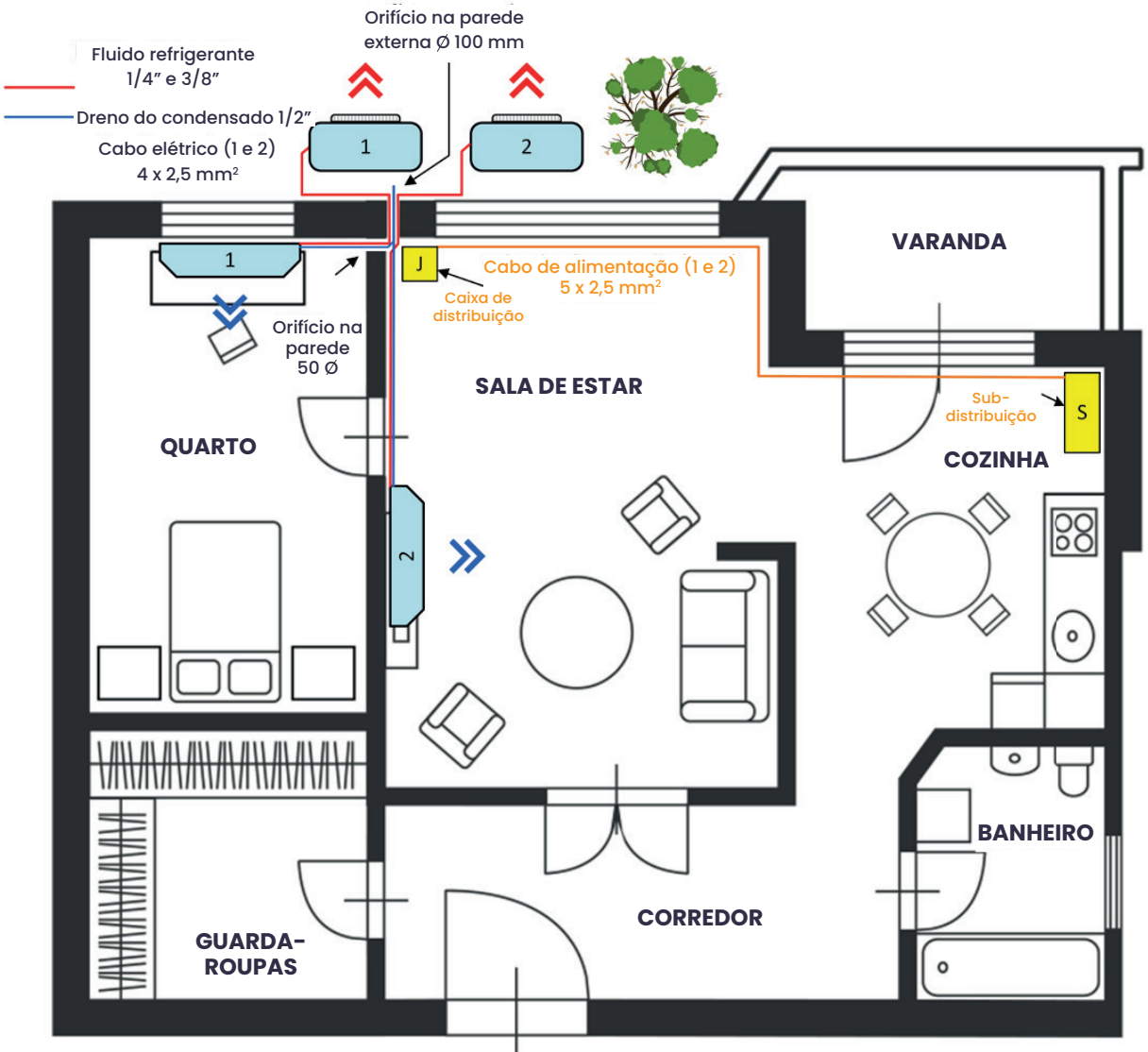
- Nunca coloque a direção do fluxo de ar da unidade externa em série, pois isso levará à interferência entre si;
- Se houver proteção contra sol e chuva sobre a unidade externa (toldo), isso melhorará o desempenho e a vida útil da unidade; e
- Evite colocar a unidade externa onde ela ficaria exposta à maresia (ou demais contaminações de ar agressivas).

15.2.4 Esboço do local de instalação

Quando definido um local, considerando os requisitos de instalação, recomenda-se fazer um esboço do local de instalação da unidade interna.

O esboço deve considerar as posições das unidades interna e externa na íntegra com as dimensões (veja um exemplo na Figura 132).

Figura 132 — Exemplo de esboço de local de instalação

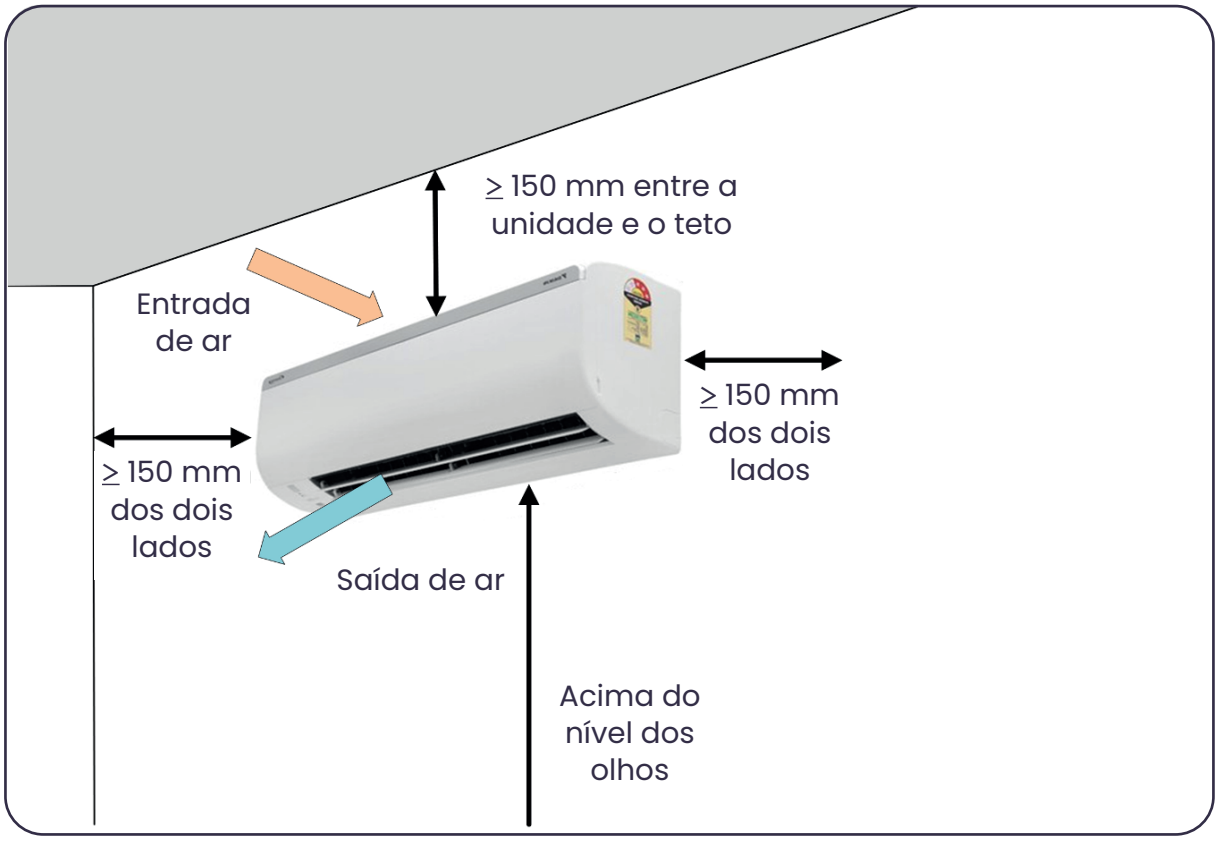


Fonte: HEAT GmbH.

Considerações gerais:

- Deve haver espaço adequado, mais de 150 mm, ao redor da unidade interna (veja a Figura 133);
- A distância entre o teto e a unidade interna deve ser superior a 50 mm, no caso de projeto com sucção ou grade dianteira, e mais de 150 mm, no caso de projeto com sucção superior ou painel frontal plano (veja a Figura 133);
- Para o dreno, o tubo deve se inclinar para o lado de fora da parede;
- A tubulação deve ser descrita nas instruções de instalação do fabricante (comprimento máximo da tubulação, dimensões do tubo, diferença máxima na altitude entre as unidades interna e externa);
- A tubulação deve ter o mínimo de curvas e cotovelos;
- Os materiais da tubulação devem ter a qualidade adequada com uso prescrito na refrigeração;
- Com a instalação final, os tubos de transferência de fluido refrigerante, os tubos de drenagem de condensado e o cabo de conexão elétrica (unidade interna / unidade externa) devem ser combinados em um pacote e embrulhados completamente com fita. Isso deve ser feito para proteção contra radiação UV solar, ambientes agressivos e danos mecânicos; e
- É necessário fazer um orifício na parede para o tubo de dreno, tubos de fluido refrigerante e cabo elétrico, com base em todos esses aspectos mencionados. O tamanho e a posição do orifício devem ser anotados no esboço.

Figura 133 — Exemplo de colocação correta da unidade interna

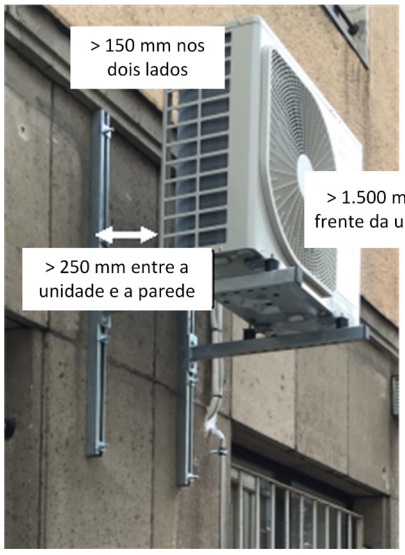


Fonte: HEAT GmbH.

Detalhes de como e onde a unidade externa será colocada devem fazer parte do esboço — prestando atenção aos pontos mencionados anteriormente.

- Para garantir a qualidade da instalação da unidade externa, é necessária uma fundação robusta e distante do calor direto;
- O espaço ao redor da unidade externa deve ser superior a 150 mm, nas laterais; a 250 mm, na traseira; e a 1.500 mm, na frente da unidade; e
- Posicione a unidade externa de modo que a tubulação tenha o mínimo de curvas e cotovelos.

Figura 134 — Exemplo de instalação adequada da unidade externa na parede



Fonte: HEAT GmbH.

Figura 135 — Exemplo de instalação inadequada da unidade externa

Fonte: HEAT GmbH.

15.2.5 Rotinas de instalação — exemplo com aparelho de ar condicionado do tipo split

Verificação de suprimentos de aparelhos de ar condicionado do tipo split

Antes de começar a trabalhar, desembrulhe cuidadosamente a unidade de ar condicionado e verifique se todas as peças estão presentes e íntegras.

Para uma unidade de aparelho de ar condicionado do tipo split, devem constar os seguintes itens:

- Suporte para unidade interna (geralmente embalado na traseira dessa unidade);
- Unidade interna completa com tubos isolados e cabo elétrico (oculto atrás da unidade), mas com a tampa frontal removida;
- Unidade externa (vem com fluido refrigerante pré-carregado); e
- Uma unidade de controle remoto e a documentação.

Unidade interna

Para instalar a unidade interna, verifique estes itens:

- Uma parede robusta para suportar o peso da unidade;
- Proximidade à fonte de energia;
- Proteção contra radiação/luz solar direta e facilidade de manutenção para a unidade;
- Ausência de obstruções à circulação de ar: ar de suprimento e retorno;
- Espaço adequado à esquerda e à direita da unidade; deve ser superior a 150 mm;
- Uma distância de, pelo menos, 50/150 mm do teto, no caso de painel plano/com grade;
- Acesso prático à drenagem do condensado;
- Prevenção de ruído/vibração;
- Distância de materiais inflamáveis;
- O mínimo de curvas e o comprimento mais curto de toda a tubulação; e
- Toda a tubulação (fluido refrigerante e dreno de condensado) deve ter isolamento.

Ao instalar um sistema do tipo split, assegure-se de verificar a diferença de altura máxima permitida para a unidade interna acima ou abaixo da unidade externa e de verificar o comprimento máximo do trecho de tubulação que é permitido entre a unidade interna e a externa. Essas informações constam na documentação do fabricante.

Unidade externa

Para instalar a unidade externa, verifique:

- Se a área de instalação está protegida contra poluição ao redor (poeira, folhas, polén, etc.);
- Se várias ODUs forem instaladas, não se deve instalá-las em série (veja a Figura 135). A exaustão de uma ODU não deve fluir por meio da unidade adjacente;
- Selecione um lugar livre de obstáculos perto da entrada e da saída de ar;
- Deve haver espaço suficiente no ODU para permitir atividades de manutenção regulares;
- Fundação sólida para suportar o peso e a vibração da unidade;
- Espaço livre ao redor da unidade — na traseira e nas laterais, acima de 250/150 mm;
- Espaço superior a 1.500 mm na frente da unidade;
- Espaço adequado para ventilação ao redor da unidade;
- Instalação simples — para tubulação, fiação, drenagem e manutenção/reparos;
- Prevenção de ventos fortes da direção oposta;
- Nenhum armazenamento de gases inflamáveis perto da unidade;
- Ruído/vibração de funcionamento e exaustão que não perturbem os vizinhos;
- Local não exposto à maresia; e
- Toldo/marquise sobre a unidade.

Para instalar a unidade externa:

AVISO:

A unidade externa estará pressurizada com fluido refrigerante. Tome cuidado ao manusear a unidade externa. NÃO abra as válvulas de serviço da unidade externa a menos que o sistema esteja adequadamente instalado.

- Assegure uma base rígida para a instalação da unidade externa ou instale suportes de parede rígidos em uma parede robusta;
- No caso de o lugar ser em uma área com muita brisa ou grande altura/altitude, instale a unidade externa longitudinalmente à parede usando uma proteção para a ventilação;
- Se a drenagem for ruim ou se houver probabilidade de água se acumular perto da unidade externa, coloque a unidade externa em um bloco de concreto ou plataforma elevada, se possível; e
- Se a unidade externa vibrar muito, ajuste o ângulo das pernas de instalação, e, no caso de unidade parecer que vai se inclinar ou cair, será necessário prendê-la à base com parafusos de ancoragem de, no mínimo, 8 mm de diâmetro (dependendo da carga de peso do sistema).

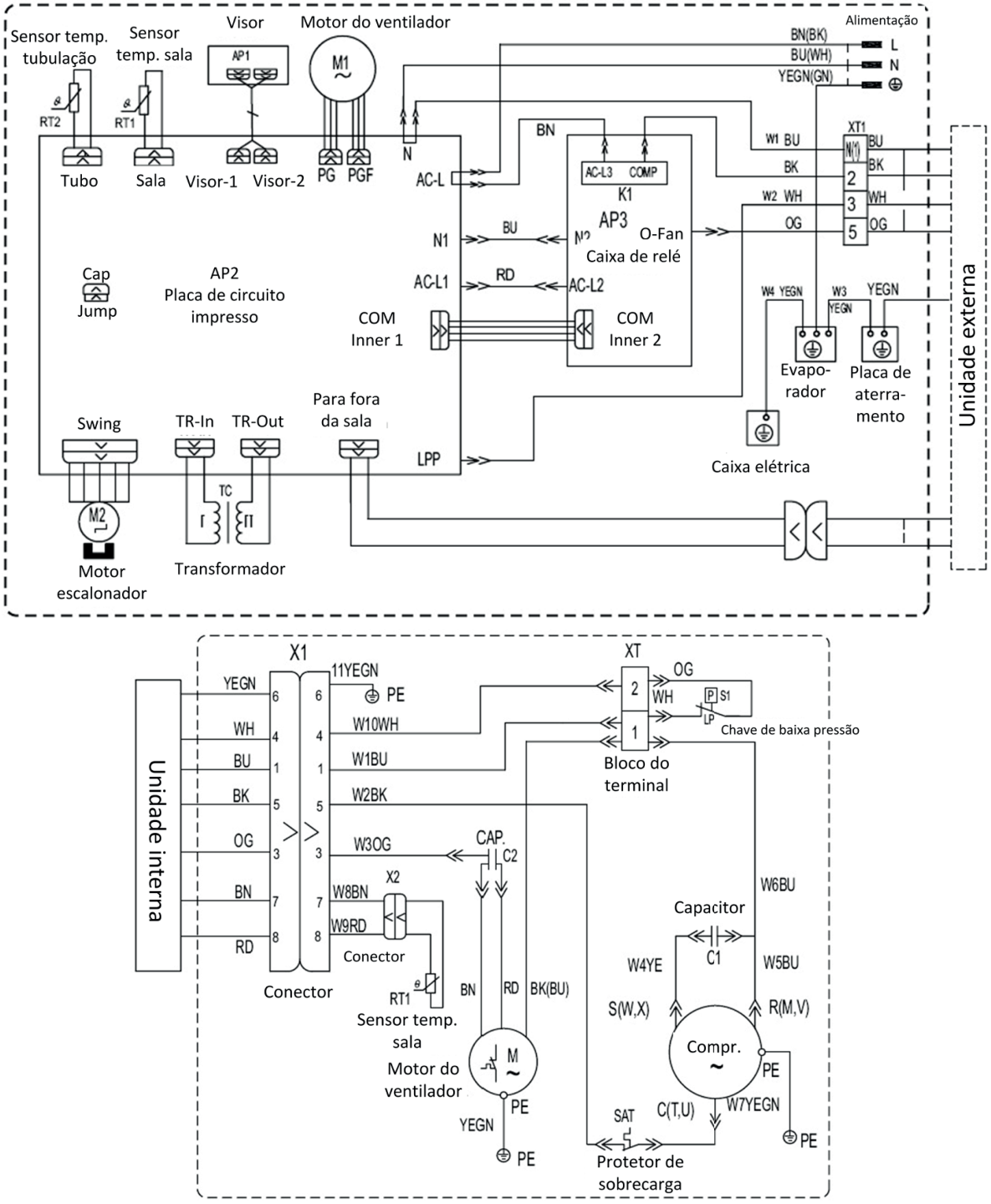
Conexões elétricas

A Figura 136 apresenta um exemplo do tipo de conexões elétricas necessárias ao se instalar um sistema de ar condicionado do tipo split. As conexões elétricas entre a unidade interna e a externa são normalmente feitas com um cabo de quatro núcleos conectado como na Figura 137.

Um interruptor de polo duplo pode ser inserido nos fios ativo e neutro, o que permite isolar a energia da unidade interna. Os fios marrom e azul fornecem energia para a unidade interna, o fio preto é usado como um cabo de comunicação (para que a unidade interna e a externa saibam o que cada uma está fazendo) e o fio (geralmente) verde e amarelo fornece uma conexão de terra.

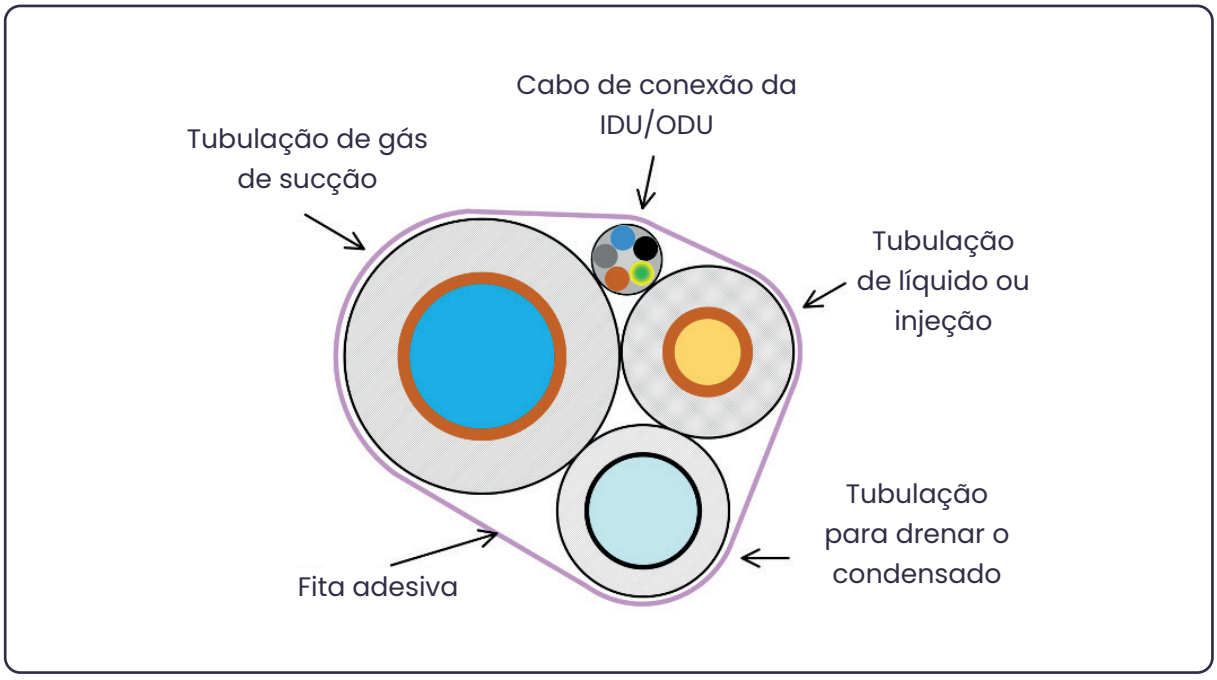
A energia elétrica é fornecida à unidade externa por meio de um cabo de três núcleos, com o fio marrom sendo a fase (L); o fio azul é o neutro (N); e o fio terra (E) geralmente é verde e amarelo.

Figura 136 — Exemplo de conexões elétricas entre as unidades interna e externa



Fonte: GREE.

Figura 137 — Posicionamento ideal do cabo elétrico e dos tubos pelo buraco na parede, todos os tubos estão isolados



Fonte: HEAT GmbH.

Pré-instalação do suprimento de energia elétrica

- Direcione o cabo elétrico da unidade interna para a externa. O ideal é esconder o cabo atrás da tubulação de cobre e do isolamento para garantir a limpeza e a proteção contra o tempo;
- Prenda o cabo elétrico no tubo de cobre e no isolamento;
- Conecte o cabo elétrico à unidade externa (veja a Figura 136);
- Prenda todos os cabos firmemente com o anel de alívio de pressão!
- Assegure-se de seguir os códigos de cores dos fios e de usar apenas os fios sugeridos;
- Consulte o diagrama de fiação padrão colado dentro da unidade interna (e da externa);
- Assegure-se de que o aterramento seja fornecido nos pontos adequados das unidades interna e externa; e

- Não permita que os fios dentro do cabo toquem a tubulação do fluido refrigerante, o compressor, etc.

Coloque as baterias no controle remoto, se necessário.

Conecte a unidade interna à unidade externa:

Em alguns casos, com a entrega dos componentes da unidade de ar condicionado do tipo split, o sistema é equipado com um conjunto de tubos e cabos consistindo em todos os materiais para interconexão das unidades interna e externa (tubos de cobre, tubo de dreno de condensado, cabos elétricos).

- Remova cuidadosamente os espaçadores dos tubos de cobre da unidade interna (sempre use duas chaves inglesas para evitar torcer os tubos de cobre macios);

AVISO:

A unidade interna estará pressurizada com uma carga estável de nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN). Conforme os espaçadores forem removidos, esse nitrogênio será liberado. Assegure-se de que os espaçadores sejam removidos da maneira segura.

- As superfícies de aperto das juntas alargadas do tubo de cobre devem estar livres de graxa, lubrificante ou qualquer outra contaminação antes de se conectarem às conexões do tubo da unidade interna;
- Conecte ambas as tubulações de fluido refrigerante à unidade interna e assegure-se de que ambas estejam razoavelmente apertadas com duas chaves inglesas; e
- *NÃO isole as juntas dos tubos! Isso permitirá que profissionais capacitados verifiquem se há vazamentos nelas.*

AVISO:

O profissional capacitado apertará as conexões com torque de acordo com a Tabela 46 antes dos testes de estanqueidade.

Tabela 46 — Valores padrão de torque de aperto

Diâmetro externo nominal (de acordo com a EN 12735-1 e a EN 12735-2)			Espessura mínima da parede (mm)	Torque de aperto (Nm)
Série métrica (mm)	Série imperial			
	(mm)	(pol.)		
6			0,80	14 — 18
	6,35	1/4	0,80	14 — 18
	7,94	5/16	0,80	33 — 42
8			0,80	33 — 42
	9,52	3/8	0,80	33 — 42
10			0,80	33 — 42
12			0,80	50 — 62
	12,7	1/2	0,80	50 — 62
15			0,80	63 — 77
	15,88	5/8	0,95	63 — 77
18			1,00	90 — 110
	19,06	3/4	1,00	90 — 110

Fonte: EN 12735-1.

- Dobre cuidadosamente cada um dos tubos de cobre para obter uma aparência agradável e para combinar com as conexões da unidade externa;
- Se houver um excesso de tubo de cobre, enrole o excesso com um diâmetro de aproximadamente 12 polegadas e deixe-o bem encostado na parede externa;

- ***SOMENTE*** use conjuntos de tubos com flanges de fabricação industrial;
- Remova cuidadosamente as porcas de alargamento colocadas nas válvulas de serviço da unidade externa;
- Conecte as porcas dos flanges dos tubos de cobre às válvulas de serviço da unidade externa e assegure-se de que ambas as conexões estejam levemente apertadas com duas chaves inglesas;
- **NÃO isole as juntas dos tubos!** Isso permitirá que profissionais capacitados verifiquem se há vazamentos nelas; e
- Preencha com massa quaisquer espaços remanescentes entre os tubos e o cabo que passam pela parede.

Dreno de condensado

- Corte comprimentos adequados do tubo de dreno do condensado de PVC;
- Conecte o tubo de dreno de condensado de PVC e as conexões (por exemplo, cotovelos) para garantir que o condensado seja drenado para um lugar adequado;
- Verifique a conexão e o alinhamento do tubo de dreno e as conexões quando conectados ao dreno de condensado da unidade interna e ajuste conforme necessário;
- Assim que a conexão estiver boa, cole o tubo de dreno e as conexões; e
- Conecte e prenda o tubo de dreno à parede usando prendedores adequados.

15.2.6 Ventilação (casa de máquinas e local de trabalho)

As medidas de ventilação podem, quando necessário, evitar ou limitar a formação de atmosferas explosivas perigosas. A eficácia da medida de ventilação depende de vários parâmetros, incluindo capacidade, disponibilidade e tipo de fluxo de ar (por exemplo, ventilação cruzada).

É feita uma distinção entre:

- Ventilação natural (salas ou instalações externas); e
- Ventilação forçada (sistema de ventilação da sala).

A ventilação das casas de máquinas deve ser adequada tanto para as condições operacionais normais quanto para as emergências.

Objetivo da proteção: pessoas presentes na casa de máquinas (saúde e segurança ocupacionais).

Nas condições operacionais normais e quando houver pessoas na sala, quatro (4) trocas de ar por hora, pelo menos, devem ser mantidas permanentemente, conforme EN 378-3.

Com um sistema de ventilação de emergência, onde a detecção de gases (dispositivos de aviso de gás) é necessária, dependendo do volume da carga de fluido refrigerante, uma taxa de quinze (15) vezes a troca de ar por hora é suficiente, conforme EN 378-3.

A ventilação de acordo com a EN 378-3 excede o nível necessário dos requisitos das regras técnicas para sistemas com perigos de explosão em pelo menos duas vezes o nível requerido.

16

Comissionamento

16. Comissionamento

16.1 Rotinas gerais de trabalho, manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis

Antes de começar a instalação de um sistema à base de fluidos refrigerantes inflamáveis, é necessário verificar se a sala no local permite o uso de fluidos refrigerantes inflamáveis.

É necessário verificar se o sistema ou componentes dele estão planejados para ficar ao ar livre ou em uma casa de máquinas separada, ou ainda se o sistema ou partes dele estão em uma área à qual pessoas têm acesso e quais pessoas têm permissão para entrar nela. Informações mais detalhadas podem ser encontradas na EN 378 e, se aplicável, nas normas do produto da série EN 60335.

Para aplicações feitas na Europa, a Diretiva Europeia 2014/34/CE (harmonização das leis dos Estados-Membros relacionadas ao equipamento e aos sistemas protetores feitos para uso em atmosferas potencialmente explosivas), códigos de construção do estado local, e regulamentações de local de trabalho etc., geralmente podem ser relevantes também.

Para o processo de instalação individual de sistemas de refrigeração, que serão carregados posteriormente com fluidos refrigerantes inflamáveis, não é necessário observar regras adicionais aos códigos/normas de segurança genéricos em relação à inflamabilidade e explosividade. Uma atmosfera inflamável pode ser criada apenas quando o fluido refrigerante inflamável já está carregado ou as válvulas de bloqueio são abertas em sistemas pré-carregados (por exemplo, unidades de ar condicionado do tipo split).

Se todas as precauções forem seguidas corretamente, o risco da inflamabilidade pode ser eliminado em grande parte.

As precauções incluem, de acordo com a EN 378-2 ou ISO 5149-2/ABNT NBR ISO 5149-2:

- Teste de resistência à pressão;
- Teste de vazamento;
- Teste funcional dos pressostatos de segurança para limitação de pressão;
- Teste de conformidade do sistema inteiro; e
- O procedimento de vácuo deve ser aplicado após o teste de estanqueidade ser concluído. Uma bomba de vácuo fixa deve ser conectada ao sistema ou a uma parte relevante do sistema, e uma pressão absoluta inferior a 270 Pa deve ser obtida. A pressão obtida deve ser mantida nesse nível por tempo suficiente após a bomba ter sido isolada do sistema, para garantir que a umidade tenha sido removida e o sistema não esteja com vazamento. Para sistemas menores, uma menor pressão do vácuo pode ser necessária.

Atenção:

É necessário garantir que todos os componentes e partes do sistema sejam alcançados pelo vácuo para evitar misturas inflamáveis dentro do sistema.

Antes de fazer considerações quanto ao início da manutenção do equipamento de RAC e do manuseio (uso) dos fluidos refrigerantes inflamáveis:

1. Profissionais de RAC capacitados precisam ser treinados profissionalmente para a aplicação e uso/manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis;
2. A avaliação de risco é conduzida, e profissionais capacitados recebem um *briefing* das tarefas de trabalho programadas;
3. Familiarizar-se completamente com o equipamento, sua finalidade e sua operação, o que inclui a revisão da documentação e dos manuais do fabricante original;
4. Assegurar-se de que todas as ferramentas e equipamentos apropriados e necessários estejam disponíveis;
5. Assegurar-se de que todo o equipamento de proteção individual necessário esteja disponível e sendo usado corretamente;
6. Assegurar-se de todos os avisos e sinalizações de comandos de segurança necessários estejam posicionados;
7. Manter, pelo menos, um extintor de incêndio de pó seco ou CO_2 disponível no local;
8. Assegurar-se de que haja ventilação suficiente no local de trabalho (natural e/ou forçada, por exemplo, com um ventilador); e
9. Usar somente equipamento elétrico aterrado (bomba de vácuo, recolhedora, cilindro de recolhimento, etc.).

Rotinas gerais de trabalho a serem seguidas:

1. Procedimentos de trabalho administrativa e tecnicamente seguros são implementados e seguidos continuamente;
2. O equipamento a ser usado no trabalho está isolado da fonte de eletricidade. Assegure-se de que a energia do equipamento de refrigeração tenha sido desconectada (de acordo com as "cinco regras de segurança" descritas no Capítulo 14.3);

3 Desative todas as potenciais fontes de ignição dentro da Zona Inflamável Temporária;

4 Ao conectar equipamento de serviço (como bombas de vácuo, recolhedoras, sopradores, etc.) a uma fonte de energia, a conexão deve ser feita fora da Zona Inflamável Temporária;

5 Use um detector de gás inflamável para monitorar o ar na Zona Inflamável Temporária. O equipamento de detecção de gás usado deve estar adequadamente vedado ou ser intrinsecamente seguro;

6 Assegure-se de que a ventilação da área seja suficiente para dispersar com segurança qualquer fluido refrigerante liberado ao lidar com fluidos refrigerantes inflamáveis. Isso pode ser feito quando houver, pelo menos, cinco trocas de ar por hora nas áreas de trabalho ocupadas. O ideal é que o fluido refrigerante seja removido de dentro de um edifício por meio da ventilação;

7 Use tiras de aterramento entre os equipamentos de recolhimento e carga e o profissional de serviço para evitar descargas eletrostáticas (ESD);

8 Quando possível, use tecnologias de conexão a frio, em vez de brasagem, ao fazer reparos no sistema em situações em que é provável haver presença de fluido refrigerante inflamável residual;

9 Antes da execução de "trabalhos a quente" ou trabalhos em que sejam geradas faíscas, ou antes de qualquer processo de evacuação final, o circuito de refrigeração (seção) deve ser inertizado e descarregado com OFDN (nitrogênio seco sem oxigênio);

10 Faça o teste de estanqueidade e o teste de resistência de pressão, conforme aplicável; e

11 Não misture fluidos refrigerantes inflamáveis com ar, especificamente durante o processo de recolhimento. Todas as precauções devem ser tomadas para eliminar a mistura de ar com fluidos

refrigerantes inflamáveis, incluindo o monitoramento do cilindro de recolhimento quanto ao conteúdo de ar (veja mais informações no Capítulo 16.5).

16.2 Testes de pressão e estanqueidade com OFDN

Antes de colocar qualquer instalação de refrigeração em serviço, todos os componentes ou todo o sistema de refrigeração deve passar por estes testes:

1. Teste de resistência de pressão; e
2. Teste de estanqueidade.

As juntas devem ser acessíveis para inspeção durante os testes de resistência de pressão e estanqueidade.

Após os testes de resistência de pressão e de estanqueidade e antes de o sistema ser ligado pela primeira vez, é necessário fazer testes funcionais de todos os circuitos de segurança elétricos.

Os resultados desses testes devem ser documentados.

16.2.1 Procedimentos padrão para testes de pressão e estanqueidade

Geralmente, os componentes e peças de sistemas de refrigeração são testados pelo fabricante dos sistemas. O escopo dos testes para profissionais capacitados nos locais de instalação normalmente é limitado a:

- Reparo de vazamentos;
- Conexões entre tubos e componentes de transferência de fluido refrigerante; e
- Troca de componentes, como válvulas de expansão, compressor, filtro secador, etc.

Para instalações com válvulas de segurança somente no lado de alta pressão, deve-se garantir que todo o circuito seja submetido ao teste de pressão.

Para instalações com válvulas de segurança de níveis de pressão diferentes em seções do sistema diferentes, deve ser feito primeiro um teste afetando toda a instalação, para todos os níveis de pressão, como mencionado no item anterior, isolando-se posteriormente a seção com a mais alta pressão de projeto para testá-lo separadamente.

- Para o teste de pressão, é necessário usar nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN);
- Deve-se fazer o teste de vazamentos finos com gás marcador (mistura de 95% N_2 com 5% H_2) quando aplicável;
- Medir continuamente a pressão nas diferentes seções, durante o teste; e
- O teste de pressão deve ser feito antes de se pintar ou isolar o tubo.

Atenção:

- **O teste de pressão é perigoso e deve ser feito com cuidado e apenas por profissionais capacitados!**
- **Todas as pessoas que não forem essenciais para o teste devem deixar o local de trabalho!**
- **Todos os presentes devem usar equipamento de proteção individual adequado!**
- **O nitrogênio é asfixiante, de modo que a área de trabalho ao redor do sistema de refrigeração deve estar bem ventilada.**
- **Verifique se todas as ferramentas do teste de pressão estão certificadas para uso em testes com pressões altas.**

Atenção:

Faça sempre o teste de pressão usando OFDN de classe 4.0 (99,99% de pureza).

- Os cilindros de OFDN devem estar equipados com reguladores de pressão (saída de pressão funcional suficiente), mangueiras e conexões apropriados. Muitos reguladores disponíveis somente têm pressões de até 12 bar; para testes de resistência de pressão, até 60 bar são necessários (veja a Figura 138);
- O manuseio de cilindros de OFDN para uso sem regulador de pressão é proibido, porque pode causar acidentes fatais;
- Todo equipamento de teste de pressão deve ser examinado antes de cada uso para identificar danos. Componentes defeituosos ou gastos devem ser trocados imediatamente;
- Antes de começar o teste de pressão, verifique se todas as válvulas estão abertas e, se necessário, abra as válvulas solenoide ou válvulas de expansão eletrônica manualmente; e
- Se válvulas "rotalok" forem usadas para isolar as seções (por exemplo, para testar separadamente seções de LP e HP), esteja ciente de que essas válvulas podem vazar, resultando em um excesso de fluxo de ODFN da seção pressurizada para o lado isolado (que pode conter uma carga de fluido refrigerante).

Figura 138 — Cilindro de nitrogênio (OFDN) com regulador de pressão apropriado

Fonte: PERKEO.

Figura 139 — Interferência proibida em cilindro de OFDN

Fonte: HEAT GmbH.

As pressões de teste são:

- Pressão de teste de resistência mínima = 1,1 x PS;
- Pressão de teste de resistência máxima = 1,43 x PS; e
- Pressão de teste de estanqueidade = 1,0 x PS.

16.2.2 Manuseio do regulador de pressão

Figura 140 — Organização do equipamento para o teste de pressão

Fonte: Perkeo.

1. O teste de resistência à pressão deve ser organizado como indicado na Figura 143;
2. O cilindro de OFDN deve ser protegido durante o manuseio do equipamento. Se possível, use um cilindro com proteção da válvula;
3. Antes de conectar o regulador de pressão (1) ao cilindro OFDN (2), assegure-se de que o regulador (3) esteja fechado (totalmente virado no sentido anti-horário);
4. Assegure-se de que a válvula de pressão de saída esteja fechada (4);
5. Conecte o regulador, o cilindro OFDN e a linha de transferência de nitrogênio;
6. Abra a válvula do cilindro (1);
7. Lentamente abra o regulador (gire-o no sentido horário) e ajuste a pressão necessária (3);
8. Verifique se há vazamentos (se necessário, use uma solução de teste com espuma de sabão);
9. Conecte a linha de transferência (5) à porta de serviço da válvula rotalock do sistema (deixe a porca de aperto da mangueira de conexão levemente solta);
10. Faça a purga do regulador e da mangueira de transferência abrindo levemente a válvula da saída do regulador de pressão;
11. Aperte a porca de aperto na porta de serviço do sistema (rotalock);
12. Feche a válvula de saída do regulador de pressão (4);
13. Prepare-se para o teste de pressão.

Figura 141 — Uso de um manômetro separado para marcação e monitoramento da pressão

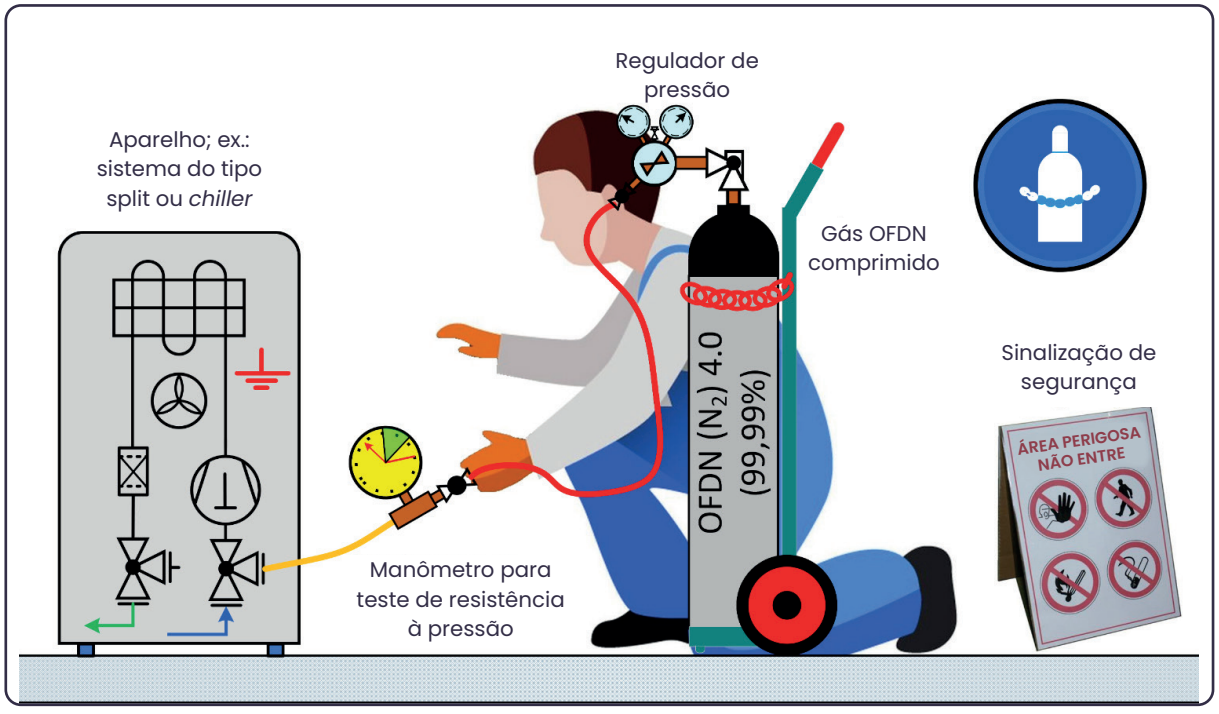
Fonte: Rolf Huehren.

Figura 142 — Exemplo de regulador de pressão e manômetro para teste de pressão

Fonte: Rolf Huehren.

É necessário conectar um manômetro de pressão separado ao sistema para monitorar e marcar o valor da pressão de teste. O manômetro de saída do regulador de pressão não é confiável/útil para o procedimento de teste.

Figura 143 — Configuração do teste de resistência à pressão



Fonte: Rolf Huehren.

16.2.3 Fases do teste de pressão com OFDN

O teste de pressão é realizado nas três fases descritas abaixo:

Fase 1: Detecção de vazamentos grandes.

A primeira fase serve para se localizarem vazamentos grandes que podem ser detectados pelo som, como aqueles causados por uma mangueira solta, uma junta com rosca não apertada, um buraco grande em uma solda, etc. Trata-se simplesmente de injetar nitrogênio a uma pressão relativamente baixa (1,5 bar) e prestar atenção para ouvir algum som de vazamento.

Fase 2: Teste de estanqueidade de acordo com a pressão de regulação.

Nessa segunda fase, o nitrogênio é injetado no nível de pressão calculado. Alguns instrumentos de medição e regulação não suportam as pressões altas do teste, devendo ser instalados após o teste.

O teste deve ser feito sem as válvulas de segurança instaladas, pois a pressão necessária é mais alta do que a pressão predefinida ajustada.

As válvulas de segurança com uma pressão configurada maior do que a pressão de teste podem ser usadas durante o teste.

O teste de pressão deve ser iniciado a 0,5 x PS e aumentado em etapas de 10% até que a pressão de teste seja alcançada. Essa pressão deve ser mantida por 30 minutos. Após 30 minutos, a pressão deve ser diminuída para a PS (pressão do projeto) e mantida por 24 horas.

Identifique a localização dos vazamentos, em caso de queda da pressão na instalação. Para isso, use espuma de sabão ou um spray indicador de vazamentos disponível comercialmente.

Preste atenção ao som de qualquer perda de pressão, a cada incremento da pressão.

Atenção:

EM NENHUMA CIRCUNSTÂNCIA USE OXIGÊNIO NOS TESTES DE PRESSÃO!

Fase 3: Teste de vazamento após a instalação dos instrumentos de medição e controle.

Alguns instrumentos de medição e controle não suportam as pressões altas do teste de vazamento, devendo ser instalados após o teste. Após a instalação, devemos garantir que não haja vazamentos, e é por isso que esse terceiro teste é realizado (a 1,0 x PS) somente na conexão desses instrumentos e a uma pressão que possa ser suportada por eles. Verifique todas as conexões desses elementos usando espuma de sabão.

16.2.4 Lei de Amontons

É necessário observar que, ao se usar esse método, a temperatura do sistema (considera-se que seja temperatura ambiente) também deve ser considerada devido ao relacionamento entre a temperatura e a pressão do nitrogênio gasoso no sistema.

Se isso não for feito, um aumento na temperatura ambiente poderia mascarar uma perda de nitrogênio. De acordo com a Lei de Gay-Lussac (também conhecida como a Lei de Pressão-Temperatura de Amontons):

Observação:

A Lei de Amontons, frequentemente chamada de 2ª Lei de Gay-Lussac, afirma que a pressão dos gases ideais é diretamente proporcional à temperatura, com um volume constante em um sistema fechado (mudança de estado isocórica) e uma quantidade constante da substância. Assim, quando o gás é aquecido, a pressão interna aumenta, e, quando ele se resfria, ela diminui. Essa relação foi descoberta por Guillaume Amontons.

Procedimento de teste da Lei de Amontons

A Lei de Amontons é expressa pela equação:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Em que:

p_1 é a pressão no início do teste em bar (pressão absoluta = p_g + 1 bar);

p_2 é a pressão no final do teste em bar (pressão absoluta = p_g + 1 bar);

T_1 é a temperatura ambiente no início do teste em Kelvin;

T_2 é a temperatura ambiente no final do teste em Kelvin.

Por exemplo:

A pressão inicial (p_g) é 22 bar = p_g + 1 bar = p_{abs} = 23 bar

A temperatura inicial T_1 é 35 °C + 273 K = 308 K

A temperatura final T_2 é 15 °C + 273 K = 288 K

Pergunta: Qual é a pressão do manômetro p_{2g} na temperatura final T_2?

A fórmula acima pode ser resolvida para p_2 (a pressão no final do teste de pressão).

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

→ $p_2 = 23\ bar \left(\frac{288\ K}{308\ K}\right)$

→ $p_2 = 21{,}5\ bar$

$p_{2g} = p_{2abs} - 1$ bar = 21,5 bar − 1 bar = 20,5 bar

A diferença de pressão no manômetro é $p_{1g} - p_{2g}$ = 22 bar − 20,05 bar = 1,5 bar

Isso significa que houve uma diminuição na pressão de 1,5 bar, de acordo com a Lei de Amontons anteriormente discutida, e não se trata de uma perda de carga de nitrogênio.

No geral, para a maioria das pressões, a variação é de 0,7 bar por variação de 5K na temperatura *(para pressões associadas a R-744, a mudança será maior).*

16.2.5 Reparo de vazamentos

Se você encontrar vazamentos durante o teste de pressão, o OFDN deve ser eliminado do sistema antes de o vazamento ser reparado. As juntas reparadas terão de ser testadas novamente.

16.2.6 Certificado de teste de pressão

O instalador deve emitir um certificado de teste de pressão, que deve ser realizado por um profissional capacitado.

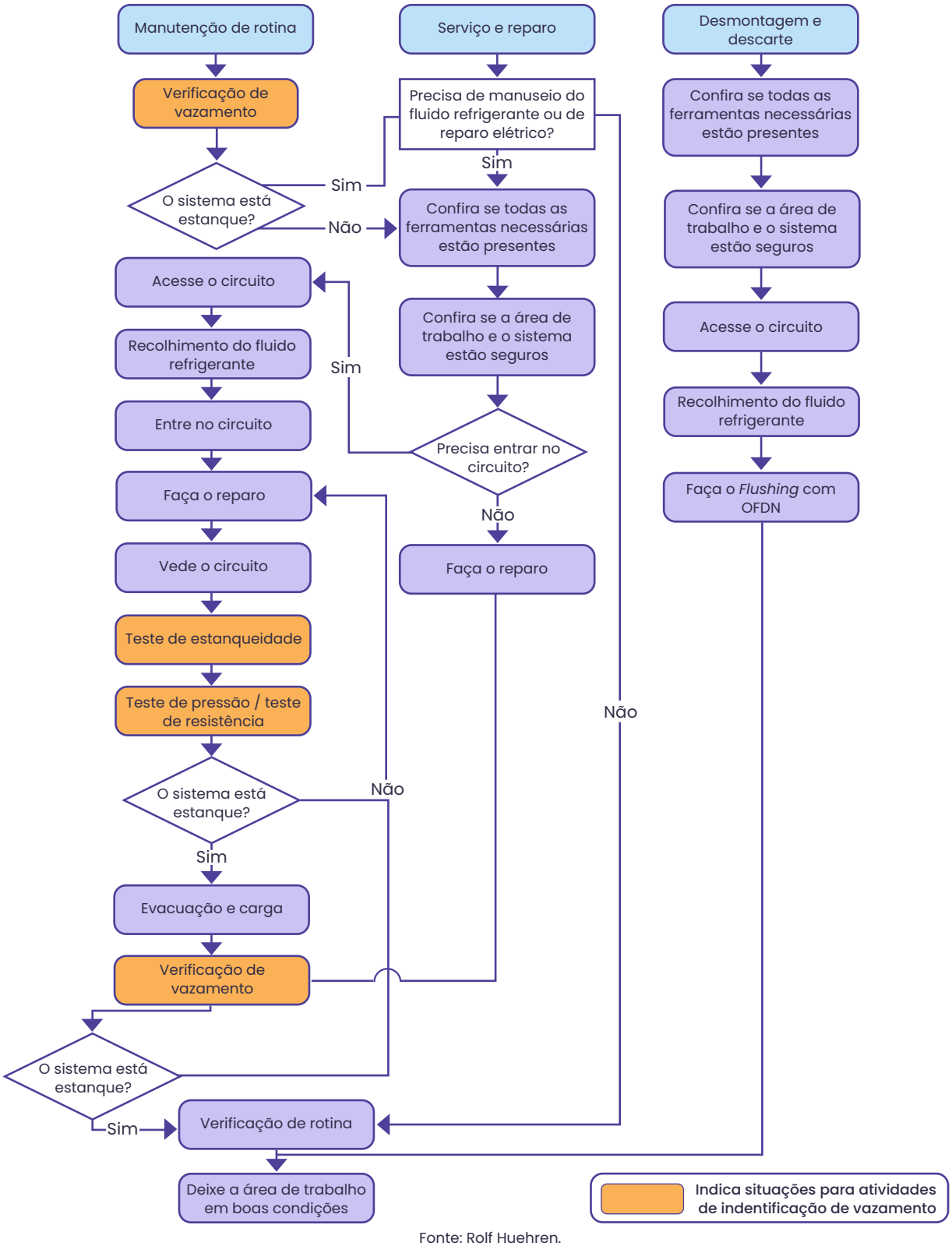
16.3 Requisitos de verificação de vazamento do circuito de refrigeração

Vazamentos de fluido refrigerante dos sistemas de refrigeração ocorrem frequentemente na prática, variando de alguns gramas por ano (g/a) a alguns quilogramas por ano (kg/a). Essas perdas aumentam os custos operacionais, têm um impacto negativo no meio ambiente e podem causar danos ao sistema de refrigeração. Para se detectarem vazamentos no início de sua ocorrência, os sistemas de refrigeração devem ser verificados regularmente para ver se há vazamentos.

Mais comum entre uma variedade de procedimentos de teste de vazamento e estanqueidade, os pequenos detectores portáteis de gás são o método preferencial para se descobrirem vazamentos em sistemas de refrigeração em campo. Aqui, sempre há uma interação da ferramenta específica (detector de gás) e um profissional qualificado para detectar o local do vazamento. Como esses dispositivos de detecção portáteis de gás não têm seus próprios diagnósticos, é particularmente importante verificar seu funcionamento, especialmente a sensibilidade à detecção, em intervalos relativamente curtos (o melhor é fazer isso antes e após cada uso operacional). Essa tecnologia é considerada como um "método de teste de vazamento direto", que será descrito em mais detalhes adiante.

O teste de vazamento é uma das tarefas mais desafiadoras dos profissionais capacitados. Não existe um método que sirva para todas as situações. Pelo contrário, há vários métodos diferentes de testar se há vazamentos e, em todos os casos, é necessário tomar uma decisão quanto ao método usado e o tipo de equipamento necessário para encontrar o vazamento. Cada método exige o seu próprio tipo de equipamento, e ter o equipamento de teste adequado é apenas metade do processo. A Figura 144 mostra um fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo.

Figura 144 — Fluxograma de trabalho para identificação de vazamentos em campo



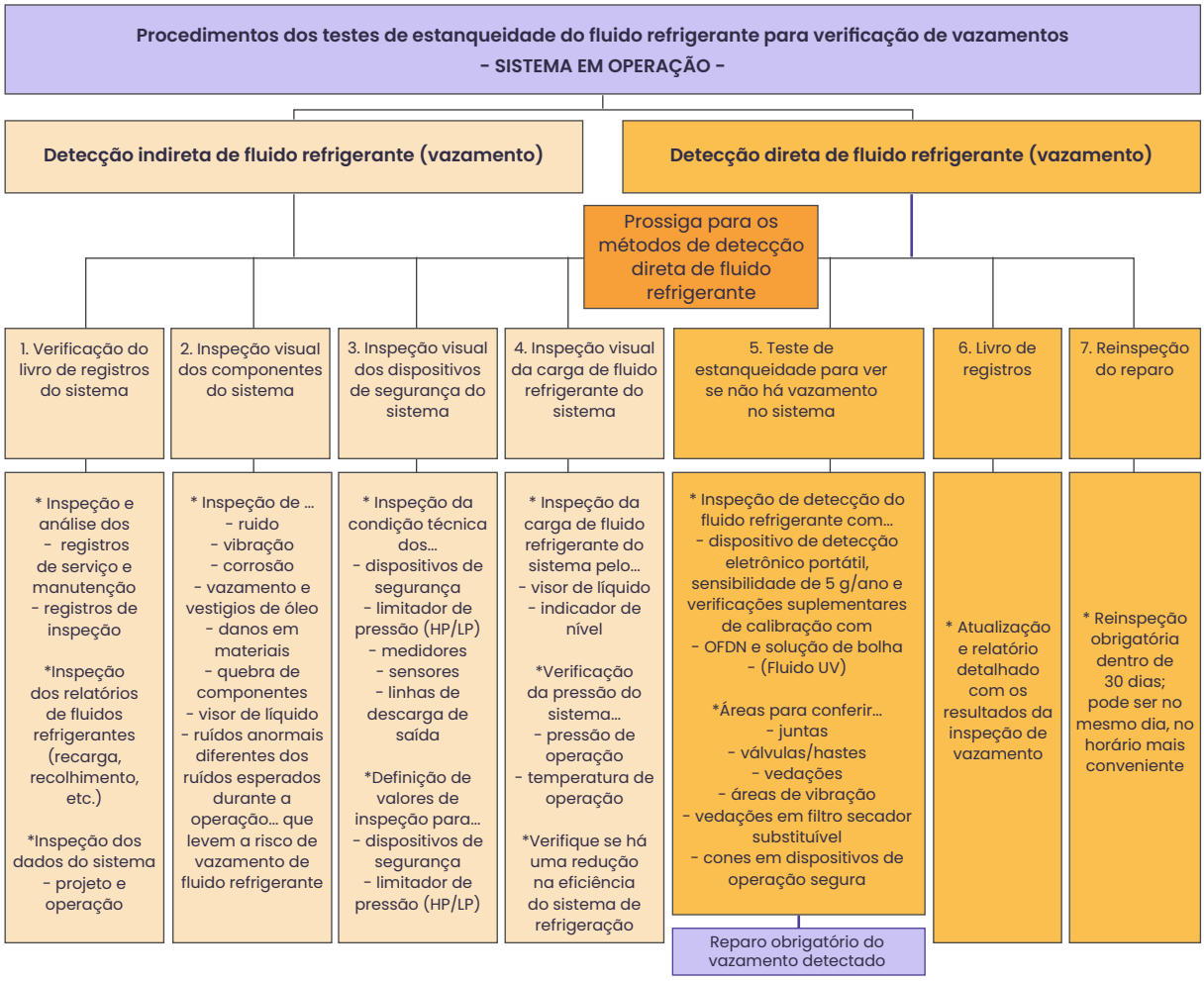
Fonte: Rolf Huehren.

A próxima seção descreve os diferentes métodos e oferece orientações quanto a qual teste pode ser o mais adequado a uma determinada condição e sistema. É feita uma distinção entre:

1. **Métodos indiretos de teste de vazamento:** parâmetros do sistema são analisados quanto ao funcionamento normal; e
2. **Métodos diretos de teste de vazamento:** o profissional capacitado procura o vazamento ativamente.

A Figura 145 indica visualmente os processos e ferramentas usados para implementar os métodos indiretos e diretos de detecção de gás (vazamentos).

Figura 145 — Processos e ferramentas utilizados para implementar métodos diretos e indiretos de detecção de fluido refrigerante (vazamentos)



Fonte: Rolf Huehren.

16.3.1 Métodos indiretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante

A detecção indireta de vazamento de fluido refrigerante é baseada em boas práticas de serviço e manutenção. Condições e parâmetros operacionais, aparência e ruídos emitidos de um sistema de AVAC-R geralmente dão a primeira indicação de que há um vazamento de fluido refrigerante. Isso ajudará na decisão de adotar ou não métodos/atividades de detecção direta de vazamentos.

Uma ou mais destas condições poderia levar à conclusão de que há uma perda de fluido refrigerante:

- Sinais visíveis de corrosão;
- Formação de gelo;
- Vibração;
- Ruídos anormais;
- Vazamentos e películas de óleo em componentes;
- Danos em componentes ou materiais em possíveis pontos de vazamento; e
- Danos em interruptores de segurança, pressostatos, medidores e conexões de sensor.

Dependendo do tipo de sistema, as medições operacionais devem corresponder aos valores esperados. Em alguns casos, o sistema de controle dá um sinal ativo de que há falta de fluido refrigerante. As seguintes condições podem indicar uma perda de fluido refrigerante:

- Capacidade frigorífica insuficiente, isso é, o equipamento não está fornecendo refrigeração ou ar condicionado suficiente;
- As temperaturas desejadas não são atingidas;
- As pressões desejadas não são atingidas;
- A corrente do compressor não está de acordo com os valores especificados pelo fabricante;

- Os indicadores do nível do fluido refrigerante mostram carga insuficiente;
- Visor de líquido mostra bolhas indicando perda de fluido refrigerante;
- Ativação de um sistema de aviso de fluido refrigerante fixo; e
- Sistema de controle eletrônico indicando o nível baixo do fluido refrigerante.

Se houver suspeita de perda/vazamento de fluido refrigerante, será necessário conduzir testes de estanqueidade e atividades diretas de detecção de vazamento no momento adequado.

16.3.2 Métodos diretos de detecção de vazamento de fluido refrigerante

Todos os testes devem ser únicos e não destrutivos e sem causar nenhum impacto no meio ambiente e nos operadores. Todos os procedimentos de teste descritos são procedimentos gerais de testes em campo realizados por engenheiros de refrigeração e profissionais capacitados.

Métodos diretos ativos podem ser divididos tecnicamente em quatro categorias principais:

1. Teste de queda de pressão;
2. Teste de aumento da pressão de vácuo;
3. Teste com espuma de sabão; e
4. Teste de pressão com detector eletrônico de gás.

A Tabela 47 oferece uma visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamento em campo.

Tabela 47 — Visão geral dos métodos diretos de detecção de vazamentos em campo

	Métodos diretos de detecção de vazamentos	Para ser utilizado como:	Meio de teste	Avaliação breve	Classificação de teste	Não recomendado	Deve ter e fazer	Será excelente
1	Teste de espuma de sabão com pressão do fluido refrigerante	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Procedimento bruto de detecção de vazamento.	Teste preliminar	X		
2	Sistema pressurizado com OFDN e espuma de sabão (teste com espuma de sabão)	Teste de estanqueidade Pressão de teste entre 10 e 12 bar suficiente.	OFDN	Procedimento bruto de detecção de vazamento, mais preciso do que a opção 1.	Teste preliminar, teste final, teste de componentes do circuito		X	
3	Detector de gás; condutividade térmica; captura de elétrons; infravermelho; hélio (≤ 3 g/a – 5 ppm)	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante)	Com tecnologia mais recente, detecção fina de vazamento	Detecção geral de gás e localização de vazamento (sem EPI)		X	
4	Teste de aumento da pressão de vácuo (teste de aumento de pressão)	Teste de estanqueidade durante o comissionamento AVAC-R		Teste de estanqueidade geral	Teste intermediário e preliminar		X	
5	Teste de queda de pressão (teste de nível de pressão)	Teste de estanqueidade	OFDN	Procedimento bruto de detecção de vazamento	Teste intermediário e preliminar		X	
6	Sistema pressurizado com gás marcador N_2/H_2 e detector de gás marcador	Teste de estanqueidade Pressão de teste a 5 bar suficiente	Gás marcador (5% de hidrogênio, 95% de nitrogênio)	Detecção bruta e fina de vazamento	Teste intermediário, teste final			X
7	Detecção ultrassônica de gás	Teste de vazamento	Meio de trabalho (fluido refrigerante).	Procedimento rudimentar de detecção de teste	Teste preliminar	X		
8	Teste de resistência de pressão Pressurização do sistema com OFDN	Teste de resistência de pressão 1,1 x PS, por exemplo, os componentes do circuito de refrigeração são reparados ou substituídos	OFDN	Teste de integridade do circuito de refrigeração	Procedimento de teste de acordo com EN 378 e ISO 5149 / ABNT NBR ISO 5149		X	
9	Sistemas fixos de detecção de fluido refrigerante	Sistema fixo de monitoramento de vazamento de fluido refrigerante	Meio de trabalho (fluido refrigerante).	Instalações de supermercados, instalações de circuitos de RAC distribuídos, medidas de segurança adicionais para fluidos refrigerantes A3 .	Detecção geral de gás			X
10	Detecção por aditivos fluorescentes e luz ultravioleta	Teste de vazamento	É necessário um aditivo ao circuito de refrigeração.	Procedimento complementar. São detectados apenas vazamentos com presença de óleo.	Teste preliminar	X		

Fonte: Rolf Huehren.

16.4 *Flushing* do circuito de refrigeração com OFDN e remoção de resíduos do fluido refrigerante

Após recolher a carga de fluido refrigerante de um circuito de refrigeração, poderá haver alguns resíduos dentro do sistema. Assim, deve-se fazer o *flushing* do sistema com OFDN para remover os resíduos de fluido refrigerante e umidade do sistema. A umidade no sistema pode levar à deterioração dos circuitos, o que pode causar acúmulo de ácido, queima do compressor e/ou revestimentos de cobre nas peças mecânicas do compressor. Os efeitos da deterioração são descritos em maior profundidade no Capítulo 16.5.3. Pode ser necessário repetir o processo de *flushing* várias vezes.

Atenção:

Se o *flushing* exigir a separação de seções do circuito de refrigeração, sempre que possível, as seções de tubulação ou componentes do circuito (por exemplo, filtros secadores) devem ser cortadas com o uso de um cortador de tubos. Isso mantém o sistema o mais limpo possível.

16.4.1 Preparação de ferramentas e equipamento para *flushing* do circuito de refrigeração

1. Escolha apropriada de EPIs de acordo com o desempenho de trabalho exigido e a avaliação de risco;
2. Cilindro de gás comprimido OFDN com regulador de pressão apropriado. O cilindro deve ser fixo e preso na área de trabalho;
3. Bomba de vácuo de duplo estágio;
4. Conjunto *manifold* de quatro vias;
5. Medidor em mícrons;

6. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante SAE de ¼" (o menor comprimento possível, por exemplo, 90 cm/36") com classificação de pressão de 60 bar (870 PSI), para pressão operacional, e 300 bar (4.350 PSI), para pressão de ruptura, e válvula de esfera na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo;
7. Um conjunto de válvulas de acesso para minimizar a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a dispositivos/portas de serviço do sistema (se necessário); e
8. Colocação da sinalização de aviso dentro da área de trabalho.

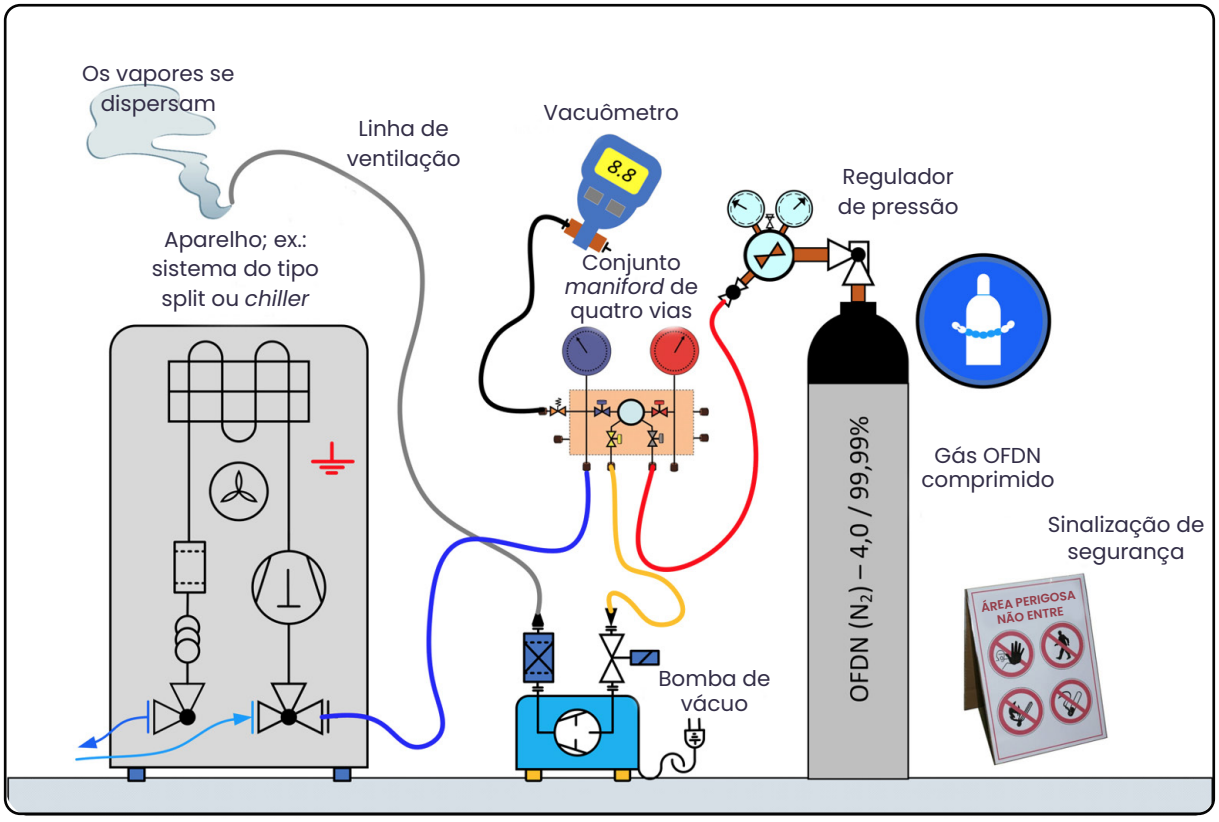
16.4.2 Processo – *Flushing* com OFDN

1. Informe o proprietário, o supervisor e obtenha a permissão de trabalho (se necessário);
2. Desligue o sistema de refrigeração;
3. Conecte o equipamento e as ferramentas listadas anteriormente, conforme indicado na Figura 146;
4. Use um *manifold* de quatro vias (com visor de líquido) e conecte as mangueiras de transferência de fluido refrigerante conforme exigido;
5. Use os EPIs conforme exigido;
6. Ligue o detector de gás (dispositivo para localização de vazamento) em ambiente externo de ar fresco e coloque-o na área do piso próximo à organização do equipamento OU ligue o detector de gás (EPI), se disponível;
7. Faça o *flushing* do circuito de refrigeração com OFDN. Use OFDN de nível técnico (4.0) para evitar que mais umidade entre no sistema;
8. Descarregue o gás e evacue o sistema para uma pressão de cerca de 4.500 mícrons ou menos;

9 Faça novamente o *flushing* do circuito de refrigeração com OFDN; e

10 Quando ficar estabelecido que o sistema está seguro e protegido contra vazamentos, o OFDN pode ser eliminado, o sistema pode ser evacuado e desidratado para ficar pronto para o fluido refrigerante.

Figura 146 — *Flushing* com nitrogênio seco e sem oxigênio (OFDN)



Fonte: Rolf Huehren.

16.5 Como lidar com gases não condensáveis (GNC) e umidade

Gases não condensáveis em um circuito de refrigeração incluem gases que não se condensam na pressão operacional do sistema, como, por exemplo, principalmente ar, nitrogênio, hidrogênio, hélio, etc.

De acordo com a norma AHRI 700 / ABNT NBR 16667 (especificações para fluidos refrigerantes), o conteúdo de gases não condensáveis em fluidos refrigerantes não deve exceder 1,5% em volume da fase de vapor (a 25 °C). Esses valores, na verdade, aplicam-se a fluidos refrigerantes, mas também podem se aplicar a um circuito de refrigeração.

16.5.1 O que causa a presença de gases não condensáveis (GNC) em um circuito de refrigeração?

Os gases não condensáveis entram no circuito por causa de:

1. Evacuação inadequada durante a instalação ou reparo;
2. Vazamentos no circuito de refrigeração, especificamente no lado da sucção, se a pressão ficar abaixo da pressão atmosférica; e
3. Reação química dentro do circuito de refrigeração.

16.5.2 Quais são os problemas associados a gases não condensáveis?

Além das implicações de segurança com fluidos refrigerantes inflamáveis, os problemas associados aos gases não condensáveis são consideráveis e podem muito bem levar à falha de todo o sistema. Em todo caso, o gás não condensável leva, por um lado, a um consumo de energia maior pelo compressor e, por outro, a uma capacidade de refrigeração menor. Em situações extremas, pode ocorrer corte no pressostato de alta pressão.

GNCs (se presentes) viajam pelo circuito e podem se acumular dentro do condensador. Um indicador importante de contaminação no circuito de refrigeração é o visor de líquido do compressor. Se o óleo lubrificante estiver escuro e turvo, será necessário trocar o filtro secador e o óleo imediatamente! Outras atividades serão necessárias se for identificado ácido no óleo (veja também o Capítulo 3.6.6).

Além disso, o conjunto de problemas associados inclui:

1. Os gases não condensáveis levam a uma maior pressão de condensação e a um maior consumo de energia;
2. Maiores temperaturas de descarga;
3. Maiores estresses térmico e mecânico;
4. A presença de ar, geralmente é associada com o ingresso de umidade; e
5. O conteúdo de oxigênio leva à corrosão e, se houver umidade, decomposição da reação química do fluido refrigerante.

16.5.3 Reações químicas no circuito de refrigeração e seus efeitos

Um sistema muito complexo de substâncias está presente no circuito de refrigeração. Além de materiais de constituições metálica e orgânica, há fluido refrigerante e óleo no circuito. Também pode haver outras impurezas, como água e ar. Especialmente a altas temperaturas, pode haver muitas reações químicas e produtos de reações.

As mais importantes são:

Corrosão

Água e ar levam à corrosão, mas o fluxo também contribui para isso durante o processo de brasagem. Durante a brasagem sem gás inerte, são formados óxidos de cobre e ferro (incrustação).

Revestimentos de cobre

O cobre é dissolvido em óleo pela água e torna-se ácido em temperaturas altas. As partículas finas de cobre são depositadas principalmente nos trilhos dos cilindros, em rolamentos e vedações do duto em que ocorrem temperaturas altas.

Ácido

Ácidos inorgânicos são formados pela decomposição do fluido refrigerante na presença de água, mas os ácidos orgânicos também podem ser formados pela decomposição do óleo.

Resina de óleo

Moléculas grandes (polímeros) são formadas de produtos da decomposição do óleo na presença da água. Uma massa escura e borrachenta é formada.

Borra de óleo

A formação da borra é iniciada pelas impurezas e ácidos orgânicos do óleo.

Esse processo é acelerado pela decomposição do fluido refrigerante em altas temperaturas e pela ocorrência de ácidos inorgânicos.

A Tabela 48 oferece um resumo das falhas do sistema de refrigeração e os produtos de reação que podem causá-las.

Tabela 48 — Defeitos no sistema de refrigeração devido a produtos de reações

	Defeitos no sistema de refrigeração	Produtos de reações químicas
1	Desgaste de rolamento, gripagem de rolamentos e pistões, resultando em quebra da biela e, possivelmente, queima do compressor.	Resina de óleo, borra de óleo, incrustação e revestimentos de cobre.
2	Destruição do enrolamento do motor.	Acidez.
3	Entupimento dos capilares e das válvulas de expansão.	Resina de óleo, borra de óleo, incrustação, óxidos e substâncias extrativas.
4	Corrosão de materiais e vazamentos.	Acidez e água.
5	Congelamento dos capilares e das válvulas de expansão.	Água.
6	Pressão de condensação aumentada, capacidade frigorífica reduzida.	Gases não condensáveis.

Fonte: Rolf Huehren.

16.5.4 Identificação da água no circuito de refrigeração

Um conteúdo de umidade excepcionalmente alto no circuito de refrigeração é detectado pelo profissional capacitado pelo visor de líquido com um indicador de umidade. Um conteúdo de umidade alto também é perceptível pelo congelamento de dispositivos de expansão, como capilares ou válvulas de expansão, durante a operação do sistema. Se houver dúvida, é possível usar testadores de umidade.

16.5.5 Remoção de gases não condensáveis e água dos circuitos de refrigeração

Somente uma evacuação cuidadosa e suficiente de todo o circuito de refrigeração pode evitar os problemas associados a gases não condensáveis e umidade. Para manter a conformidade com o valor limite, cada circuito de refrigeração teria que ser evacuado até um nível de vácuo final de 250 a 500 mícrons (medido no circuito de refrigeração, não na bomba de vácuo!) antes de realizar a carga com o fluido refrigerante. Como regra geral, um circuito de refrigeração deve conter o mínimo possível de contaminantes.

16.5.6 Recolhimento do fluido refrigerante e a presença de gases não condensáveis

Para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, é de fundamental importância evitar a transferência de gases não condensáveis (GNCs) e, especificamente, ar para o cilindro de recolhimento.

O ar pode ser puxado para dentro de um sistema por meio de um vazamento lateral pequeno, se a pressão de sucção cair abaixo da pressão atmosférica. Talvez já haja ar dentro do circuito de refrigeração do sistema a ser reparado ou tenha sido introduzido no cilindro de recolhimento durante o recolhimento e a transferência do fluido refrigerante. O oxigênio no ar criará uma mistura crítica de combustível em pressões maiores com fluidos refrigerantes inflamáveis e poder levar a um acidente fatal.

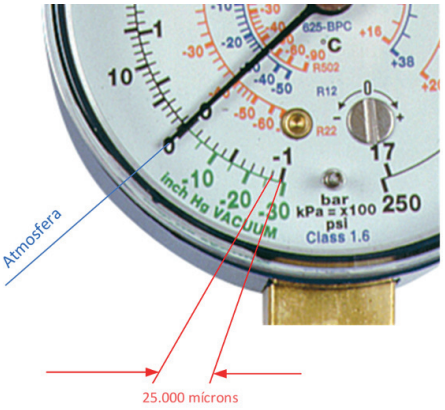
O usuário do equipamento é responsável por realizar os processos de recolhimento do fluido refrigerante de acordo com as regras de segurança definidas, fichas de segurança FISPQs aplicáveis e respeitando os manuais de operação do equipamento do fabricante!

16.6 Evacuação do circuito de refrigeração

O fluido refrigerante no circuito de refrigeração precisa estar completamente livre de impurezas, tais como umidade (água), gases não condensáveis (especificamente ar e nitrogênio) e solventes, que possam causar danos. Portanto, o trabalho de instalação deve ser conduzido com um alto grau de limpeza. Isso também se aplica a manutenção ou reparos posteriores. Mais informações sobre contaminantes do circuito de refrigeração constam no Capítulo 16.5.

Conseguir um vácuo profundo antes da carga é um passo importante. Isso independe do fluido refrigerante escolhido. O nível aceitável de vácuo profundo para preparação do circuito de refrigeração é de cerca de 250 a 500 mícrons. Para grandes sistemas comerciais, é possível um vácuo de 1.000 a 500 mícrons.

O vácuo profundo deve ser medido com um vacuômetro eletrônico apropriado (veja a Figura 147). Somente vacuômetros eletrônicos em mícrons podem confirmar e determinar com precisão um vácuo profundo em um circuito de refrigeração sem vazamentos e GNCs. Um manômetro analógico (veja a Figura 148) indica somente que um vácuo a -1 bar (-30 inHg) está sendo produzido. Na figura, a faixa de 25.000 mícrons está marcada. Esse exemplo mostra que é impossível identificar um vácuo suficiente de 500 mícrons com esses manômetros.

Figura 147 — Indicação de vácuo profundo com um vacuômetro eletrônico Fonte: Rolf Huehren.	Normalmente, vacuômetros eletrônicos são dispositivos com detecção de calor. O elemento detector que é mecanicamente conectado ao sistema sendo evacuado gera calor. A taxa na qual esse calor é retirado muda conforme os gases e vapores ao redor são removidos. Assim, a saída do elemento de detecção (seja um termopar ou termistor) muda conforme a taxa de dissipação de calor muda. Essa mudança na saída é indicada em um dispositivo eletrônico de medição que é calibrado em mícrons de mercúrio.
Figura 148 — Indicação de vácuo em um manômetro analógico de pressão  Fonte: Rolf Huehren.	Exemplo de manômetro analógico que indica somente que um vácuo a -1 bar (-30 inHg) está sendo produzido, mostrando que é impossível identificar um vácuo suficiente de 500 mícrons com esses manômetros.

A Tabela 49 mostra unidades diferentes para medição de vácuo. Mícrons são mais fáceis de distinguir na faixa de um vácuo aceitável.

Se houver água no sistema, ela congelará durante o processo de evacuação a 6.090 mbar ou 4.572 mícrons. Uma vez congelada, é difícil removê-la com a bomba de vácuo. Durante o processo de evacuação, o acúmulo de gelo nas seções externas do sistema de refrigeração pode indicar tanto a presença de fluido refrigerante evaporando, quanto o congelamento da água. Se isso for percebido, essas seções devem ser aquecidas pelos meios apropriados.

Tabela 49 — Comparação de unidades de vácuo diferentes em relação ao nível de vácuo absoluto em porcentagem

Evaporação H_2O °F	Evaporação H_2O °C	mbar	Pascal (Pa)	Mícrons (militorr)	PSI	Torr	Polegadas de mercúrio (Hg)	% Vácuo
212	100,0	1013,070	101.307	759.968,00	14,69800	759,968	0,00	0
205	96,1	713,150	71.315	535.000,00	10,34690	535,000	8,86	29,59
194	90,0	700,530	70.053	525.526,00	10,16200	525,530	9,23	30,63
176	80,0	473,340	47.334	355.092,00	6,86600	355,100	15,94	53,13
158	70,0	311,500	31.150	233.680,00	4,51900	233,680	20,72	69,15
140	60,0	199,090	19.909	149.352,00	2,88000	149,350	24,04	80,29
122	50,0	123,240	12.324	92.456,00	1,78800	92,460	26,28	87,8
104	40,0	73,470	7.347	55.118,00	1,06600	55,120	27,75	92,72
86	30,0	42,320	4.232	31.750,00	0,61400	31,750	28,67	95,81
80	26,7	33,860	3.386	25.400,00	0,49100	25,400	28,92	96,65
76	24,4	30,470	3.047	22.860,00	0,44200	22,860	29,02	96,98
72	22,2	27,090	2.709	20.320,00	0,39300	20,320	29,09	97,32
69	20,6	23,700	2.370	17.780,00	0,34400	17,780	29,12	97,65
64	17,8	20,550	2.055	15.420,00	0,29500	15,420	29,31	97,96
59	15,0	16,930	1.693	12.700,00	0,24600	12,700	29,42	98,32
53	11,7	13,540	1.354	10.160,00	0,19600	10,160	29,55	98,65
45	7,2	10,150	1.015	7.620,00	0,14700	7,620	29,62	98,99
32	0,0	6,090	609	4.572,00	0,08800	4,570	29,82	99,4
21	-6,1	3,390	339	2.540,00	0,04900	2,540	29,84	99,66
6	-14,4	1,690	169	1.270,00	0,02450	1,270	29,86	99,83
1,4	-17,0	1,330	133	1.000,00	0,01934	1,000	29,88	99,87
-4	-20,0	0,990	99	750,00	0,01450	0,750	29,89	99,9

(Continuação)

Evaporação H_2O °F	Evaporação H_2O °C	mbar	Pascal (Pa)	Mícrons (militorr)	PSI	Torr	Polegadas de mercúrio (Hg)	% Vácuo
-9,4	-23,0	0,670	67	500,00	0,00967	0,500	29,90	99,93
-24	-31,1	0,340	34	254,00	0,00490	0,254	29,905	99,97
-35	-37,2	0,170	17	127,00	0,00245	0,127	29,910	99,98
-40	-40,0	0,133	13,3	100,00	0,00193	0,100	29,916	99,986
-60	-51,1	0,034	3,4	25,40	0,00049	0,025	29,917	99,996
-70	-56,7	0,017	1,7	12,70	0,00024	0,013	29,918	99,998
-90	-67,8	0,003	0,3	2,50	0,00005	0,002	29,919	99,999
n.d.	n.d.	0,000	0	0,00	0,00000	0,000	29,920	100

Fonte: Rolf Huehren.

16.6.1 Secagem do sistema durante a evacuação

A secagem por evacuação é baseada no fato de que a água ferve a uma pressão baixa mesmo à temperatura ambiente (veja a Figura 149 com a correlação entre pressão e temperatura da água). Ela deve ser feita antes de colocar o isolamento na tubulação e nos componentes.

Antes da execução de um processo de evacuação (para qualquer tipo e tamanho de sistema), o filtro secador deve ser novo. Isso, independentemente de a instalação ser nova, caso no qual ele não terá que ser trocado, ou de a evacuação ser feita após reparos, caso no qual ele deve ser trocado.

Para **plantas menores**, a secagem pode ser acelerada se o vácuo for quebrado com nitrogênio seco sem oxigênio (OFDN) e evacuado novamente. Se, após esse processo ter sido repetido duas ou três vezes, o vácuo tiver se mantido estável, isto é, não houver outro aumento de pressão (durante um tempo razoável) após a bomba de vácuo ser ligada, o sistema está seco.

Em **sistemas maiores**, em vez de quebrar o vácuo antes da evacuação, deve-se fazer o *flushing* do circuito de refrigeração (se isso ainda não tiver sido feito antes do teste de pressão) com OFDN. Nesses casos, o sistema é evacuado para aproximadamente 1 hPa (mbar > cerca de 750 mícrons) e mantido por 24 horas. Se a pressão não subir além de 0,5 hPa (mbar), o sistema está estanque e seco.

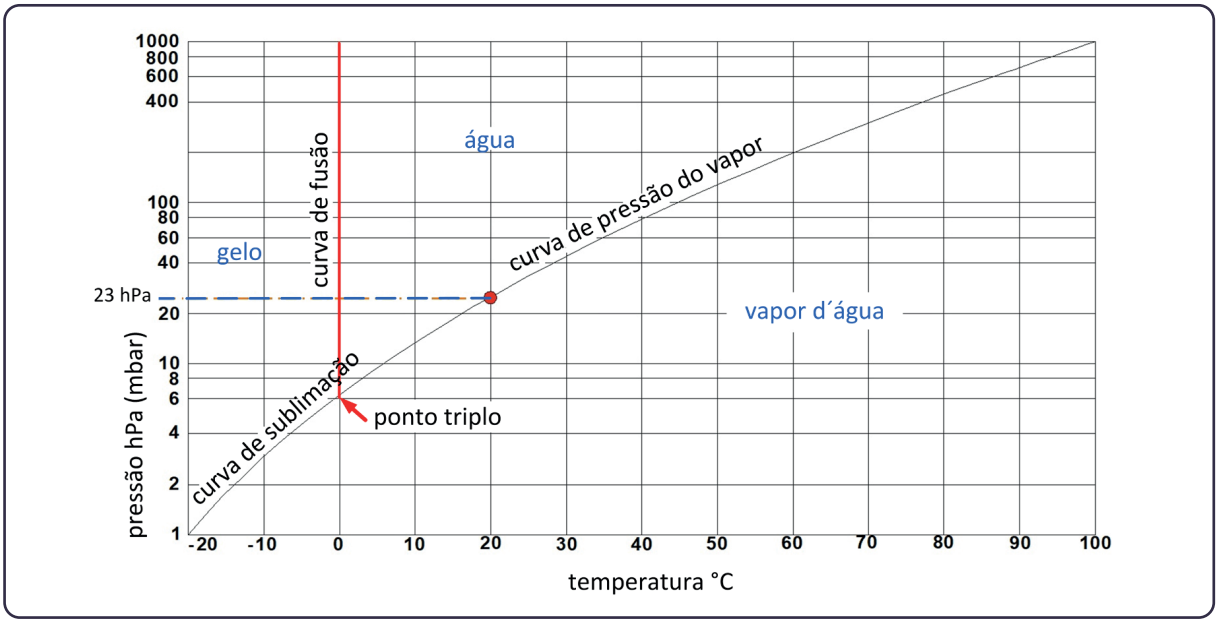
Entretanto, se a pressão subir em um sistema, por exemplo, a uma temperatura ambiente de 20 °C, acima de aproximadamente 23 hPa (mbar), ainda haverá um vazamento. Se a pressão subir além de 0,5 hPA (mbar), mas até um máximo de 23 hPa (mbar), o sistema estará estanque, mas a umidade ainda estará alta. Nesse caso, a evacuação deve ser continuada.

O tempo da evacuação depende do tamanho da instalação, da umidade, da temperatura ambiente e do tamanho da bomba de vácuo. A aceleração é possível aumentando-se a temperatura de todo o ambiente. Aquecer peças individuais do sistema não funciona, porque o vapor resultante condensa-se novamente na forma de condensação em partes do sistema que não estão aquecidas.

Durante a evacuação, frequentemente ocorre uma ociosidade na redução da pressão, quando a pressão do vapor de água parcial é alcançada, o que corresponde à temperatura ambiente. Quanto menos mistura houver no sistema, menor será o tempo de ociosidade.

Os compressores nunca devem ser usados para evacuar o equipamento. Compressores herméticos e semi-herméticos não devem ser operados no vácuo, pois isso pode danificar o isolamento do enrolamento do motor.

Figura 149 — Correlação entre pressão e temperatura da água



Fonte: Rolf Huehren.

16.6.2 Processo — evacuação do sistema

As seguintes ferramentas são necessárias para a evacuação do sistema:

1. Conjunto *manifold* de quatro vias com conexão para a evacuação de 3/8";
2. Mangueira de vácuo de 3/8" (conectando o conjunto *manifold* e a bomba de vácuo), o menor comprimento possível (acelera o processo de evacuação para 4x o que seria com o uso de uma mangueira 1/4");
3. Mangueiras flexíveis para conexão do sistema (o mais curtas possível);
4. Bomba de vácuo (poderosa de acordo com os requisitos), balastro de gás, válvula solenoide de refluxo com uma porta de conexão para a linha de ventilação;
5. Filtro de névoa de óleo (se disponível);
6. Linha de ventilação conectada à porta de exaustão da bomba de vácuo (leva a névoa do fluido refrigerante sugada para o ar livre);
7. Medidor em mícrons (vacuômetro);
8. Extrator do núcleo da válvula Schrader (para remover os núcleos das válvulas das portas de serviço);
9. Detector de gás para ser colocado na área de trabalho;
10. EPIs de acordo com a avaliação de risco; e
11. No caso de fluido refrigerante inflamável: sinalização de aviso de área de segurança (Zona 2).

Atenção:

O óleo lubrificante da bomba de vácuo deve sempre estar em boas condições. Óleo leitoso é saturado com água limita a eficiência da bomba. Assim, é necessário trocar regularmente o óleo das bombas de vácuo (dependendo da contaminação do circuito de refrigeração com umidade, troque o óleo após cada trabalho). Se o óleo da bomba de vácuo estiver contaminado, o sistema de refrigeração não será evacuado adequadamente.

Durante o comissionamento de um novo sistema, as partes que precisam ser evacuadas geralmente estão sem fluido refrigerante. Em alguns casos, o novo sistema, ou partes dele, vem com OFDN. Se houver fluido refrigerante, veja o Capítulo 19.2 para ver como fazer o recolhimento e o descarte do fluido refrigerante. Siga as instruções deste documento antes da evacuação do sistema.

O OFDN como "carga estável" e resíduos de fluido refrigerante devem ser tratados com cuidado durante a evacuação profunda por causa da diluição do N_2 com o lubrificante do compressor do fluido refrigerante. A duração da evacuação e os níveis de vácuo profundo devem ser ajustados.

A mesma consideração será aplicável se o circuito de refrigeração estiver carregado com esse fluido e for esvaziado. Isso se deve ao fato de que o N_2 e os fluidos refrigerantes têm uma certa solubilidade no óleo lubrificante, e precisa-se de esforços para remover essas substâncias com o processo de evacuação profunda, como segue:

1. Remova os núcleos das válvulas das conexões de ambos os lados, alta e baixa, com um extrator de núcleo para reduzir o tempo de evacuação por esse orifício em 30% pelo menos;
2. Conecte as mangueiras e o equipamento conforme mostrado na Figura 150;

3 Se aplicável, instale o vacuômetro no evaporador (ou tanque de líquido);

4 Opere o detector de gás dentro da área de trabalho;

5 Instale a linha de ventilação da bomba de vácuo até o ar livre (longe da área de segurança);

6 Evacue ambos os lados de alta e baixa ao mesmo tempo (se aplicável);

7 Aqueça seções do sistema de refrigeração se houver condensação visível da umidade do ambiente (compressor, acumulador de líquido, seções da tubulação, etc.); e

8 Mantenha um vácuo profundo em um nível de 250 a 500 mícrons.

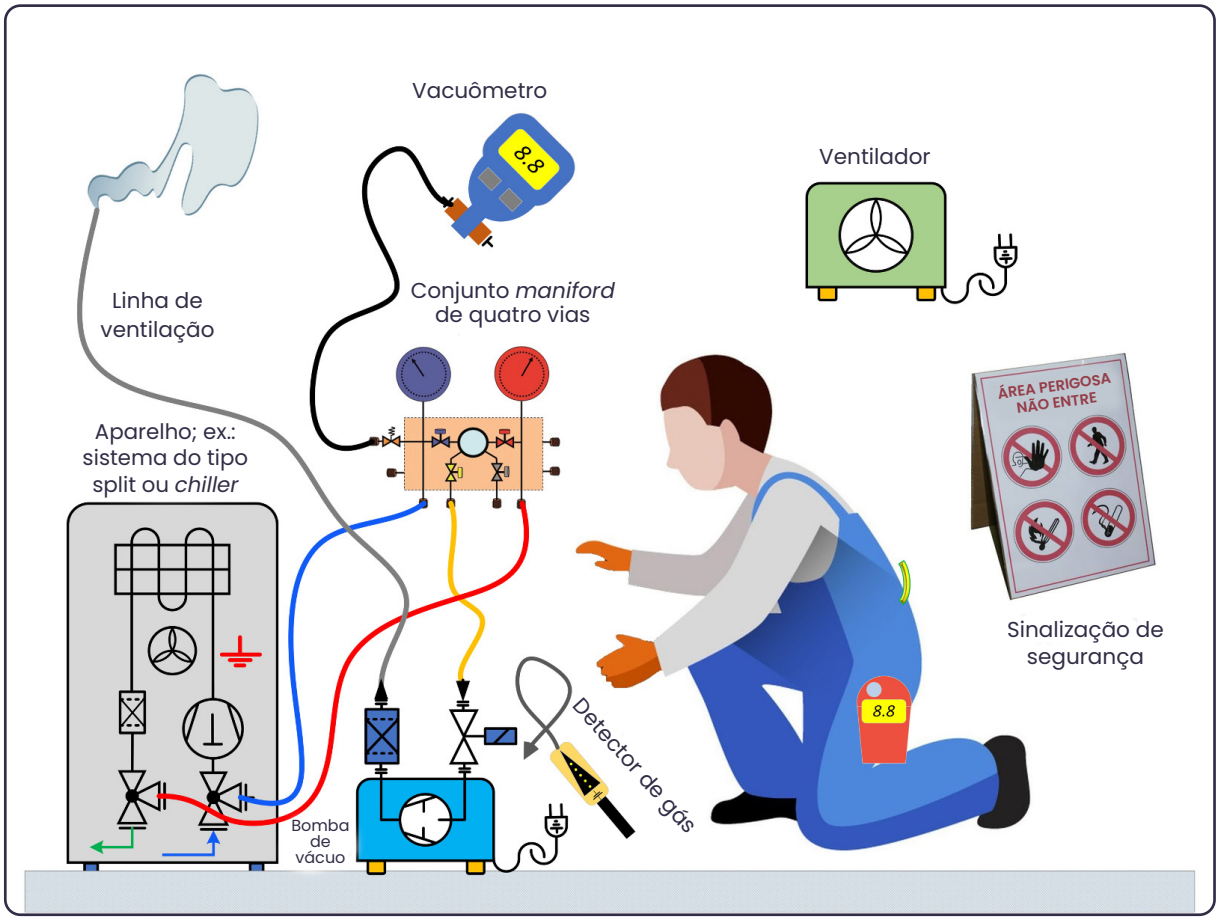
Atenção:

- A configuração de ferramentas e equipamentos deve ser organizada de forma que haja um fluxo de processos de evacuação e de carga, para evitar a troca de mangueiras no equipamento e no conjunto *manifold*;
- É recomendável usar conjuntos *manifold* de quatro vias;
- Para criar e manter um vácuo profundo, é necessário que o projeto de todos os componentes não permita vazamentos. Também é necessário o conjunto *manifold*;
- Mangueiras de teste e de carga são projetadas para pressão positiva, mas ainda ocorre permeação durante a evacuação;
- As únicas linhas de conexão que são absolutamente vedadas a vácuo são tubos de cobre macio ou mangueiras de metal flexível; e
- Ao se verificar o aumento da pressão, a atmosfera vai se permear para a baixa pressão nas mangueiras, e a leitura em mícrons subirá lentamente dependendo da qualidade da mangueira flexível.

Para verificar o aumento da pressão:

- Feche a válvula da porta de vácuo do conjunto *manifold*. Isso vai isolar o *manifold* da bomba. Aguarde, pelo menos, cinco minutos e, no máximo, até 20 minutos, até que a pressão do sistema se equalize. A leitura que você ver no final desse teste será muito próxima à que você realmente tem no sistema; e
- Um aumento rápido na pressão atmosférica indica vazamento, enquanto um aumento mais lento para cerca de 1.500 mícrons indica que há umidade.

Figura 150 — Configuração de evacuação do circuito de refrigeração



Fonte: Rolf Huehren.

Observe que esse gráfico mostra o processo para fluidos refrigerantes inflamáveis. O detector de gás e os sinais de aviso podem ter diferentes especificações/layouts.

16.7 Carga do fluido refrigerante inflamável

Com qualquer tipo de carga de massa, o método deve ser mais preciso do que com a maioria dos fluidos refrigerantes, porque HCs têm uma densidade menor do que CFCs, HCFCs e HFCs.

As balanças usadas devem ter uma precisão de, pelo menos, ±3% da escala total e uma resolução mínima de 2 gramas, especialmente trabalhando-se com sistemas de carga crítica (sistemas inerentemente seguros).

Atenção:

Ao realizar a carga no sistema, o técnico/a deve estar consciente de que os fluidos refrigerantes inflamáveis têm uma densidade menor do que a maioria dos outros fluidos refrigerantes, de modo que, normalmente, 40% a 50% da carga esperada com HCFC R-22, por exemplo, é usada. Essa é uma consideração importante, pois sobrecarregar um sistema provavelmente resultará em pressões extremamente altas, subsequente ruptura catastrófica do sistema e descarga massiva do fluido refrigerante.

Para fluidos refrigerantes inflamáveis, os mesmos procedimentos de carga são usados como seriam com quaisquer outros tipos de fluidos refrigerantes, exceto que determinadas considerações são particularmente importantes. O processo de carga dos fluidos refrigerantes inflamáveis é descrito abaixo (por favor, veja também a Figura 151):

1. Antes da carga, assegure-se de que o sistema tenha a sua resistência à pressão testada com OFDN;
2. Antes da carga, assegure-se de que o sistema (e os equipamentos para a carga) tenha passado por um teste de estanqueidade (verificação de vazamentos);
3. Coloque a sinalização de aviso dentro da área de trabalho;
4. Use um conjunto *manifold* de quatro vias (com visor de líquido) e a calibração correta do fluido refrigerante;
5. Use os EPIs conforme exigido;
6. Todos os equipamentos elétricos operacionais devem estar aterrados (exceto aqueles que funcionam com bateria);
7. O controle de descarga eletrostática (ESD) deve estar posicionado;

8 Use um “soprador” com uma capacidade mínima de 700 m³/h para a ventilação da área de trabalho;

9 Conecte uma tira de aterramento (controle de ESD) entre o cilindro de carga e o operador (para evitar o acúmulo de eletricidade estática);

10 Na hora de conectar as mangueiras entre o sistema de refrigeração, o conjunto *manifold* e o cilindro do fluido refrigerante, assegure-se de que as conexões estejam firmes e de que não haja potenciais fontes de ignição nas proximidades;

11 Assegure-se de que a contaminação de fluidos refrigerantes diferentes não ocorra ao se usar o equipamento de carga;

12 Faça a purga das mangueiras e do conjunto *manifold* antes da carga para evitar a contaminação do fluido refrigerante; isso deve ser feito para reduzir a emissão de fluidos refrigerantes e para garantir que haja ventilação suficiente para diluir a liberação. Se possível, evacue as mangueiras de transferência de fluido refrigerante antes da carga;

13 As mangueiras ou linhas devem ser as mais curtas possíveis para minimizar a quantidade de fluido refrigerante nelas;

14 É necessário um cuidado extremo para não sobrecarregar o sistema de refrigeração. Para unidades de ar condicionado do tipo split pré-carregadas, verifique, no manual de instalação fornecido pelo fabricante, se é necessário adicionar fluido refrigerante ao sistema. Esse será o caso se o comprimento da tubulação de transferência de fluido refrigerante instalada exceder a quantidade pré-carregada do sistema e o fabricante original do equipamento permitir carga adicional de fluido refrigerante por metro do comprimento do tubo. Isso deve estar explicitamente declarado no manual de instalação do fabricante original. A adaptação da área mínima da sala calculada (em m²) para a unidade interna é obrigatória;

15 Após a conclusão da carga, é necessário fazer mais uma verificação de vazamentos antes de sair do local;

16 Após a carga, desconecte cuidadosamente as mangueiras, tentando reduzir ao máximo a quantidade de fluido refrigerante emitida;

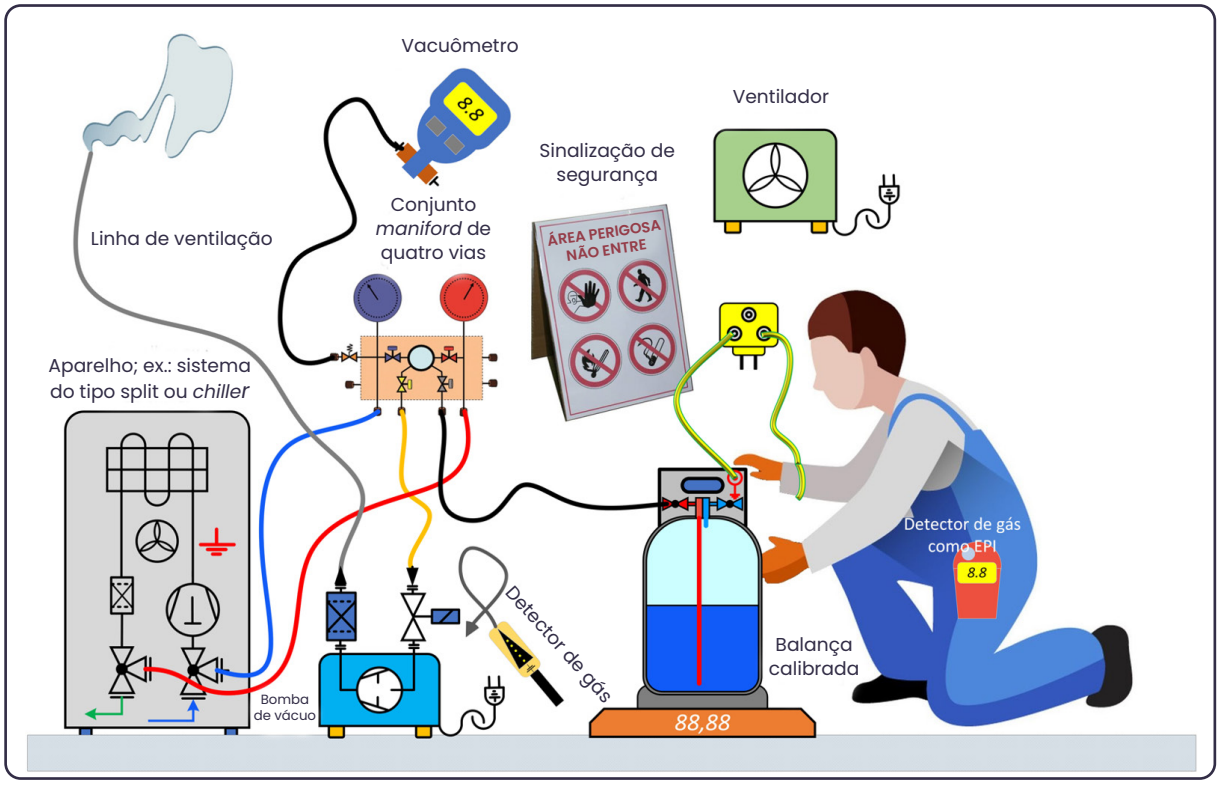
17 Coloque uma etiqueta no sistema quando a carga estiver completa (se isso já não tiver sido feito);

18 A massa de fluido refrigerante carregada no sistema deve ser anotada em um diário e marcada em uma placa (etiqueta); veja um exemplo na Figura 152;

19 Preencha o formulário de reparo/manutenção do sistema com os dados relevantes; e

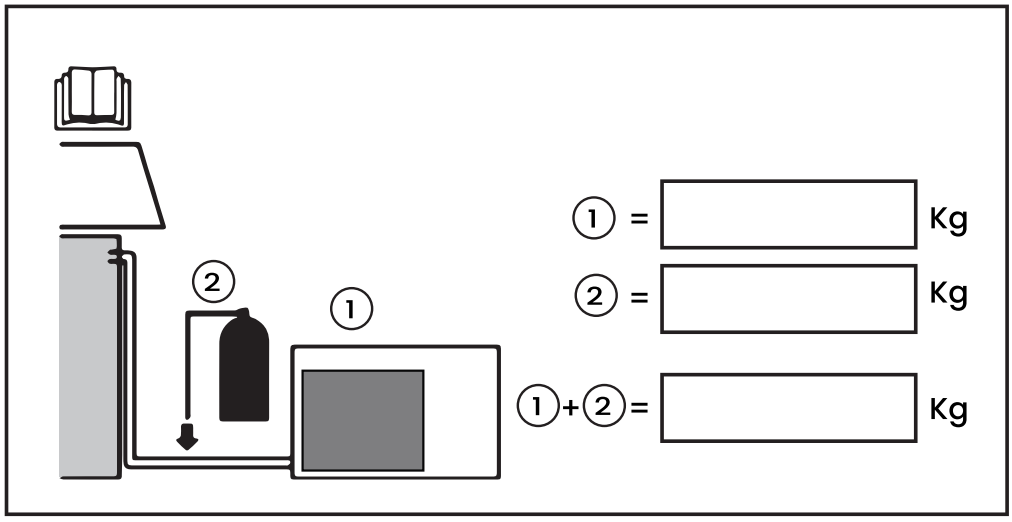
20 Limpe a área do espaço de trabalho e informe o proprietário/ supervisor.

Figura 151 — Carga de fluido refrigerante inflamável



Fonte: Rolf Huehren.

Figura 152 — Exemplo de etiqueta para unidades carregadas em campo



Fonte: IEC60335-2-40.

Legenda da Figura 152

Exemplo ① Carga de fluido refrigerante da parte pré-carregada do aparelho.

Exemplo ② Carga de fluido refrigerante adicionada durante a instalação.

①+ ② = Carga total de fluido refrigerante carregado na unidade no local de instalação.

16.8 Proteção contra excesso de pressão de fluido refrigerante

Será necessário redefinir/definir dispositivos de segurança e vários elementos de controle durante a operação e após o reparo de um sistema de AVAC-R. O objetivo geral é manter o sistema em condições seguras [não permitir a operação do sistema acima da pressão máxima permitida (PS) do sistema] e ativar uma operação do sistema com a temperatura/pressão máxima de evaporação possível e uma temperatura/pressão de condensação mínima enquanto ainda se mantém o produto desejado (por exemplo, refrigeração de alimentos) ou a condição de temperatura do espaço (AC). Isso é particularmente importante considerando-se que, para cada 1 Kelvin a menos na temperatura de operação, o consumo de energia aumente entre 2% e 4%.

16.8.1 Pressão máxima permitida (PS)

A pressão máxima permitida para cada componente deve ser menor do que a pressão máxima permitida do sistema ou da parte do sistema. A seleção de materiais para componentes deve levar em conta a resistência a impactos de todas as temperaturas para as quais eles podem ser expostos.

Pressão máxima permitida (PS)

A pressão máxima permitida é a pressão para a qual o sistema ou componente é projetado conforme especificado pelo fabricante. A PS é o limite que não deve ser excedido, esteja o sistema em operação ou não.

16.8.2 Vasos de pressão

Recipiente projetado e construído para conter fluidos sob pressão. Isso inclui equipamentos de pressão como tanques de líquido, cilindros de armazenamento e todos os componentes de equipamento de pressão do sistema de refrigeração, como seções da tubulação de um sistema de AVAC-R, que podem ser fechadas de ambos os lados.

16.8.3 Sistemas de AVAC-R inerentemente seguros

Sistemas de AVAC-R, inerentemente seguros, exigem um nível limitado e específico de habilidades para evitar pressão em excesso (veja também o Capítulo 13.2.3.1).

A quantidade de substância inflamável que pode ser manipulada é, portanto, determinada e limitada exatamente pelos fabricantes (sistema de carga limitada). Devido à limitação de riscos, um treinamento relativamente curto muitas vezes é o suficiente.

Sistema de carga limitada

A definição de "sistema de carga limitada", de acordo com a ISO 5149-1/ABNT NRB-ISO 5149-1 (3.1.6), é um sistema de refrigeração em que o volume interno total e a carga de fluido refrigerante são de tal ordem que, com o tempo ocioso do sistema, a pressão permitida não seja excedida quando ocorre a evaporação completa do fluido refrigerante.

16.8.4 Componentes de segurança para proteção contra baixa e alta pressões

O excesso de pressão em um sistema de AVAC-R pode levar à ruptura do sistema. A liberação descontrolada de fluido refrigerante e óleo pode ser perigosa para pessoas e edificações, além de prejudicial ao meio ambiente. O excesso de pressão pode ser causado por fogo, sistemas com carga excessiva, válvulas de descarga bloqueadas, etc.

O controle de baixa pressão, incluindo os pressostatos LP para função de desligamento do circuito por recolhimento, não deve permitir a operação do sistema no vácuo (a menos que o sistema seja projetado para operação a pressões abaixo da atmosférica). Para referência em futuros reparos/manutenção, é útil marcar todos os dispositivos de controle de pressão e temperatura com a definição e as configurações diferenciais. Os parafusos de calibração, especificamente aqueles com funções de segurança, devem ser lacrados (se não disponível, use pelo menos um pouco de esmalte verniz). Isso evitará mudanças acidentais nas configurações de controle ou, no pior caso, acesso por alguma pessoa não autorizada a manusear o sistema.

Ao configurar qualquer dispositivo de controle, NÃO confie na escala indicadora fixada ao componente. Na maioria dos casos, essa escala não é precisa o suficiente para manter a função desejada do sistema. Todos os parâmetros aplicáveis, como valores de pressão alta e baixa e temperaturas, devem ser verificados com o uso de um manômetro ou

termômetro calibrado. Sempre que possível, para configuração precisa e simples (e teste) dos dispositivos de controle de pressão, a configuração pode ser feita usando-se OFDN ou um manômetro.

Se forem usados controles de degelo, o ideal será usar um sistema de ciclos de degelo sob demanda. Eles descongelam os evaporadores quando necessário e pelo tempo desejado. Quando um sistema temporizador for usado, ele deverá ser definido para o acúmulo médio de congelamento. O sistema deve se descongelar antes de o acúmulo de gelo ficar grave o suficiente para reduzir significativamente a temperatura/pressão de evaporação. Os períodos de degelo devem ser longos o suficiente para apenas limpar a serpentina, mas não muito longos, para evitar que o aquecimento entre no espaço refrigerado e que alimentos sejam temporariamente expostos a condições acima da temperatura de armazenamento obrigatória. Se o período de degelo não for longo o suficiente, o acúmulo de gelo ficará pior a cada ciclo. Ao usar o degelo elétrico, assegure-se de que seja em um horário que não sobrecarregue o sistema elétrico do local, permitindo que vários sistemas se descongelem simultaneamente.

16.8.5 Pressostatos para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis

Controles de pressão para uso em sistemas de AVAC-R com hidrocarboneto são equipados com SPDT (polo simples, curso duplo, um tipo de interruptor elétrico de comutação), contatos banhados a ouro e fole de aço inoxidável. Os controles de alta pressão são equipados com foles duplos de proteção, enquanto os controles de baixa pressão são equipados com deslocamento baixo do fole para aumentar a vida útil do fole.

Instalação:

Pressostatos para uso com fluidos refrigerantes A3 são equipados com conexão de brasagem de 1/4" para garantir uma instalação hermética. Os critérios de vedação hermética para qualquer sistema de AVAC-R geralmente incluem a seleção dos componentes (por exemplo, pressostatos) para conexão com brasagem (sem conexão flangeada).

Gabinete:

Garanta um gabinete apropriado de acordo com a EN 60529 seguindo as instruções de instalação do fabricante.

Conexões elétricas:

A energia entre os contatos deve ser limitada sempre para evitar faíscas entre as superfícies de contato. Esses pressostatos devem ser usados com meios confiáveis de limitar a tensão e a corrente, para evitar faíscas entre as superfícies de contato. Podem ser diodos zener ou barreiras à prova de explosão. O equipamento a ser usado para limitação de corrente/tensão deve ser sempre aprovado para uso na zona ATEX específica.

Devem ser usados cabos e entradas dos cabos (prensa-cabos) aprovados para a aplicação. Os cabos não devem ter contato com bordas afiadas. O cabo deve ser conectado com um alívio de tensão mecânica adequado para evitar que forças de tração sejam transmitas até o terminal pelo cabo.

A Figura 153 mostra um exemplo de um pressostato para a aplicação com fluido refrigerante inflamável A3 (por exemplo, R-290).

Figura 153 — Dispositivo de limitação de pressão para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis — referência DANFOSS KPE

Fonte: Danfoss.

16.8.6 Configuração de dispositivos de rearme automático para limitação da pressão — de acordo com a EN378-1 cláusula 3.6.6

As seguintes informações **não** são relevantes para equipamentos fabricados intrinsecamente seguros e alguns sistemas unitários. Conforme as informações do Capítulo 13.2.3.5, a configuração (ajuste) dos pressostatos é da seguinte forma:

Recapitulação

- **Limitador de pressão.** Reinicia automaticamente. O limitador de pressão PSH é designado para proteção contra pressão alta; e o PSL contra pressão baixa;
- **Limitador de pressão homologado.** Certificação adicional realizada, usado geralmente por razões de segurança. PSH designado para proteção contra pressão alta; e PSL contra pressão baixa;
- **Pressostato de corte de pressão homologado.** Reinicia manualmente **sem** ajuda de ferramenta. PZH designado para proteção contra pressão alta; e PZL contra pressão baixa; e
- **Pressostato de corte de pressão de segurança homologado.** Reinicia manualmente **com** ajuda de ferramenta. PZH designado para proteção contra pressão alta; e PZL contra pressão baixa.

Para ajustar os pressostatos, as seguintes fórmulas são usadas:

PZL:

$$Corte = ativação - diferencial$$

Em que:

Corte: Pressão na qual o compressor será desligado pelo pressostato de baixa pressão (LPS) para evitar trabalhos abaixo dos limites operacionais ou em vácuo.

Ativação: Pressão que tem que ser ajustada no LPS na qual o compressor será ativado, considerando-se o alcance do dispositivo. A partir desse parâmetro, dependerá de quão rapidamente o compressor pode ser ativado assim que a válvula solenoide da linha de líquido tiver sido aberta.

Diferencial: Diferencial de pressão que tem que ser ajustado no LPS para que o compressor possa ser operado entre as pressões de corte e ativação.

PSH:

$$Ativação = corte - diferencial$$

Em que:

Ativação: Pressão na qual o compressor será ativado pelo pressostato de alta pressão (HPS).

Corte: Pressão que tem que ser ajustada no HPS para evitar que o compressor funcione acima dos limites operacionais.

Diferencial: Diferencial de pressão que tem que ser ajustado no HPS para que o compressor seja operado entre as pressões de corte e ativação.

Temperatura de condensação (t_c):

$$t_c = Temperatura\ ambiente\ (°C) + 15K$$

Em que:

Temperatura de condensação: Temperatura no meio do condensador (calor sensível) cujo valor corresponde à pressão de condensação.

Por exemplo:

Precisamos ajustar PZL e PZH em uma câmara frigorífica carregada com R-410A e com estas características:

- Temperatura de evaporação: -30 °C; e
- Temperatura ambiente: 25 °C.

Assim,

Ajuste de PZL:

1. A pressão de evaporação corresponde à temperatura de evaporação, especificamente: -30 °C; 167,91 kPa (24,37 psig).

2. Limites operacionais do compressor: É importante saber os limites operacionais do compressor, que constam no manual do fabricante. Usando essas informações, poderemos declarar a baixa pressão mínima na qual o compressor consegue funcionar sem comprometer sua vida útil (dado que a maioria dos compressores para refrigeração não são projetados para trabalhar perto de 0 kPa ou em vácuo). Como regra básica, esse parâmetro é ajustado para 34,5 kPa (5 psig) abaixo da pressão de evaporação. Assim, se a pressão de evaporação for de 167,91 kPa (24,37 psig), o limite da baixa pressão será definido para 133,55 kPa (19,37 psig), e o compressor será desligado pelo LPS exatamente nessa pressão.

Com isso, prosseguimos:

$$133{,}55\ kPa\ (19{,}37\ psig) = 241{,}32\ kPa\ (35\ psig) - diferencial$$

Resolvendo: $Diferencial = 241{,}32kPa\ (35\ psig) - 133{,}55\ kPa\ (19{,}37\ psig)$

$$Diferential = 107{,}8\ kPa\ (15{,}63\ psig)$$

Observação:

O valor de ativação foi declarado com base na pressão de evaporação de 167,91 kPa (24,37 psig), pois queremos que o compressor entre em operação a aproximadamente 10 psig de diferença em relação a essa pressão. Obviamente, esses valores devem ser selecionados considerando-se as características do produto/processo e o alcance do dispositivo.

Ajuste de PZH:

1. Temperatura de condensação (t_c): $t_c = 25°C + \sim 15K = 40\ °C$.

   Portanto, da tabela Pressão -Temperatura, percebe-se que a pressão de condensação para R-410A nessas condições é **2.324,24 kPa** (337,1 psig).

2. Limites operacionais do compressor: Para evitar que a temperatura de descarga do compressor chegue aos limites operacionais quando a pressão de condensação for 2.324,24 kPa (337,1 psig), será definida a pressão de corte como 2.413,2 kPa (350 psig), aproximadamente 89,6 kPa (13 psig) de diferença em relação a essa pressão. Obviamente, esses valores podem variar dependendo do critério do fabricante do compressor.

Com isso, prosseguimos:

$$2.068{,}4\ kPa\ (300\ psig) = 2.413{,}2\ kPa\ (350\ psig) - diferencial$$

Resolvendo: $Diferencial = 2.413{,}2\ kPa\ (350\ psi) - 2.068{,}4\ kPa\ (300\ psig)$

$$Diferencial = 344{,}8\ kPa\ (50\ psig)$$

Observação:

O valor de ativação foi declarado com base na pressão de condensação, que é 2.324,24 kPa (337,1 psig), e por querermos que o compressor entre em operação a aproximadamente 275,8 kPa (40 psig) de diferença em relação a essa pressão. Obviamente, esses valores devem ser selecionados considerando-se as características do produto/processo e o alcance do dispositivo.

16.8.7 Válvulas de segurança de alívio — dispositivos de alívio de pressão para sistemas de refrigeração

Dispositivos de segurança de alívio de fluidos refrigerantes evitam que a pressão excessiva em um vaso suba além de um limite seguro em aplicações de AVAC-R no caso de os controles operacionais falharem ou quando o vaso for exposto a calor excessivo. Há três tipos gerais de dispositivos de alívio de pressão comumente usados.

Válvulas de alívio de pressão (veja a Figura 154) são acionadas por pressão e mantidas fechadas por uma mola ou outros meios e são projetadas para se abrirem automaticamente para outra parte do sistema ou para a atmosfera a uma pressão predeterminada. O fluido refrigerante é liberado a uma taxa controlada e uma pressão segura é mantida no vaso.

Discos de ruptura ou rompimento (veja a Figura 155) são discos projetados para se quebrarem em pressões predeterminadas.

O **plugue fusível** (veja a Figura 156) contém uma membrana que se derrete a uma temperatura predeterminada correspondendo à pressão de saturação segura do fluido refrigerante.

Válvulas de segurança genéricas são "dependentes de contrapressão" e, assim, precisam fazer a descarga para a atmosfera. As válvulas de segurança de alívio de pressão fazem a descarga para uma parte do sistema de refrigeração com pressão menor ou em um vaso de expansão, se ativadas. Esse tipo de aplicação de válvula de segurança não libera fluido refrigerante para a atmosfera e deve ser o preferido.

As válvulas de segurança originais em condição de fábrica recebem uma "aprovação de terceiros", por exemplo, uma aprovação da TÜV, e são certificadas por um relatório de aceitação. Não é permitido abrir as válvulas ou ajustar a força da mola. Se isso for feito, a aprovação será anulada.

Atenção:

Quando o vaso de pressão contendo o fluido refrigerante líquido for isolado de outras partes do sistema, um aumento na temperatura, por exemplo, causado por fogo, provocará aumento na pressão. Se o vaso estiver completamente cheio de líquido, um pequeno aumento na temperatura causará um aumento excessivo e rápido na pressão devido à expansão do líquido.

Se o vaso contiver líquido e vapor, o que é normal para tanques de líquido, a pressão subirá de acordo com as características de saturação de temperatura-pressão do fluido refrigerante. Se a densidade da mistura de líquido e vapor no vaso exceder a densidade crítica do fluido refrigerante, um aumento na temperatura causará um aumento na porcentagem do líquido no vaso até o vaso ficar completamente cheio de líquido.

Um pequeno aumento na temperatura além desse ponto novamente resultará em um aumento excessivo e rápido na pressão.

Instalação:

As válvulas de segurança devem ser instaladas sempre em uma posição de eixo vertical. Elas devem ser removidas antes do teste de pressão do sistema e trocadas com flanges cegos, além de serem reinstaladas somente após a conclusão do teste.

Para instalações maiores, é recomendado instalar separador de óleo facilmente visível e controlável com visor de líquido na linha de descarga de cada válvula de segurança. Isso permite uma verificação constante de vazamentos (bolhas de gás no óleo) e evita condensação e ferrugem no eixo da válvula.

Para vasos de pressão (por exemplo, tanque de líquido) que não podem ser esvaziados, é recomendado usar uma combinação de válvula de retenção com duas válvulas de segurança. Usando-se uma combinação de válvula de retenção, o sistema permanece operacional mesmo durante o teste e o reparo de uma válvula de segurança por meio da segunda válvula de segurança.

Atenção:

Não deve haver dispositivos de fechamento entre a válvula de segurança e a parte do sistema a ser protegida.

Figura 154 — Exemplo de válvula de segurança (dispositivo de alívio de pressão) Fonte: Rolf Huehren.	Válvulas de segurança usadas em aplicações de AVAC-R precisam atender a demandas altas em termos de confiabilidade e redução de emissões. Estanqueidade e estabilidade funcional são as características mais importantes.
Figura 155 — Exemplo de um disco de ruptura ou rompimento Fonte: Rolf Huehren.	Um disco de ruptura é um dispositivo de alívio de pressão não resselável usado para proteger tubulações, vasos de pressão e outros componentes, que contenham pressão contra sobrepressão.
Figura 156 — Exemplo de plugue fusível Fonte: Rolf Huehren.	Um plugue fusível é um cilindro de metal com rosca geralmente de bronze, com um orifício cônico atravessando seu comprimento. Esse orifício é vedado com um metal cujo ponto de fusão é tal que ele derrete se uma temperatura (pressão) alta pré-determinada for atingida.

16.8.8 Determinação da pressão máxima permitida para sistemas de AVAC-R

Para determinar a pressão máxima permitida, os seguintes fatores devem ser levados em conta:

- A temperatura ambiente máxima;
- A acumulação possível de gases não condensáveis;
- A configuração de quaisquer dispositivos de alívio de pressão;
- O método de degelo;
- A aplicação (por exemplo, resfriamento ou aquecimento);
- A radiação solar (por exemplo, o impacto em pistas de gelo durante períodos sem uso);
- O acúmulo de sujeira; e
- As condições de transporte.

Todos os componentes selecionados para instalação do circuito de refrigeração devem ser adequados para as respectivas faixas de temperatura e pressão. O sistema de refrigeração deve ser equipado com portas de acesso de serviço suficientes conforme exigido pela aplicação. Para determinar a pressão máxima permitida (PS) para as várias partes do sistema de refrigeração, use uma destas abordagens:

- Documente a determinação da pressão máxima permitida com a maior precisão possível fazendo cálculos ou testes; e
- Se não for usar nenhum procedimento de verificação específico, aplique as temperaturas especificadas no projeto (veja a Tabela 50).

A Tabela 50 mostra as temperaturas de saturação dos fluidos refrigerantes correspondentes às pressões máximas permitidas nos lados de alta e baixa pressão do sistema.

Tabela 50 — As temperaturas de projeto em relação à temperatura ambiente para sistemas de AVAC-R

Condições do ambiente	Temperatura especificada no projeto			
	≤ 32 °C máx. no ambiente	≤ 38 °C máx. no ambiente	≤ 43 °C máx. no ambiente	≤ 55 °C máx. no ambiente
Lado de alta pressão com condensador refrigerado a ar	55 °C	59 °C	63 °C	67 °C
Lado de alta pressão com condensador refrigerado a água ou bomba de calor para aquecimento de água	8 K acima da temperatura da água saindo, mas não inferior à temperatura de projeto no lado de baixa pressão			
Lado de alta pressão com condensador resfriado por evaporação	43 °C	43 °C	43 °C	55 °C
Lado de baixa pressão com trocador de calor exposto à temperatura ambiente, ao ar livre	32 °C	38 °C	43 °C	55 °C
Lado de baixa pressão com trocador de calor exposto à temperatura ambiente, em ambiente interno	27 °C	33 °C	38 °C	38 °C

Fonte: EN 378 e ISO 5149 e ABNT NBR ISO 5149.

Observação 1:

Para o lado de alta pressão, as temperaturas especificadas são consideradas as máximas que ocorrerão durante a operação. Essa temperatura é maior do que a temperatura durante o desligamento do compressor (ociosidade). Para o lado de baixa pressão e/ou pressão intermediária, é suficiente basear o cálculo da pressão na temperatura esperada durante o período de ociosidade do compressor. Essas temperaturas são temperaturas mínimas e, assim, determinam que o sistema não foi projetado para uma pressão máxima permitida menor do que a pressão de fluido refrigerante saturado correspondente a essas temperaturas mínimas.

Observação 2:

Para misturas zeotrópicas, a pressão máxima permitida (PS) é a pressão no ponto de bolha.

Observação 3:

A pressão na qual o sistema ou parte do sistema geralmente opera é menor do que a pressão máxima permitida PS.

Observação 4:

As pulsações do gás podem resultar em excesso de estresse no sistema.

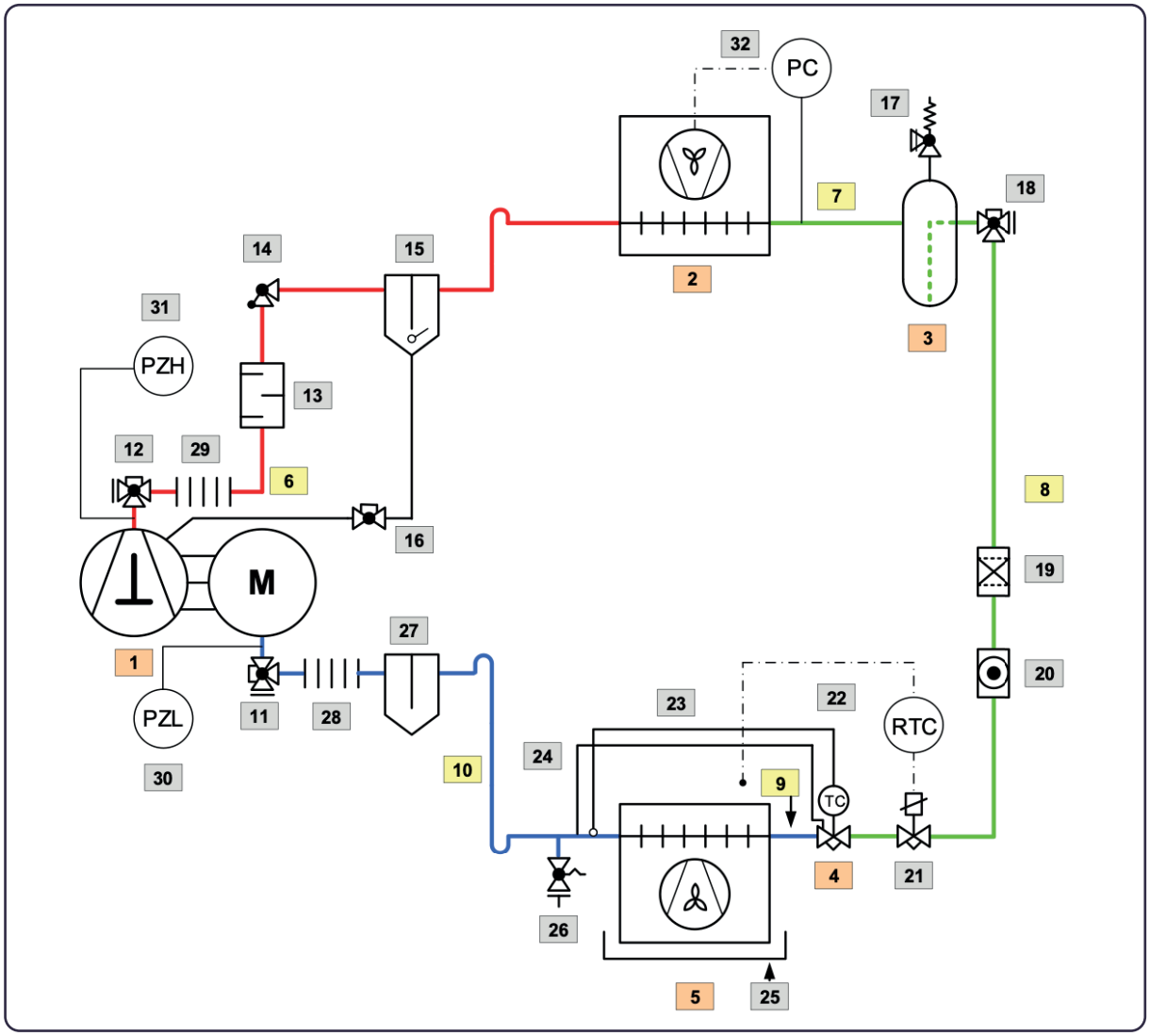
Observação 5:

Para se determinarem as condições do ambiente, pode-se usar a EN 60721—2-1.

16.8.9 Diagrama de instalação de tubulação incluindo pressostatos de segurança para limitação de alta e baixa pressões

A Figura 157 mostra um diagrama de tubulação e instrumentação (PID) de um sistema de refrigeração comercial genérico equipado com pressostatos de segurança para limitação de baixa (30) e alta (31) pressões e uma válvula de segurança de alívio de pressão (17).

Figura 157 — Exemplo de sistema de refrigeração genérico incluindo dispositivos limitadores de pressão de segurança



(*Continuação*)

Nº	Designação	Nº	Designação	Nº	Designação
1	Compressor semi-hermético	12	Válvula rotalock HP	23	Bulbo e sensor TXV
2	Condensador	13	Amortecedor	24	Equalizador da pressão externa
3	Tanque de líquido	14	Válvula de retenção	25	Bandeja do condensado
4	Válvula de expansão (TXV)	15	Separador de óleo	26	Conexão da porta de serviço
5	Evaporador	16	Válvula de passagem do retorno de óleo	27	Acumulador de líquido
6	Linha de descarga	17	Válvula de segurança	28	Eliminador de vibração
7	Linha do condensado	18	Válvula rotalock do tanque de líquido	29	Eliminador de vibração
8	Linha de líquido	19	Filtro secador	30	**Pressostato de segurança de limitação de pressão LP**
9	Linha de injeção	20	Visor de líquido	31	**Pressostato de segurança de limitação de pressão HP**
10	Linha de sucção	21	Válvula solenoide	32	**Controle da velocidade do ventilador do condensador**
11	Válvula rotalock LP	22	Controle de temperatura		

Fonte: Rolf Huehren.

16.9 Documentação

Todas as etiquetas e documentação necessárias devem estar no lugar certo, de modo que, após a instalação ser concluída e comissionada, todas as instruções necessárias estejam disponíveis para garantir que qualquer pessoa se aproximando da planta fique completamente ciente dos riscos e da conduta apropriada:

- Sinalizações na carcaça e nos componentes dos equipamentos, incluindo avisos de “gás inflamável”, “leia as instruções”, “não remova”, “nenhuma fonte de ignição”, “somente acesso autorizado” e outros, conforme necessário; e
- Manuais de instruções para operações e manuseio, fichas de dados de segurança, fichas de manutenção, diretrizes de segurança no trabalho, entre outros.

A norma EN 378-2 / ISO 5149-2 / ABNT NBR ISO 5149-2 exige a seguinte documentação:

- Especificação de componentes do sistema (em caso de sistemas maiores), por exemplo, certificados, pressão e temperatura máximas permitidas, informações do fluido refrigerante e óleo a serem usados;
- Documentação de que a instalação e o comissionamento foram conduzidos de acordo com os requisitos do projeto e dos ajustes/configurações que foram feitos. Se um relatório de inspeção visual tiver sido gerado, ele deve ser incluído;
- Manual de instruções em um idioma que seja entendido no local;
- Informações no local, como detalhes de contato do instalador e do operador, pressões do sistema, informações sobre o fluido refrigerante, como inflamabilidade/toxidade. Isso deve permitir que qualquer pessoa reaja de acordo no caso de emergência;
- Especialmente no caso de sistemas mais complicados, os desenhos devem ficar disponíveis no local, de modo que toda peça e sua função possam ser facilmente identificadas;
- A norma exige livros de registro para sistemas com cargas de 3 kg de fluido refrigerante ou mais; e
- Toda manutenção e todo reparo, bem como trocas de componentes, devem ser registrados. Todo processo de troca de fluido refrigerante deve ser incluído também.

Um relatório de inspeção visual poderia incluir, por exemplo, as seguintes informações e dúvidas:

- Descrição do sistema de AVAC-R e número de série de sistemas/componentes;
- Tipo e quantidade de fluido refrigerante;
- Informações e contato do operador do sistema;

- Informações sobre as condições no momento do comissionamento, por exemplo, se há danos, impactos, marcas, lascas, riscos, corrosão, com a descrição delas;
- No funcionamento normal da unidade, observam-se vibrações? Quais?
- Todos os componentes estão como especificados nos desenhos do projeto?
- Condição de todas as conexões e válvulas: estão todas estanques e limpas / sem óleo?
- Todos os dispositivos de segurança estão como especificados e configurados corretamente?
- Todos os suportes e fixações estão fixados adequadamente?
- Todas as juntas estão estanques? Quais são os resultados da verificação final de vazamento?
- A instalação está protegida contra danos mecânicos?
- Há pontos acessíveis para manutenção?
- A documentação corresponde à instalação?
- Os manuais de operação e manutenção estão completos e disponíveis em um idioma adequado?

16.10 Teste final do sistema e "relatório de entrega"

Verificações e testes finais de componentes, componentes elétricos e de estanqueidade devem ser conduzidos antes que o sistema de AVAC-R seja entregue ao usuário final (veja o Anexo 8). As verificações finais também devem incluir uma breve descrição para *start-up* e desligamento do sistema e sua documentação adequada. Isso pode ser importante no caso de emergências, por exemplo.

16.10.1 Verificação de funcionalidade dos componentes do circuito de refrigeração e equipamentos elétricos

Os diferentes projetos e execuções dos sistemas de refrigeração exigem diferentes níveis de verificações de funcionalidade. Formulários complementares, como "registros de teste e fichas de dados de *start-up*" dão embasamento aos testes do sistema. Este manual contém exemplos feitos para aparelhos de ar condicionado do tipo split e sistemas mais abrangentes, incluindo aplicações inerentemente seguras, como:

1. Ficha de dados de *start-up* para ar condicionado do tipo split — Manutenção e reparo (ver Anexo 9);
2. Registro de teste do circuito de refrigeração (ver Anexo 10); e
3. Registro de consumo de corrente e teste de resistência do isolamento do motor (ver Anexo 11).

16.10.2 Procedimento de teste genérico para instalação, modificação ou reparo

Os testes de máquinas elétricas (por exemplo, sistemas de AVAC-R) e seus componentes sempre ocorrem de acordo com a norma de produto da máquina, que especifica o escopo exato dos testes. Se não houver essa norma, as seguintes etapas de testes devem ser realizadas em qualquer caso de acordo com a EN 60204-1:2014 (DIN VDE 0113 > Segurança do maquinário — Equipamento elétrico das máquinas — Parte 1: Requisitos gerais).

Processo de exame:

O profissional capacitado deve verificar se o material elétrico está de acordo com a documentação. Detalhes como tipo de dispositivo, número de série, fabricante ou similar devem ser documentados.

Defeitos externos:

A inspeção do equipamento passa por quaisquer defeitos óbvios, como danos aos fios das conexões, plugues, sinais visíveis de sobrecarga, possível intervenção manual, presença de tampas protetoras, uso correto de fusíveis, etc.

Desligamento automático:

Se o equipamento tiver uma função de desligamento automático, ela deve ser verificada.

Teste de continuidade do sistema de aterramento protetor:

Use um instrumento de medição que ofereça, pelo menos, 0,2 A de corrente de medição. A resistência medida deve estar dentro do intervalo esperado de acordo com o comprimento, a seção transversal e o material do condutor de aterramento protetor correspondente.

16.10.3 Teste de resistência do isolamento

A resistência do isolamento não deve ser inferior a 1 MΩ. Apesar de determinadas partes da máquina poderem ter um valor menor, ele não pode ser inferior a 50 kΩ.

Atenção:

Não use um medidor de resistência do isolamento em uma atmosfera perigosa ou explosiva, pois o instrumento pode gerar faísca em isolamentos danificados (inertização necessária).

Fatores que afetam a resistência do isolamento e a vida útil do compressor

- Falha ao secar (evacuar) adequadamente um sistema:
  - A hidrólise da umidade com fluido refrigerante pode resultar em ácido fluorídrico;
  - O ácido fluorídrico pode corroer o isolamento do enrolamento do motor;
  - O ácido pode erodir o cobre das paredes da tubulação. Esse cobre é condutor e reduz a força dielétrica (não condutora) do óleo. Também podem aparecer revestimentos de cobre nos rolamentos do motor e contribuir eventualmente para problemas de partida, amperagens operacionais maiores ou travamentos do rotor; e
  - A umidade na presença de lubrificantes POE será absorvida.
- Falha em alargar a tubulação antes da montagem:
  - Isso pode resultar em raspas de cobre no óleo do compressor. O cobre é condutor e reduz a capacidade dielétrica do óleo.

- Falha ao deslocar o oxigênio com um gás inerte, como o nitrogênio ou argônio, durante o processo de brasagem:
    - Os óxidos de cobre são condutores e reduzem a capacidade dielétrica do óleo.
- Vazamentos de fluido refrigerante:
    - Uma baixa carga de fluido refrigerante resulta em temperaturas operacionais elevadas do motor e causa estresse no isolamento do enrolamento do motor.

Documentação dos resultados do teste

Os resultados do teste devem ser documentados. Para esse fim, deve ser usado o relatório de teste fornecido com as instruções de trabalho (ver Anexo 11).

16.11 Troca do tipo de fluido refrigerante

A disponibilidade de fluidos refrigerantes CFCs, HCFCs e HFC é limitada, e regulamentações e tratados ambientais internacionais, bem como requisitos de manter registros e controles recorrentes de estanqueidade de sistemas de RAC, enfatizam ainda mais a necessidade de uma abordagem focada nos planos de gerenciamento de fluido refrigerante e no uso controlado de tais substâncias. Após o fluido refrigerante alternativo ter sido escolhido, a implementação dessa nova opção de fluido fica melhor se conduzida de maneira metódica e organizada.

Tendo em mente que cada sistema tem condições operacionais únicas, as seguintes considerações gerais aplicam-se quando se trata de troca do tipo de fluido refrigerante:

- É importante lembrar que todas as práticas atuais para a manutenção do sistema de refrigeração também se aplicam aos fluidos refrigerantes alternativos;
- Deve-se observar que sistemas ou dispositivos de refrigeração funcionado adequadamente não devem ter seu fluido refrigerante trocado até que haja necessidade de abrir o sistema para reparos;
- Sistemas estanques e funcionando adequadamente podem ser operados até o final da sua vida útil econômica, se não houver motivo legal para troca antecipada do fluido refrigerante;
- Para sistemas de RAC mais antigos, pode haver melhor custo-benefício em trocar todo o sistema em vez de mudar o tipo de fluido refrigerante. Mais do que isso, o novo equipamento terá uma eficiência energética melhor;
- As atividades projetadas de troca de fluido refrigerante envolvem vários esforços e custos:
  - Custo do novo fluido refrigerante escolhido;
  - Custo da troca do óleo lubrificante;

- Custo da mão de obra; e
- Custo dos componentes que precisam ser mudados.

- Em relação ao cálculo de custo, a questão da troca do lubrificante relacionada à escolha do fluido refrigerante pode ter um papel significativo. Sistemas de refrigeração ou ar condicionado com tubulação extensa e/ou muitos evaporadores e acessórios, como separadores de óleo e acumuladores de líquido devem passar por um *flushing* completo para eliminar/controlar a contaminação por óleo;

- Geralmente, os fluidos refrigerantes substitutos devem ser similares em termos de compatibilidade do material com os fluidos refrigerantes que estão sendo substituídos. Entretanto, a aprovação do respectivo fabricante de um novo fluido refrigerante deve ser observada para cada componente usado em um sistema de refrigeração;

- Os fluidos refrigerantes substitutos são geralmente misturas e não podem "simplesmente aparecer" no sistema, de modo que o fluido a ser substituído precisa ser completamente removido do sistema durante uma troca. Para remover os resíduos da desgaseificação dos fluidos refrigerantes, recomenda-se fazer *flushing* e esvaziar completamente o sistema e fazer a(s) troca(s) de óleo;

- Uma boa oportunidade é fazer um procedimento de *retrofit* junto à manutenção regular programada de um sistema de AVAC-R;

- Com a mudança, as pressões operacionais e, dependendo das condições operacionais e do projeto do sistema, a capacidade frigorífica também podem mudar;

- Antes de mudar o tipo de fluido refrigerante de um sistema de refrigeração, é necessário determinar a condição atual. Quaisquer vazamentos (verifique os vazamentos!) e deficiências funcionais devem ser eliminados; e

- Sistemas projetados para fluidos refrigerantes A1 não inflamáveis não devem ser convertidos para qualquer fluido refrigerante inflamável (A2, A2L ou A3).

16.11.1 Categorias de troca de fluidos refrigerantes

A modificação ou upgrade de sistemas e equipamentos de AVAC-R já existentes costuma ser chamada de "*retrofit*". Para a aplicação em sistemas de AVAC-R, as seguintes definições e categorias de troca costumam ser aplicadas:

16.11.1.1 *Retrofit* de substituição imediata "*drop-in*"

Mudança para um fluido refrigerante alternativo sem nenhuma modificação no sistema de refrigeração. Pode ser necessário substituir óleo lubrificante mineral por poliolléster (POE) / polialquilenoglicol (PAG) depois de um *flushing* completo do sistema usando OFDN e depois carregar a quantidade apropriada de fluido refrigerante utilizado como "*drop-in*".

16.11.1.2 *Retrofit* simples/econômico

Mudança para um fluido refrigerante alternativo que só exija a troca de algumas peças incompatíveis, como gaxetas, O-rings e filtros secadores. Em alguns casos, os *retrofits* simples podem resultar em ligeira diminuição da eficiência, da capacidade, ou de ambas.

16.11.1.3 Otimização do sistema ou *retrofit* projetado

Mudança para um fluido refrigerante alternativo que inclui a substituição dos principais componentes do sistema, como compressor, trocadores de calor, dispositivos de expansão, etc. por componentes novos que foram projetados especificamente para o fluido refrigerante alternativo.

16.11.1.4 Conversão

Em determinadas circunstâncias, pode haver interesse em converter um sistema de RAC com fluido refrigerante não inflamável (A1) para usar HCs (A3) ou outros fluidos refrigerantes inflamáveis (A2/A2L). Essa abordagem pode ser considerada por uma série de motivos, dentre eles:

1. Desejo de aumentar a eficiência do sistema;
2. Reduzir o impacto ambiental;
3. Pode ser uma solução com melhor relação custo-benefício do que usar outras opções de fluidos refrigerantes; e
4. Indisponibilidade de usar outros fluidos refrigerantes como substitutos.

Entretanto, se o sistema de refrigeração já existente estiver funcionando adequadamente e em condição de estanqueidade, em geral não há necessidade de mudar o sistema para usar algum fluido refrigerante alternativo.

Atenção:

Considerando que a conversão para um fluido refrigerante inflamável representa uma mudança significativa do sistema, deve-se entender que a conversão só pode ocorrer se o produto final atender às exigências das normas relevantes de segurança e dos regulamentos nacionais.

16.11.2 Projeto e planejamento de mudança para outro fluido refrigerante

O procedimento a seguir deve ser plenamente entendido e realizado para a troca do tipo de fluido refrigerante (*drop-in*, *retrofit* e conversão).

Quando for mudar o sistema de refrigeração para um fluido refrigerante diferente, deve-se fazer o projeto, o planejamento e a execução conforme as exigências relevantes das normas EN 378 ou ISO 5149/ ABNT NBR ISO 5149.

Um projeto/planejamento prévio deve ser elaborado antes da mudança para outro fluido refrigerante. Ele deve incluir pelo menos as seguintes atividades:

1. Verificar se o sistema de refrigeração e respectivos componentes são adequados para a mudança;
2. Inspecionar todo o material usado no sistema de refrigeração para garantir que seja compatível com o novo fluido refrigerante;
3. Verificar se o lubrificante usado é adequado para o novo fluido refrigerante;
4. Confirmar se a pressão máxima permitida (PS) do sistema não foi ultrapassada;
5. Confirmar se a capacidade de liberação necessária da válvula de segurança de alívio de pressão é adequada para o novo fluido refrigerante;
6. Confirmar se a corrente nominal do motor e do mecanismo de distribuição é adequada para o novo fluido refrigerante;
7. Confirmar se o tanque de líquido tem o tamanho suficiente para o novo fluido refrigerante; e
8. Se o novo fluido refrigerante tiver uma classificação de segurança diferente, leve em consideração as consequências da mudança de classificação.

Atenção:

Obtenha orientações sobre a adequação de troca de fluido refrigerante no equipamento junto ao fabricante do equipamento original, fabricante do novo fluido refrigerante ou fabricante do lubrificante, conforme apropriado.

A mudança para outro fluido refrigerante inclui pelo menos as atividades a seguir:

1. Registre todos os parâmetros operacionais do equipamento para determinar o desempenho básico;
2. Resolva os problemas identificados em (1);
3. Faça um teste de vazamento e providencie os reparos necessários (vedações, gaxetas, juntas, etc.);
4. Recolha o fluido refrigerante inicial;
5. Drene o lubrificante;
6. Confira se o lubrificante está em boas condições. Se não estiver, tire o lubrificante remanescente do sistema;
7. Substitua as conexões, vedações, indicadores, dispositivos de controle, filtros, filtros de óleo, secadores e válvulas de alívio de pressão, conforme necessário;
8. Esvazie o sistema com vácuo profundo de cerca de 200 a 500 mícrons;
9. Encha com lubrificante;
10. Realize a carga de fluido refrigerante;
11. Ajuste a pressão, a temperatura e outros dispositivos de monitoramento e controle, incluindo modificações no *software*, se necessário;

12 Faça as modificações apropriadas de todos os dados em relação ao novo fluido refrigerante usado, incluindo livro de registro do sistema e dados de campo;

13 Faça um teste de vazamento completo e reparos nas juntas e gaxetas, conforme necessário; e

14 Registre o conjunto completo de parâmetros operacionais do equipamento para comparar com o desempenho básico.

Atenção:

Considerando que a conversão de um fluido refrigerante inflamável representa uma mudança significativa do sistema, deve-se entender que a conversão só pode ocorrer se o produto final atender às exigências dos padrões relevantes de segurança e dos regulamentos nacionais.

Tabela 51 - Exemplo de folha de dados de troca de fluido refrigerante e etiqueta

Troca de fluido refrigerante no sistema de refrigeração - folha de dados			
Nome da empresa prestadora de serviços			
Endereço			
Nº telefone e fax			
Nº registro			
Nome do cliente			
Endereço			
Nº telefone e fax			
Nome da pessoa de contato			
Dados da instalação / aparelho			
Tipo de instalação		Fabricante	
Modelo e nº		Nº série	
Tipo de compressor		Fabricante	
Modelo e nº		Nº série	

(Continuação)

Troca de fluido refrigerante no sistema de refrigeração - folha de dados			
Dados operacionais			
Antigo		**Novo**	
Tipo de fluido refrigerante		Tipo de fluido refrigerante	
Carga do fluido refrigerante		Carga do fluido refrigerante	
Tipo de lubrificante		Tipo de lubrificante	
Carga do lubrificante		Carga do lubrificante	
Pressão de sucção		Pressão de sucção	
Pressão de descarga		Pressão de descarga	
Temp. linha sucção		Temp. linha sucção	
Temp. linha descarga		Temp. linha descarga	
Temperatura ambiente		Temperatura ambiente	
Temp. sala / Temp. média		Temp. sala / Temp. média	
Corte LP		Corte LP	
Corte HP		Corte HP	
Dados elétricos			
Fonte de alimentação (tensão)		Fonte de alimentação (tensão)	
Consumo de corrente compressor		Consumo de corrente compressor	
Outros dados de instalação			
Diâmetro linha descarga		Comprimento linha descarga	
Diâmetro linha de líquido		Comprimento linha de líquido	
Diâmetro linha sucção		Comprimento linha sucção	
Linha sucção isolamento		Diferença de altitude compressor/evaporador	
Tipo de condensador		Tipo de evaporador	
Tipo de filtro secador		Tipo de dispositivo de segurança	
Assinatura do profissional	Data	Assinatura do cliente	Data

Fonte: Rolf Huehren.

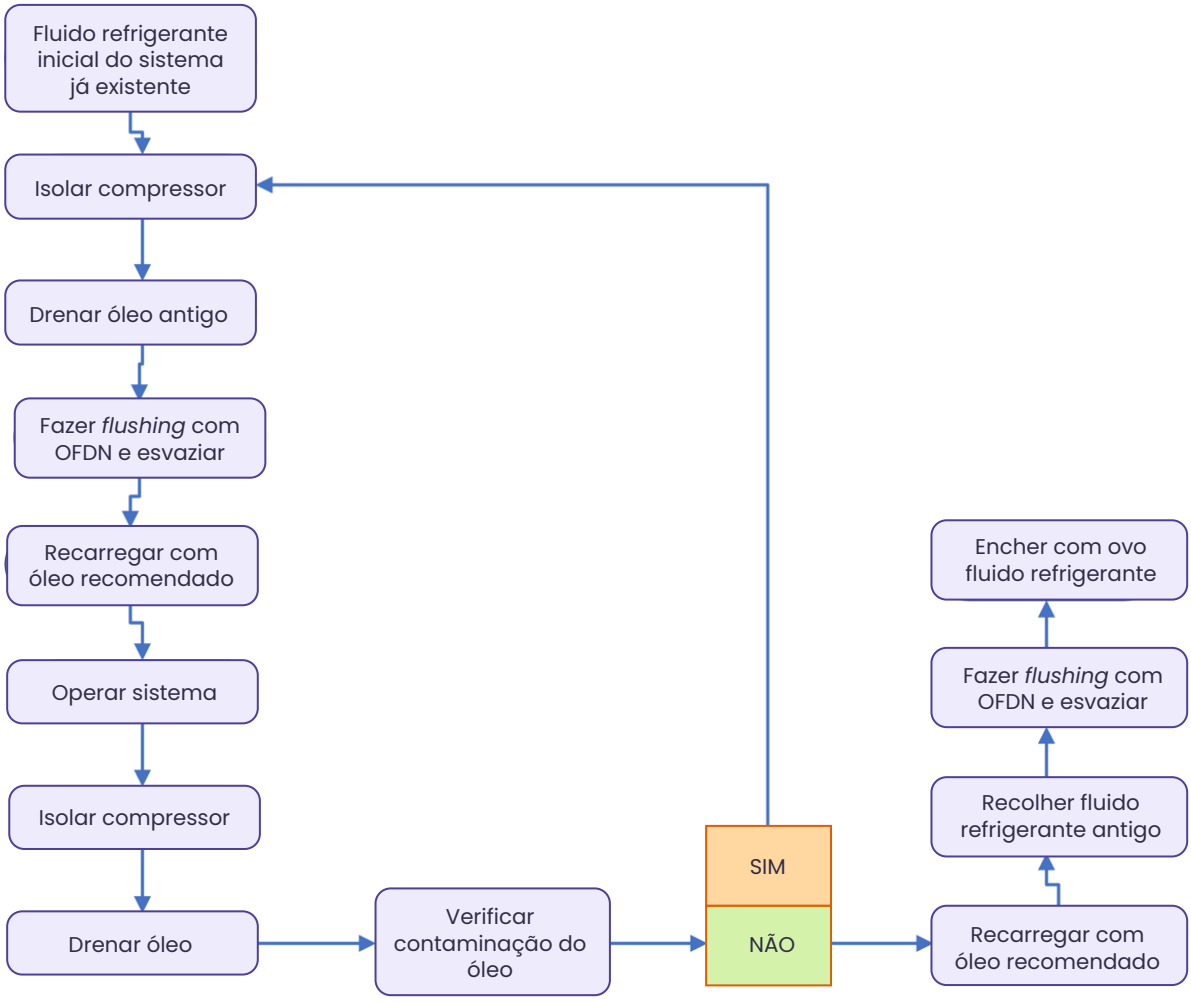
Tabela 52 — Exemplo de etiqueta de troca de fluido refrigerante no equipamento

Etiqueta do equipamento — Troca de fluido refrigerante	
Empresa	
Nome do profissional	
Endereço	
Nº telefone e fax	
Nº registro	
O sistema mudou para o tipo de fluido refrigerante _____ **Este sistema deve ser usado somente com o fluido refrigerante atribuído e o lubrificante prescrito**	
Carga do fluido refrigerante	
Tipo de lubrificante	
Carga do lubrificante	
Fluido refrigerante modificado por:	
Data:	
Assinatura:	

Fonte: Rolf Huehren.

Um fluxograma do processo para a troca do tipo de fluido refrigerante pode ser visto na Figura 158.

Figura 158 — Fluxograma mostrando a troca do tipo de fluido refrigerante



Fonte: Rolf Huehren.

17
Serviço e manutenção

17. Serviço e manutenção

Durante o trabalho de manutenção, o empregador/operador deve se assegurar de que sejam tomadas todas as providências para evitar a formação de uma atmosfera explosiva perigosa. Além disso, os profissionais envolvidos em trabalhos de manutenção devem ser informados sobre riscos potenciais de explosão e as medidas de proteção necessárias antes do início do trabalho.

Durante a manutenção de sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes inflamáveis, deve-se sempre esperar uma atmosfera explosiva perigosa, tanto no entorno imediato da área de atividade quanto dentro do sistema.

Detalhes sobre o local, o início do trabalho, a duração e o escopo das medidas de proteção necessárias devem ser registrados por escrito em uma instrução de trabalho antes do início das atividades. Para simplificar o processo, deve ser fornecida às pessoas envolvidas uma lista de verificação, que servirá de base para conferir determinadas providências.

A avaliação de risco de explosão deve ser realizada pelo empregador/operador independentemente da questão de saber se existem fontes de ignição ou se elas podem ocorrer.

Para que ocorram explosões com efeitos perigosos, três pré-condições devem ser atendidas ao mesmo tempo:

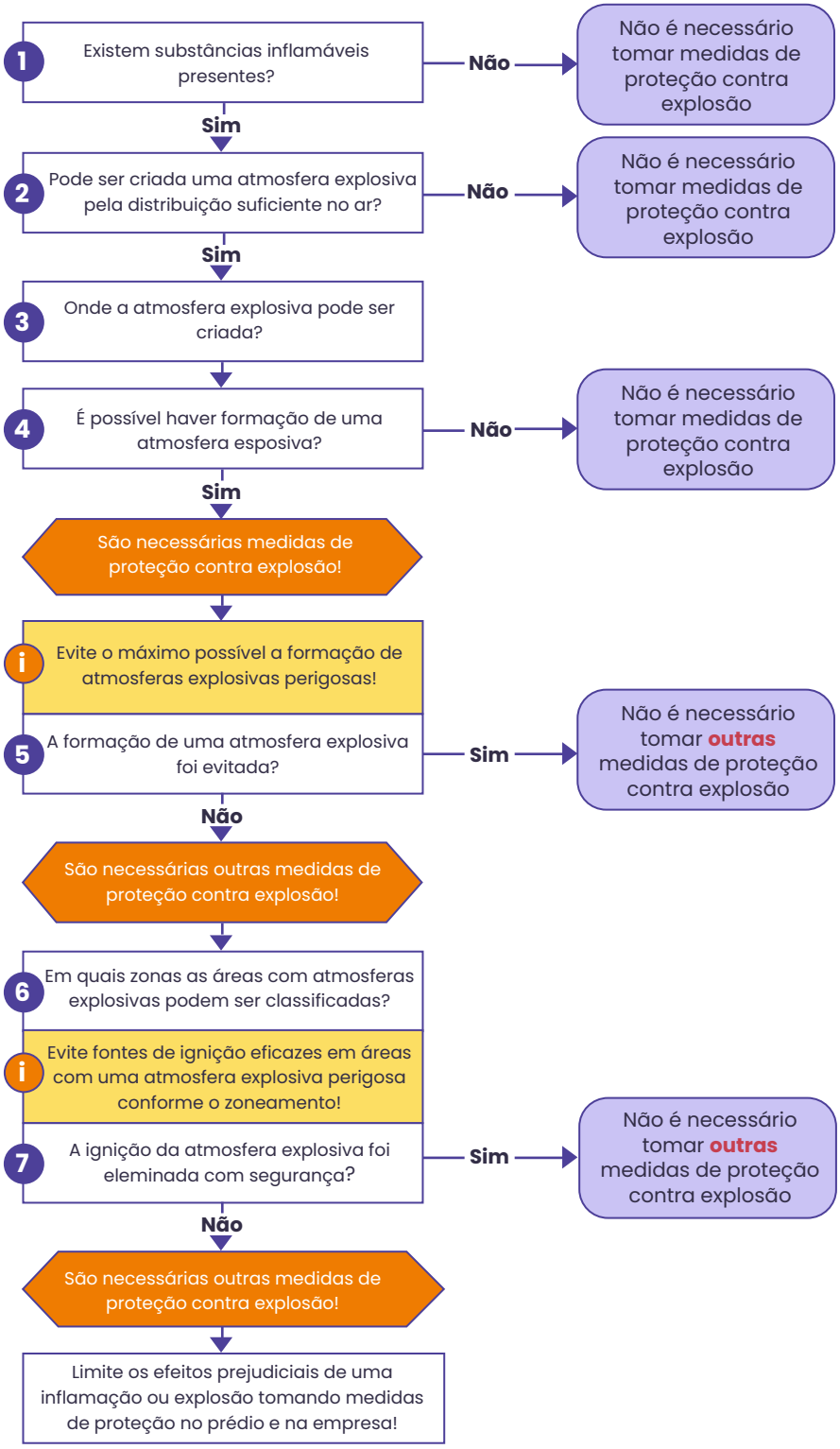
1. Concentração de substâncias combustíveis no ar dentro dos limites de explosão;
2. Quantidades potencialmente perigosas de atmosfera explosiva; e
3. Fonte de ignição eficaz.

Para avaliar se esses pré-requisitos estão presentes, deve ser feita a avaliação de risco de explosão com base em sete etapas, como mostrado na Figura 159. Os critérios de decisão para cada subcapítulo especificado

estão explicados em mais detalhes. As questões de 1 a 7 são uma verificação básica para saber se existe risco de explosão e se é necessário tomar alguma medida de proteção contra explosão. Se a resposta for sim, as perguntas seguintes devem ser usadas para determinar se as medidas de proteção limitam o risco de explosão a um nível aceitável. Se necessário, essa etapa deve ser repetida em conjunto com uma série de medidas de proteção até que seja encontrada uma solução completa que atenda a todas as exigências. Seja qual for o resultado, é obrigatório produzir um arquivo técnico para documentar todas as considerações e decisões sobre as medidas tomadas para reduzir os riscos.

Como parte do processo de avaliação, deve-se observar que as características relacionadas à segurança da proteção contra explosão costumam se aplicar somente em condições atmosféricas específicas. Sob outras condições atmosféricas, os parâmetros de segurança podem mudar drasticamente.

Figura 159 — Providências tomadas para evitar a formação de uma atmosfera explosiva perigosa



Fontes: TRBS2152 e TRGS720.

A Figura 159 busca uma prevenção "confiável" contra atmosferas explosivas perigosas. A resposta para a pergunta só pode ser "sim" se as providências técnicas e organizacionais já tomadas forem suficientes para que, considerando todas as condições de operação e as falhas razoavelmente previsíveis, não haja expectativa de nenhuma explosão.

Orientações para as perguntas 1 a 7:

Pergunta 1: *Existem substâncias inflamáveis presentes?*

É o caso quando pelo menos uma substância combustível (ex.: fluido refrigerante inflamável) é usada ou pode ser formada durante a operação normal ou mau funcionamento. Em geral, isso se aplica a todas as substâncias classificadas como A2L, A2 ou A3 de acordo com a ABNT NBR 16666, ASHRAE 34, ISO 817 e EN378-1 e rotuladas como inflamáveis conforme a diretriz 1272/2008 EC (PLC/GHS). Todos os hidrocarbonetos, mas também HFCs inflamáveis como R-32 e HFOs se enquadram nessa categoria.

Além disso, gases de combustão como o acetileno e o butano/propano no local de trabalho têm que ser considerados.

Se a resposta for "sim", é necessário considerar melhor possíveis perigos de explosão.

Pergunta 2: *Pode ser criada uma atmosfera explosiva pela distribuição suficiente no ar?*

A questão de uma atmosfera explosiva ser formada na presença de substâncias combustíveis depende da capacidade de ignição da mistura formada em conjunto com o ar. Se for atingido o nível exigido de dispersão e a concentração de substâncias combustíveis no ar estiver dentro dos respectivos limites de explosão, então significa que há uma atmosfera explosiva presente. No caso de substâncias no estado gasoso ou vapor, existe naturalmente um nível suficiente de dispersão. Para gases inflamáveis, observe os limites inferior e superior de inflamabilidade/explosão, determinados pelo intervalo no qual a mistura do gás é inflamável. Tenha ciência de que uma concentração mais alta do que o limite superior pode sempre se diluir em uma mistura inflamável.

Se ocorrerem vazamentos em sistemas de refrigeração com fluidos refrigerantes inflamáveis, o líquido e o gás podem jorrar dependendo do tamanho do vazamento, da sobrepressão e da estabilidade do material, e formar névoas explosivas que podem se tornar vapores explosivos.

Pergunta 3: *Onde a atmosfera explosiva pode ser criada?*

Se houver possibilidade de formação de uma atmosfera explosiva, deve-se determinar onde no local de trabalho ou na fábrica existe possibilidade de limitar o potencial de danos. Para isso, deve-se levar em consideração as propriedades das substâncias e as condições específicas do sistema de AVAC-R e do ambiente. Para gases e vapores, a razão da densidade em relação ao ar é importante (veja também o Capítulo 10.1.2), porque quanto mais pesados os gases e vapores, mais rápido eles vão afundar, misturando-se progressivamente com o ar disponível e remanescente nos fossos, canais e poços.

- A densidade de gases como o R-290 (propano) costuma ser maior do que a densidade do ar. Faixas tendem a cair e se espalhar e podem "rastejar" por longas distâncias, onde podem ser inflamadas;
- Alguns gases têm aproximadamente a mesma densidade do ar, como o acetileno. Como tal, a tendência natural deles de afundar é baixa; e
- Alguns poucos gases são bem mais leves que o ar; ex.: hidrogênio e metano. Eles apresentam uma tendência natural de se misturar com o ar se não forem engarrafados.

Mesmo pequenos movimentos de ar (corrente natural, as pessoas se movimentando ou convecção térmica) podem acelerar significativamente a mistura com o ar.

Outras condições locais e operacionais a serem consideradas:

- Tipo de manuseio dos fluidos refrigerantes inflamáveis durante a carga ou o recolhimento e a ventilação;
- Possibilidade de vazamento de fluidos refrigerantes em válvulas e conexões de tubulação, etc.;

- Ventilação e outras condições espaciais; e
- A presença de substâncias inflamáveis deve ser esperada, em especial em áreas não ventiladas; por exemplo: áreas abaixo do nível térreo, como fossos, canais e poços.

Pergunta 4: *É possível haver formação de uma atmosfera explosiva?*

Se houver atmosfera explosiva em determinadas áreas em quantidades que demandem medidas de proteção especiais para proteger a segurança e a saúde dos trabalhadores, a atmosfera potencialmente explosiva é chamada de atmosfera explosiva perigosa e os locais são classificados como áreas potencialmente explosivas.

Mesmo quantidades pequenas de fluidos refrigerantes inflamáveis podem levar a grandes quantidades de vapores inflamáveis quando evaporam na atmosfera livre. Por exemplo: o R-290 liquefeito (propano).

Atenção:

Um litro de propano líquido representa cerca de 13.000 litros de atmosfera potencialmente explosiva se diluído no estado gasoso com o ar no limite explosivo inferior.

Se tiver sido detectada uma atmosfera potencialmente explosiva, o potencial de atmosfera explosiva perigosa depende do volume de atmosfera explosiva em conjunto com o efeito danoso no caso de ignição. A regra geral, contudo, é pressupor inicialmente que uma grande quantidade de danos está associada a uma explosão.

Exceções a essa regra são possíveis ao lidar com quantidades de fluido refrigerante inflamável após determinação específica da carga máxima de fluido refrigerante e volume mínimo de espaço. O julgamento deve ser feito conforme as condições do local e de operação, para saber se as quantidades esperadas de atmosfera explosiva são perigosas.

Pergunta 5: *A formação de uma atmosfera explosiva foi evitada?*

Em primeiro lugar, deve-se tentar evitar a ocorrência de atmosfera explosiva.

Se for possível que haja formação de uma atmosfera explosiva perigosa, devem ser tomadas as providências possíveis de proteção contra explosão relacionadas a medidas organizacionais. Deve ser verificada a eficácia das medidas de proteção contra explosão. Para esse fim, todos os diferentes estados de operação e problemas de funcionamento devem ser levados em consideração. Apenas se a ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva for evitada com segurança é que não será necessário tomar outras medidas de proteção.

Pergunta 6: *Em quais zonas as áreas com atmosferas explosivas podem ser classificadas (relevantes para fluidos refrigerantes inflamáveis)?*

As atmosferas potencialmente explosivas estão divididas em zonas, de acordo com a frequência e a duração da ocorrência de atmosferas explosivas perigosas. Essa classificação serve de base para determinar as medidas, em especial para evitar a ignição de atmosferas explosivas perigosas. O manuseio de fluidos refrigerantes inflamáveis costuma ocorrer com a entrada no sistema (ex.: conexões do conjunto *manifold*) durante atividades de serviço e manutenção, e as áreas de "conexões temporárias" são classificadas de "Zona 2" (consulte o Capítulo 13.1 para saber mais sobre zoneamento).

Pergunta 7: *A ignição da atmosfera explosiva foi eliminada com segurança?*

Se não for possível eliminar por completo a formação de atmosfera potencialmente explosiva, devem ser tomadas providências para evitar fontes de ignição eficazes. Quanto maior a probabilidade de ocorrência de atmosferas explosivas perigosas, maior deve ser a certeza na hora de evitar fontes de ignição.

18

O “efeito diesel”, combustão por autoignição e explosão

18. O “efeito diesel”, combustão por autoignição e explosão

Esse efeito pode ocorrer durante o recolhimento do fluido refrigerante em “procedimentos de serviço”, recolhimento para unidade externa (parada por recolhimento) do circuito de refrigeração (veja a Figura 162).

18.1 Por que o motor a diesel também é chamado de motor de ignição por compressão (autoignição)?

O motor a diesel também é conhecido como motor de “autoignição”. O motivo: diferente do motor a gasolina, o motor a diesel não injeta uma mistura de combustível-ar. Em vez disso, ar puro é injetado, comprimido de modo tão forte na câmara de combustão que é aquecido até cerca de 700 °C.

Autoignição de um combustível se refere à ignição espontânea de uma mistura de combustível-ar sem uma fonte de ignição, por exemplo: através da compressão no motor. Nos motores a gasolina esse processo não é desejado, mas em motores a diesel isso constitui a base da operação.

Nos motores a diesel, a ignição espontânea dos vapores de um combustível é utilizada. O combustível diesel, que possui temperatura de ignição de cerca de 255 °C, é normalmente utilizado. Essa temperatura pode ser ultrapassada devido à alta taxa de compressão com a qual o ar é comprimido no motor.

Como toda combustão, esse processo requer:

Ignição = combustível + oxigênio + calor

O combustível é o diesel, o oxigênio está presente no ar, e o calor ou aumento de temperatura é criado pelos altos níveis de compressão.

18.2 Qual é a relação com RAC e quando isso pode acontecer durante reparos em equipamentos de RAC?

Em um sistema por compressão de vapor (sistema de RAC), o mesmo efeito pode ocorrer, a ignição espontânea de vapores de óleo lubrificante e ar que entra, provocando a combustão e explosão extrema.

Por exemplo: quando um aparelho de ar condicionado do tipo split é realocado ou descartado, é necessário recolher todo fluido refrigerante do sistema para dentro da unidade externa (condensador), para evitar vazamento de fluido refrigerante na atmosfera. Durante esta operação, o evaporador e o lado de sucção do compressor tornam-se vácuo (veja também as Figuras 160 e 161).

Isso acontece quando o fluido refrigerante é removido da válvula de bloqueio atravessando o evaporador para o lado de sucção do compressor fechando a válvula de bloqueio X2 (linha de injeção ou válvula de expansão termostática) e o compressor continua funcionando temporariamente.

Se entrar ar no lado de sução devido a algum erro de operação (conexão flangeada não suficientemente apertada na sucção na válvula de bloqueio X1 ou na conexão de mangueira flexível no conjunto *manifold*), o óleo lubrificante no compressor pode provocar uma autoignição e uma explosão do diesel (veja a Figura 161).

Sob determinadas condições deficientes não controladas, durante as atividades de serviço descritas, uma mistura de ar e óleo lubrificante poderia queimar espontaneamente. O efeito da combustão seria acelerado com **extremo** aumento de pressão, aumento de temperatura em conjunção com o fluido refrigerante envolvido (ex.: R-134a, R-410A, R-32, R-290, etc.). Deve-se tomar muito cuidado para não realizar atividades de recolhimento para a unidade externa ("*pump-out*") em aparelhos de ar condicionado do tipo split em modo de operação de aquecimento (bomba de calor).

Atenção:

Caso um procedimento de recolhimento para a unidade externa ("*pump-out*") seja seguro de acordo com as circunstâncias aqui descritas, as atividades só devem ser realizadas se o sistema de ar condicionado estiver funcionando no **modo de resfriamento** (se houver uma bomba de calor instalada)!

Antes de realizar o recolhimento para a unidade externa, confira se você sabe a carga total de fluido refrigerante do sistema. De fato, cada sistema deve apresentar uma etiqueta com a carga inicial (fabricante) e a carga adicional no local (devido à extensa tubulação durante a instalação). Se a quantidade total de carga não estiver clara (por exemplo, se for a primeira vez que você vê a instalação e não há registros de serviço ou instalação), sempre suspeite que o sistema pode estar sobrecarregado ou que pode haver ar no circuito de refrigeração (devido a práticas indevidas de serviço). Se for esse o caso, você deve recolher a carga de fluido refrigerante por completo com o uso de uma recolhedora e um cilindro de recolhimento. Fazendo isso, você consegue determinar a carga de fluido refrigerante com o uso de uma balança.

Infelizmente, também durante o recolhimento de fluido refrigerante, o processamento de ar durante a operação continua sendo uma atividade altamente perigosa. Cilindros de recolhimento cheios de ar apresentam implicações de segurança não classificadas. Sempre confira se todas as conexões permanentes e temporárias do circuito de refrigeração estão bem firmes para evitar a entrada de ar!

As novas unidades aperfeiçoadas de ar condicionado (independentemente do tipo de fluido refrigerante) podem ter condensadores do tipo microcanal com volume interno reduzido e receptividade para fluidos refrigerantes. Se você tentar fazer o recolhimento para a unidade externa de um sistema do tipo split em um desses casos, pode acabar acumulando rapidamente pressão e temperatura excessivas. Pressões e temperaturas altas aumentam a probabilidade de uma explosão perigosa, ainda que não haja combustão.

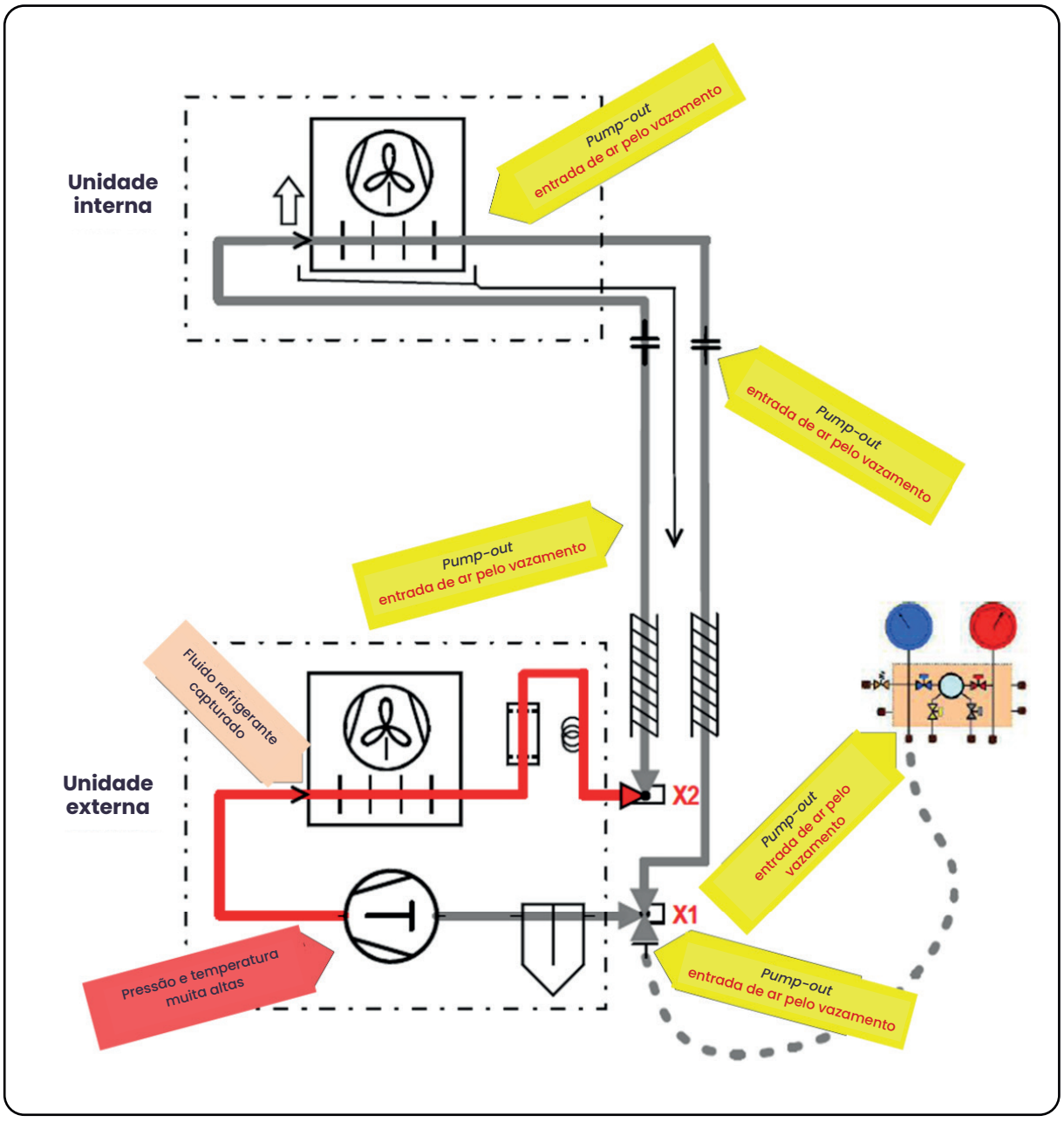
Figura 160 — Suspeita de operação de recolhimento para unidade externa (“*pump-out*”) em aparelho de ar condicionado do tipo split

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 161 — Explosão e combustão rápidas e grandes

Fonte: Rolf Huehren.

Figura 162 — "Efeito diesel" — Recolhimento do circuito de refrigeração para dentro da unidade externa ("*pump-out*"), se houver entrada de ar envolvida



Fonte: Rolf Huehren.

19

Descarte, armazenamento e transporte de cilindros de gás

19. Descarte, armazenamento e transporte de cilindros de gás

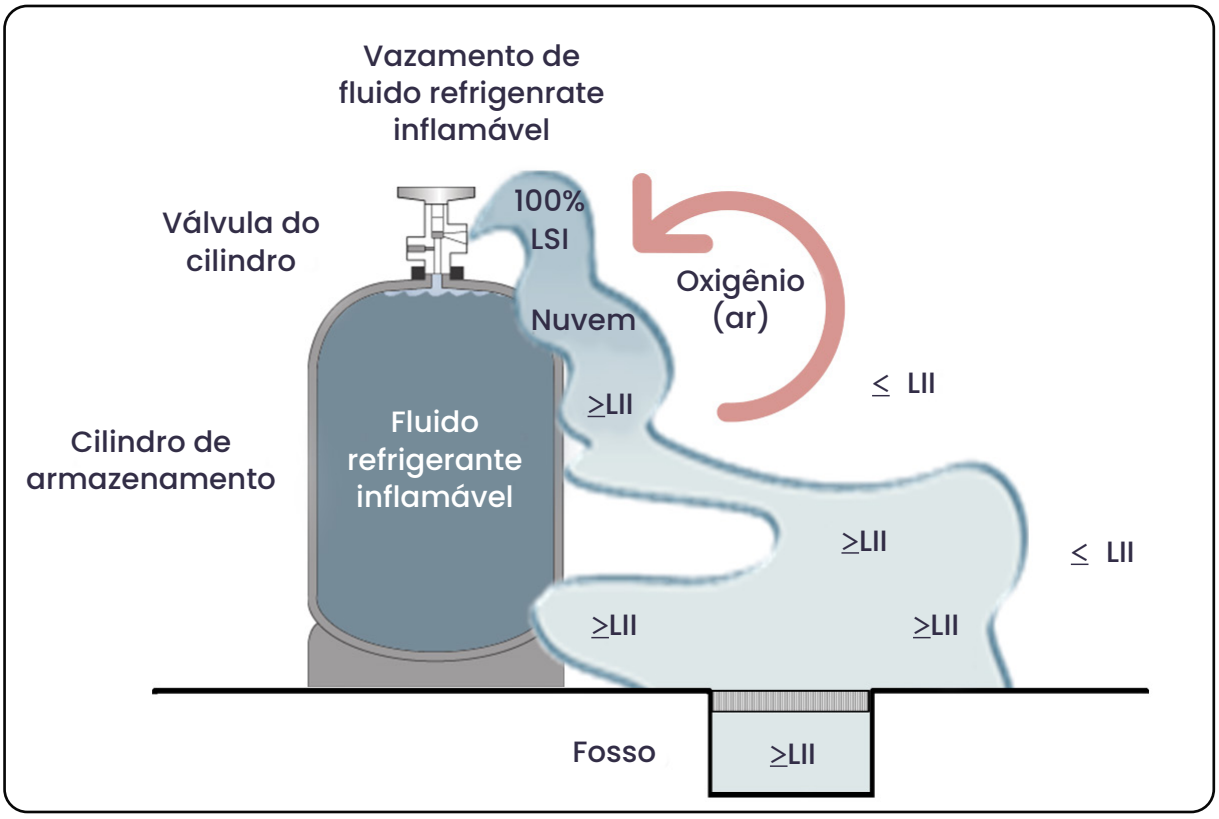
De maneira geral, os empregadores/operadores devem garantir que os estoques de fluido refrigerante sejam armazenados de modo separado em ambientes designados para essa finalidade ou ao ar livre, e nas casas de máquinas devem ficar apenas as quantidades de fluidos refrigerantes necessárias para a recarga.

Para o armazenamento, transferência e esvaziamento, bem como para o transporte de fluidos refrigerantes em cilindros portáteis, podem ser aplicáveis o código de "Caldeiras e Vasos de Pressão" da ASME[18] e as respectivas regras técnicas associadas. Os regulamentos nacionais, tais como a NR-13 do Ministério do Trabalho, têm que ser levados em consideração. A transferência de fluidos refrigerantes para dentro de cilindros que fazem parte do sistema de refrigeração não é considerada armazenamento quando o sistema está parado.

Os cilindros de fluido refrigerante, especificamente os de fluidos refrigerantes inflamáveis, devem ser armazenados em um local com sombra, fresco, seco e bem ventilado, longe de fontes de ignição, da luz solar e de fontes de calor. Para evitar vazamento acidental, evite o armazenamento próximo a aberturas de ventilação ou fossos. Os cilindros de armazenamento com vazamento de fluidos refrigerantes inflamáveis podem causar zonas/nuvens inflamáveis (veja a Figura 163).

[18]O Código ASME é reconhecido internacionalmente como o documento técnico que fornece as informações necessárias para a construção e operação de caldeiras e vasos de pressão.

Figura 163 — Fluido refrigerante inflamável vazando de um cilindro e criando nuvens inflamáveis



Fonte: Rolf Huehren.

Se houver vazamento ou descarga de fluido refrigerante inflamável (exceto R-717) no ar, a tendência é que ele desça para um nível mais baixo e permaneça lá porque esses gases são mais pesados que o ar. Se houver altas concentrações de fluidos refrigerantes inflamáveis em uma área, podem ocorrer sintomas de falta de oxigênio na pessoa que entrar nessa área, ou pode ocorrer uma combustão acidental do gás (veja também o Capítulo 10.1.2 para obter mais informações).

Os cilindros de fluido refrigerante devem ter proteção contra tombamento.

Diferenças no potencial elétrico podem disparar descargas eletrostáticas durante a transferência do fluido refrigerante de ou para o cilindro, portanto garanta que o aterramento seja suficiente.

Cilindros usados descartáveis não devem ser jogados fora; eles devem ser levados até uma empresa de descarte licenciada.

Para armazenamento dentro de uma casa de máquinas, com a intenção de recarga, em geral um ou dois vasos de pressão (cilindros) apropriados são suficientes, e o tamanho deles deve ser selecionado de acordo com o tamanho do sistema. A experiência mostra que a quantidade em armazenamento é apenas uma pequena fração da carga total do sistema (20% no máximo).

Os cilindros com fluido refrigerante devem ser rotulados de maneira clara e armazenados separadamente por tipo.

Ventilação adequada deve ser providenciada em locais de armazenamento de fluidos refrigerantes com efeito asfixiante, em particular o dióxido de carbono sólido (gelo seco).

Atenção:

Como lidar com incêndio em cilindros:

Em caso de incêndio, os cilindros com fluido refrigerante podem superaquecer, desenvolvendo alta pressão interna e explodindo. Pode ser usada água para refrigerar os cilindros. Produtos corrosivos resultantes da decomposição térmica são produzidos quando os HFCs e os HFOs queimam. Na hora de apagar um incêndio, use os devidos equipamentos de proteção.

19.1 Tipos de cilindros para fluidos refrigerantes inflamáveis

Os fluidos refrigerantes estão disponíveis em dois tipos de recipientes de transporte (também chamados de cilindros):

- "Cilindros descartáveis não reutilizáveis", fabricados para usar uma única vez;
- Retornáveis, "recarregáveis", para serem reutilizados, com maior durabilidade e resistência; e
- Os cilindros de recolhimento, usados apenas para o recolhimento de fluidos refrigerantes, são tecnicamente a mesma coisa que os cilindros recarregáveis.

Os critérios de projeto para os cilindros de fluido refrigerante são especificados para duas regiões diferentes de uso, mas eles de fato estão em uso no mundo todo.

Para a Europa:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre (última versão publicada em 1º de janeiro de 2017); e
- EN 13322-1 + A1 Cilindros de gás portáteis — Cilindros de gás de aço soldado recarregável — Projeto e fabricação — Parte 1: Aço carbono;

  Diretiva europeia 2010/35 de 16 de junho de 2010, sobre equipamentos sob pressão transportáveis (TPED).

Para os EUA e Canadá:

- Regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT); e

- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração).

A diretriz M-2020 do AHRI sobre acessórios e portas de serviço exclusivos para uso de fluido refrigerante inflamável (AHRI, 2020) estabelece recomendações de boas práticas para o projeto e a aplicação de acessórios exclusivos para todos os recipientes que contêm fluidos refrigerantes, como cilindros de fluidos refrigerantes e tanques usados para serviço e comissionamento, e portas de serviço para equipamentos de ar condicionado e refrigeração comercial, como *chillers* e equipamentos unitários. A finalidade da diretriz é evitar que os equipamentos destinados a fluidos refrigerantes não inflamáveis sejam contaminados com fluidos refrigerantes inflamáveis e vice-versa. A diretriz se aplica a todas as portas de serviço para uso com fluidos refrigerantes de classe A2L, B2L, A2 e A3, conforme as classificações listadas na norma ANSI/ASHRAE 34/ ABNT NBR 16666.

19.1.1 Cilindro descartável

Os cilindros descartáveis são comumente usados em muitas partes do mundo. A recarga desses cilindros é estritamente proibida. Projetados para uso único, eles não estão sujeitos aos padrões mais rigorosos de fabricação dos cilindros recarregáveis. Por conseguinte, eles podem não ter a durabilidade dos cilindros recarregáveis e o desempenho deles depois de várias recargas é desconhecido, o que representa um potencial risco de segurança. Para mais informações consulte a norma ABNT NBR 17145 — Segurança de cilindros descartáveis com fluidos refrigerantes — Transporte, armazenamento, manuseio e descarte.

Figura 164 — Manipulação (recarga) proibida de cilindros DOT 39 (carga de líquido e gás)

Fonte: Rolf Huehren.

Os cilindros descartáveis não devem ser recarregados. A compra e o uso de adaptadores vendidos para viabilizar a recarga desses cilindros criam um potencial risco de incêndio, explosão, lesão grave e danos à propriedade.

Os cilindros descartáveis estão proibidos na UE e em cilindros com destino à UE, porque eles estão associados a danos ambientais provocados por resíduos de fluidos refrigerantes. Proibições parecidas também estão em vigor no Canadá, na Índia e na Austrália.

19.1.1.1 Detalhes técnicos para cilindros descartáveis

Os tamanhos regulares para cilindros descartáveis para uso geral de fluidos refrigerantes são por diâmetro: 7,5" (190,5 mm), 9" (228,6 mm), 9,5" (241,3 mm) e 12" (304,8 mm). As pressões de serviço vão até 400 psig (27,6 bars), dependendo do tipo. Como esses cilindros estão proibidos na UE, eles são fabricados conforme a norma DOT 39 dos EUA (Especificações para cilindros sob pressão transportáveis não recarregáveis de aço soldado).

O projeto e a fabricação seguem o ADR ou DOT. A Figura 165 mostra o exemplo de um cilindro de HC R-290 DOT 39 com a marcação adequada.

Figura 165 — Exemplo de cilindro de HC R-290 DOT 39 com a marcação adequada

Fonte: Rolf Huehren.

O cilindro DOT 39 não tem emenda, é soldado ou brasado, com pressão de serviço que não ultrapassa 80% da pressão de teste (pressão de teste significa a pressão à qual um tanque é submetido para determinar sua integridade de pressão).

Limitação de tamanho: A capacidade máxima de água não pode ultrapassar:

1. 55 libras (1.526 polegadas cúbicas) para uma pressão de serviço de 500 psig ou menos; e
2. 10 libras (277 polegadas cúbicas) para uma pressão de serviço acima de 500 psig.

Os cilindros DOT não passam por tratamento de calor no processo de fabricação e no uso regular; eles são pressionados até o limite máximo da capacidade!

É possível identificar um cilindro DOT 39 pela etiqueta, que inclui:

1. DOT-39;
2. NRC (cilindro não recarregável);
3. Pressão de serviço;
4. Pressão de teste;
5. Número de registro (M****) do fabricante;
6. Número do lote;
7. Data de fabricação, se o número do lote não especificar a data; e
8. A declaração a seguir: Para cilindros fabricados a partir de 1º de outubro de 1996: "A lei federal proíbe o transporte em caso de recarga - multa de até USD 500.000 e cinco anos de prisão (49 U.S.C. 5124)".

19.1.1.2 Código de cores do cilindro de fluido refrigerante descartável DOT 39 de acordo com a AHRI N 2017 e atualização de 2019

O Título 49 do Código de Regulamentos Federais (CFR) dos EUA sobre transporte perigoso e o Título 29 do CFR sobre segurança e saúde ocupacional exigem que todos os recipientes que contêm materiais perigosos, incluindo tambores e cilindros com fluidos refrigerantes, sejam devidamente rotulados para identificar o conteúdo com clareza. Essas etiquetas e marcações feitas nos cilindros devem sempre ser usadas como a principal maneira de identificar o tipo de fluido refrigerante em um cilindro.

Anteriormente, cada fluido refrigerante tinha recebido uma cor na Diretriz N da AHRI e os cilindros foram pintados de acordo (AHRI, 2017). À medida que cada vez mais fluidos refrigerantes estão sendo aprovados para uso, a diretriz teve que ser renovada para evitar erros de identificação de cilindros com cores parecidas (veja também a Figura 166). A diretriz antiga pôde ser aplicada até o final de 2019, sem necessidade de pintar novamente o estoque mais antigo.

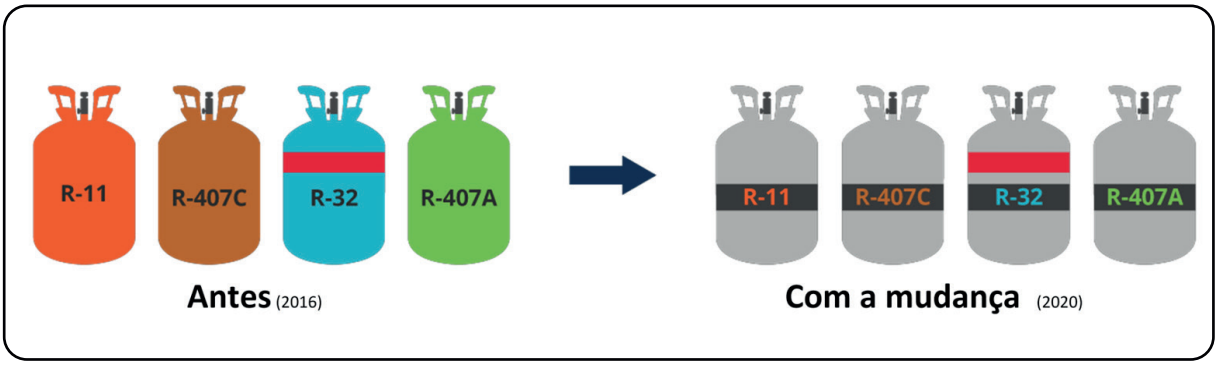
Consulte a AHRI (2017) para ver a atribuição de cores para cilindros de fluidos refrigerantes em https://www.ahrinet.org/sites/default/files/2022-06/AHRI_Guideline_N_2017.pdf

O aplicativo para smartphone "*WhatGas?*", recentemente atualizado pelo programa *OzonAction* do PNUMA, oferece informações úteis a esse respeito. Basta procurar "*WhatGas?*" na Google Store ou na Apple Store.

- Todos os cilindros para fluidos refrigerantes virgens devem ser pintados de cinza claro (RAL 7044 corresponde a PMS 413);
- Uma etiqueta precisa indicar o fluido refrigerante contido lá dentro. As atribuições de cores usadas anteriormente vão continuar para etiquetas e caixas de produtos; e
- Uma faixa vermelha na parte lateral superior ou superior do cilindro serve para designar compostos inflamáveis, ou misturas que poderiam se tornar inflamáveis em caso de algum vazamento.

As cores de cilindros para fluidos refrigerantes recolhidos ou reciclados estão cobertas na Diretriz K da AHRI (AHRI 2015).

Figura 166 — Código de cores dos cilindros de acordo com a Diretriz N da AHRI



Fonte: Bacharach.

19.1.1.3 Cilindros descartáveis que viram sucata

Quando um cilindro "vazio" vira sucata, ele costuma conter ainda resíduos de fluido refrigerante. Isso representa uma ameaça para o meio ambiente.

Cilindros de fluido refrigerante descartáveis:

- Devem ser completamente esvaziados antes de serem descartados como sucata. O recolhimento do fluido refrigerante residual pode ser necessário; e
- Devem ser posteriormente marcados como vazios e depois descartados.

Atenção:

Os cilindros que contêm fluido refrigerante residual não devem ser deixados ao ar livre, onde o cilindro acaba enferrujando. Um cilindro abandonado vai se deteriorando e poderia explodir.

Por motivos práticos, de segurança e ambientais, é exigido que os conteúdos sejam recolhidos e que os cilindros de fluido refrigerante sejam devidamente reciclados. A Diretriz "Q" da AHRI, de 2016, sobre recolhimento de conteúdo e reciclagem apropriada de cilindros de fluido refrigerante, fornece recomendações técnicas e descrições para cilindros usados tanto para fluidos refrigerantes inflamáveis quanto não inflamáveis.

19.1.2 Cilindros de fluido refrigerante recarregáveis

Nos Estados Unidos, no Canadá, na Austrália e em alguns casos na Índia, o fornecimento de fluidos refrigerantes para o mercado de AVAC-R é feito usando cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis. Esses vasos de pressão são projetados e fabricados de acordo com as normas mencionadas no início desse capítulo.

A resistência exigida do cilindro é regulada conforme o ADR (P200) de acordo com o tipo de gás transportado. A Tabela 53 indica alguns exemplos de exigências de substâncias e cilindros, e indica informações importantes sobre os cilindros e os conteúdos que deveriam ser incluídos na etiqueta. Esses parâmetros podem ser conferidos pela polícia ou por fornecedores para ver se os cilindros ainda são próprios para uso.

Observação: a carga máxima para cilindros de recolhimento de fluido refrigerante (mistura de fluido refrigerante e óleo) está especificada nas normas EN 378:4 e ISO 5149 / ABNT NBR ISO 5149:4. As pressões de teste são aplicáveis conforme indicado.

Tabela 53 — Instruções de embalagem do ADR P200 e exemplos de especificações de cilindros recarregáveis

Nº ONU	Nome da substância	Código de classificação de perigo	Pressão de teste para cilindros		Período de teste (anos)	Massa máxima de conteúdo permitida por capacidade em litro (substâncias virgens)
			MPa	bar		
1018	R-22 — HCFC	2A	2,7	27	10	1,03
3337	R-404A — HFC	2A	3,6	36	10	0,82
1013	R-744 — Dióxido de carbono	2A	19 19	190 250	10	0,68 0,76
1005	R-717 — Amônia	2TC	2,9	29	5	0,54
1077	R-1270 — Propileno	2F	2,7	27	10	0,43
1969	R-600a - Isobutano	2F	1	10	10	0,49
1978	R-290 - Propano	2F	2,3	23	10	0,43
3252	R-32 - HFC	2F	4,8	48	10	0,78

Fonte: ADR, 2017.

Por causa das diversas pressões de teste listadas de acordo com o ADR P200 (instruções de embalagem), os fabricantes de cilindros e fornecedores de fluidos refrigerantes podem escolher intervalos específicos de variação para o fornecimento de fluidos refrigerantes para limitar a variedade de cilindros usados. A Tabela 54 mostra um exemplo de especificações detalhadas de um fabricante.

Tabela 54 — Exemplo de tamanhos comuns e especificações para cilindros de fluidos refrigerantes recarregáveis

Capacidade de água / litro	12,5	27,2	52,0	61,0
Altura (mm)	519	594	1.118	1.300
Diâmetro (mm)	229	300	267	267
Tara (kg)	8,0	14,7	29,5	32,4
Pressão de teste (bars)	≥ 23 - 48	≥ 23 - 48	≥ 23 - 48	≥ 23 - 48
Normas EN133221-1 / EN 14638-3 / TPED	X	X	X	X

Fonte: GWG Gasflaschenwerk Germany, Gruenhein GmbH.

Além dos cilindros mencionados anteriormente, estão disponíveis outros tamanhos e recursos de projeto condizentes com as normas e os regulamentos. Em geral, os cilindros são feitos de aço e possuem válvulas com "inserção anti-enchimento" (dispositivos de pressão residual; veja o quadro abaixo) ou uma válvula de combinação, com portas separadas para retirada e carga de fluido refrigerante. Dependendo da válvula instalada, há também um dispositivo de alívio de pressão. Os cilindros menores têm que ser colocados de cabeça para baixo para a retirada do fluido refrigerante. Os cilindros maiores (por causa do peso) vêm equipados com duas portas extras para a retirada do fluido refrigerante na fase líquida e na fase gasosa. Para cilindros equipados com uma válvula de duas portas, a válvula vem com um tubo de imersão para manter a retirada do fluido refrigerante líquido e gasoso na posição em pé.

Em geral, o cilindro DOT 39 vem com um colar de metal em torno da parte superior para proteger a válvula contra danos mecânicos. Os cilindros DOT 39 não devem ser usados como cilindros de recolhimento.

Atenção:

Tipicamente, os cilindros de fluido refrigerante recarregáveis para fluidos refrigerantes virgens recebem um dispositivo de pressão residual (RPD) para garantir que o fluido refrigerante usado ou qualquer outra substância não seja reintroduzida no cilindro. **Esses cilindros não podem ser usados como cilindros de recolhimento!**

19.1.3 Cilindros de recolhimento de fluido refrigerante

Os cilindros de recolhimento são projetados especialmente para a extração de fluidos refrigerantes (e óleo) de sistemas de refrigeração. Os requisitos específicos estão determinados nas seguintes normas:

- EN 378 — Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Segurança e requisitos ambientais — Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração; e
- ISO 5149-4/ ABNT NBR ISO 5149-4 - Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Segurança e requisitos ambientais — Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração.

Essas normas orientam que o fluido refrigerante só deve ser transferido para um cilindro adequado para o fluido refrigerante específico envolvido. O cilindro deve ter a etiqueta para aquele fluido refrigerante (número do fluido refrigerante, nome da (s) substância (s) química (s), perigos e avisos) e a cor deve estar de acordo com os regulamentos nacionais.

19.1.4 Conexões do cilindro

As conexões usadas em cilindros de fluido refrigerante, tanto em cilindros de fluidos refrigerantes A2L, B2L, A2 e A3 carregáveis quanto não carregáveis como os cilindros DOT-39/TC-39M não recarregáveis e os cilindros DOT/TC carregáveis, e cilindros com licença especial, devem ser do tipo descrito na Tabela 55.

Tabela 55 — Conexões para cilindros e tanques de fluido refrigerante

Tipo de cilindro do fluido refrigerante, peso líquido do produto (W), lb	Classificação do fluido refrigerante	
	A2L	A2/A3
W < 2	CGA 164	Consulte o fabricante do fluido refrigerante
2 ≤ W < 50	CGA 164	CGA 510
50 ≤ W < 240	CGA 670	CGA 510
240 ≤ W < 1.000	CGA 670	Consulte o fabricante do fluido refrigerante

Fonte: AHRI, 2020. CGA: Normas da Associação de Gás Comprimido.

- Para conexões que não têm uma classificação de pressão definida, recomenda-se usar uma pressão mínima de serviço equivalente à pressão de vapor saturado do fluido refrigerante a 55 °C;
- Para cilindros com menos de 450 g de fluido refrigerante de classe A2/A3 com conexões não listadas na tabela, as conexões devem ser classificadas por cores e devem ter uma etiqueta indicando que são altamente inflamáveis.;
- Cilindros que contêm gases de fluido refrigerante B2L (ex.: R-717) devem ter conexões únicas, além das listadas na tabela. A norma V-1 da CGA deve ser consultada para recomendações de conexões específicas para o tipo de gás; e
- As marcações em recipientes e cilindros devem seguir as Diretrizes N (2019) e K (2015) da AHRI. Observação: foram feitas alterações na Diretriz N (2019) da AHRI relacionadas à nova marcação de cores dos cilindros.

19.1.5 Equipamentos para cilindros

De forma similar, as diretrizes fornecem informações sobre conexões para equipamentos de AVAC, equipamentos de refrigeração e portáteis usando gases A2L, A2 e A3 (veja o Capítulo 19.1.4). A Diretriz M acrescentou conexões com "rosca esquerda" (LH) para fluidos refrigerantes A2/A3. As conexões para fluidos refrigerantes A2L (ex.: R-32, R-123yf, R-1234ze) permanecem com "rosca direita" (RH). A Tabela 56 descreve as conexões para os equipamentos.

Algumas normas americanas (UL 484, UL 471, UL 60335-2-40, UL 60335-2-89, ou ASHRAE 15) podem ter requisitos específicos para os equipamentos descritos. Por exemplo: pode haver uma exigência para que as conexões tenham determinada cor, tenham bucha colorida, ou para que a etiqueta seja vermelha, tipo *Pantone Matching System PMS nº 185*). Pode haver exigência quanto à posição das conexões, para elas não ficarem a certa distância de componentes de compressão ou de alta energia. Em determinadas situações, pode ser que as conexões de serviço nem sejam permitidas. A norma UL relevante deve ser consultada para tais exigências.

Observação:

Para aparelhos de ar condicionado do tipo janela e terminais de ar condicionado embalados, consulte as regras da *SNAP* (*Significant New Alternatives Policy*, criada pelos Estados Unidos), de 15 de agosto de 2015 e o Título 40 do CFR, Parte 82, Subparte G, Apêndice R.

Os equipamentos que contêm gases de fluido refrigerante B2L (ex.: R-717) devem ter conexões únicas, além dos listados na Tabela 2. A norma V-1 da CGA e a norma 2-2014 do IIAR (Instituto Internacional de Refrigeração com Amônia) devem ser consultadas para recomendações de conexões específicas para o tipo de gás.

Equipamentos comerciais grandes, que usam conexões de serviço para fluido refrigerante diferente das conexões flangeadas SAE de 45°, incluindo vedação facial ou acessórios de conexão com pressão, devem ser analisados conforme as recomendações do fabricante.

Tabela 56 — Conexões/portas de serviço para equipamentos

Conexões atuais para equipamentos com fluido refrigerante de classe A1	**Conexões recomendadas para A2L**	**Conexões recomendadas para A2/A3**
3/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/8-24	3/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/8-24	3/16 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE 3/8-24
1/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 7/16-20	1/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 7/16-20	1/4 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE 7/16-20
5/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE ½-20	5/16 em rosca direita com conexão flangeada SAE ½-20	5/16 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE ½-20
3/8 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/16-24	3/8 em rosca direita com conexão flangeada SAE 3/16-24	3/8 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE 3/16-24
1/2 em rosca direita com conexão flangeada SAE 5/16-20	1/2 em rosca direita com conexão flangeada SAE 5/16-20	1/2 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE 5/16-20
3/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-16	3/4 em rosca direita com conexão flangeada SAE 1/2-16	3/4 em rosca esquerda com conexão flangeada SAE 1/2-16
Observação: A conexão flangeada SAE é de 45°, conforme a norma SAE J513.		

Fonte: AHRI, 2020.

19.1.6 Cilindros para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis

Figura 167 — Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis

Fonte: Rolf Huehren.

Exemplo de cilindro recarregável para fluidos refrigerantes inflamáveis (neste caso, o R-290 — propano) com roscas esquerdas para o adaptador da mangueira de carga de fluido refrigerante (veja a Figura 167).
Dependendo do fornecedor de fluido refrigerante inflamável, o cilindro do fornecedor pode ter um código de cores específico (ex.: colar vermelho, botijão cinza).

Volume do cilindro: 26 litros;
Carga do cilindro: 10 kg R-290;
Pressão de teste: 33 bar;
Tara: 14,2 kg;
Válvula com duas portas;
Válvula de segurança.

Figura 168 — Tampa de proteção da válvula do cilindro (esquerda) e adaptador do cilindro para conexão da mangueira de carga com a marcação *entalhada (gás inflamável) (direita)*

Fonte: Rolf Huehren.

Adaptador do cilindro (veja a Figura 168):
Conexão fêmea W21,8-14 DIN 477;
Conexão macho ¼" SAE (7/16" UNF).
O adaptador com entalhe indica uso de fluidos refrigerantes inflamáveis.

Para a instalação ou reparo de aparelhos domésticos e comerciais de pequeno porte (refrigeradores, *freezers*, máquinas automáticas de venda, refrigeradores de bebidas e aparelhos de ar condicionado do tipo split), que funcionam com fluidos refrigerantes inflamáveis, podem ser usados os cilindros pequenos, tanto os recarregáveis quanto os descartáveis.

Figura 169 — Cartucho de fluido refrigerante HC R-290 recarregável — carga de fluido refrigerante de cerca de *370 gramas* Fonte: Mariel/Wigam.	Figura 170 — Suporte de carga para HC R-290 com mangueira, válvula de esfera e conexão do cilindro/*manifold* Fonte: Wigam.	Exemplo de cilindro recarregável (veja a Figura 169): Projeto e fabricação conforme o ADR ou DOT. Capacidade = 1 litro Quantidade de carga: R-290 = cerca de 370 gramas Conexão da mangueira de carga = ½"-16ACME SX F x ¼" SAE F
Figura 171 — Cartucho de fluido refrigerante HFC R-32 recarregável — carga de fluido refrigerante de cerca de 800 gramas Fonte: Mariel/Wigam.	Figura 172 — Suporte de carga para HFC R-32 com mangueira, válvula de esfera e conexão do cilindro/*manifold* Fonte: Wigam.	Exemplo de cilindro recarregável (veja a Figura 171): Projeto e fabricação conforme o ADR ou DOT. Capacidade = 1 litro Quantidade de carga: R32 = cerca de 800 gramas Conexão da mangueira de carga = ½"-16ACME SX F x 5/16" SAE F

Atenção:

Os cilindros de fluido refrigerante têm que ser colocados de cabeça para baixo para a extração do fluido refrigerante líquido e precisam de um suporte de cilindro de carga de fluido refrigerante para uso seguro e preciso.

19.2 Descarte de fluidos refrigerantes inflamáveis

19.2.1 Descarte de fluidos refrigerantes A2/A2L

Por causa do Potencial de Aquecimento Global (GWP), os fluidos refrigerantes A2/A2L devem ser recolhidos do sistema com os cilindros de armazenamento e os equipamentos apropriados de recolhimento. Esses fluidos refrigerantes são submetidos a um tratamento adicional. A liberação desses fluidos refrigerantes para a atmosfera não é permitida. Os processos de recolhimento e armazenamento são equivalentes aos processos descritos no Capítulo 19.2.2.8 ao 19.2.2.18.

19.2.2 Descarte de fluidos refrigerantes A3 (hidrocarbonetos)

O fluido refrigerante tem que ser recolhido em sistemas de AVAC-R antes de trabalhar no circuito de refrigeração, em caso de reparo ou antes da desmontagem. Também pode ser necessário extrair os resíduos de fluido refrigerante dos cilindros descartáveis. O usuário do equipamento é responsável por realizar os processos de recolhimento de fluido refrigerante de acordo com as regras de segurança estabelecidas, com as respectivas fichas de segurança de produto químico (FISPQ) e com os manuais de operação do fabricante do equipamento.

O fluido refrigerante hidrocarboneto recolhido pode ser colocado em um cilindro de recolhimento ou liberado para a atmosfera.

19.2.2.1 Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera — aspectos gerais

Para fluidos refrigerantes hidrocarboneto, a liberação para a atmosfera pode ser feita como alternativa ao recolhimento do fluido refrigerante se o tamanho da carga for menor que 500 gramas. Isso porque os fluidos refrigerantes HC não apresentam PDO e têm GWP desprezível. Porém, isso só pode ser feito se for permitido pelas regras e regulamentos nacionais, seguindo o que estiver estabelecido neles.

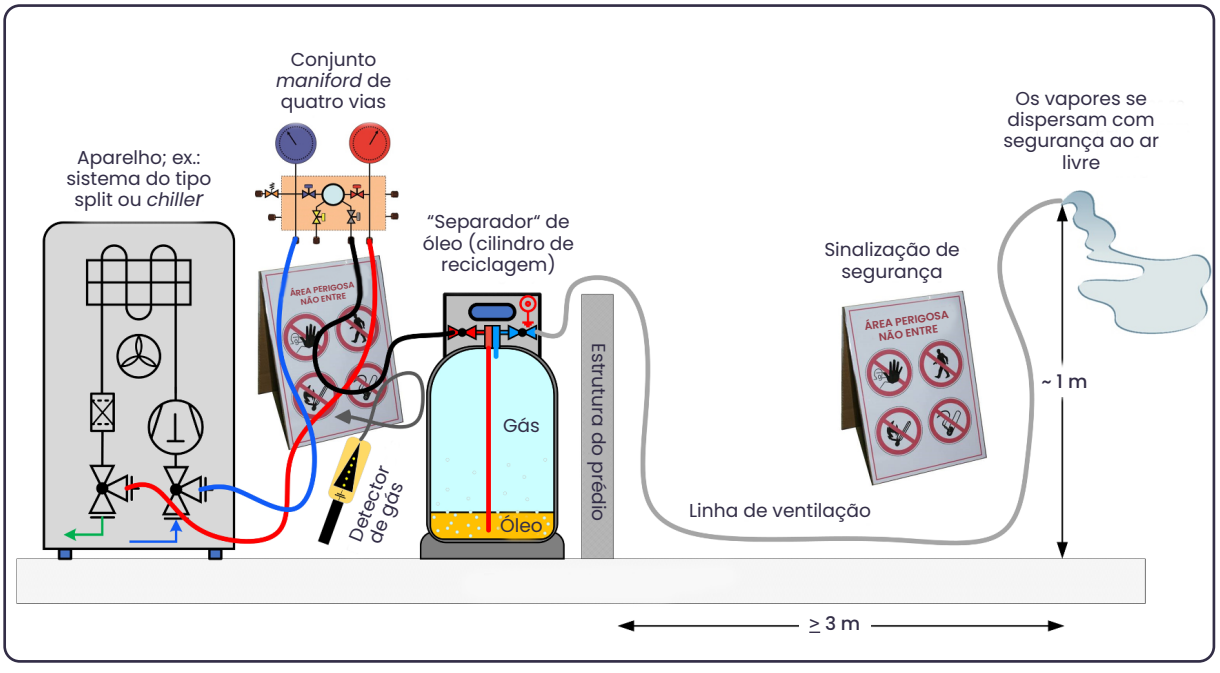
Antes de liberar o fluido refrigerante hidrocarboneto de um sistema, é necessário garantir que:

1. Sejam cumpridas as leis sobre segurança de substâncias perigosas;
2. Sejam observadas as leis sobre resíduos;
3. Sejam observadas as leis ambientais; e
4. A preparação para a liberação de HC deve ser de acordo com a Figura 173.

Atenção:

A liberação para o ar livre só pode ser realizada em sistemas que contêm menos de 500 g de fluido refrigerante de HC. Quantidades maiores devem ser recolhidas.

Figura 173 — Preparação de equipamentos e ferramentas para liberação do fluido refrigerante HC para o ar livre



Fonte: Rolf Huehren.

19.2.2.2 Requisitos para a mangueira de liberação de HC (linha de ventilação)

1. A mangueira deve ter comprimento e diâmetro suficientes para alcançar até pelo menos três metros para fora do prédio;
2. A mangueira tem que ser feita de material compatível para uso com fluidos refrigerantes HC e óleo;
3. É usado um dispositivo para levantar a mangueira e ela ficar pelo menos um metro acima do nível do solo, para que a liberação fique apontada para cima, auxiliando assim na diluição;
4. Próximo à entrada da mangueira, é encaixado um dispositivo para separação de óleo, para evitar a emissão de óleo de refrigeração, e assim ele será extraído e descartado adequadamente após o procedimento de liberação de HC para a atmosfera. Um cilindro de recolhimento pode ser usado para isso; e
5. De tempos em tempos, deve-se inspecionar a mangueira para ver se ela não tem furos ou torções que poderiam acarretar vazamento ou bloqueio da passagem do fluxo.

19.2.2.3 Precauções a serem tomadas

1. Em circunstância alguma é permitido liberar HCs para dentro do prédio;
2. A ventilação não deve ocorrer em área pública, ou onde as pessoas não tenham conhecimento de que o procedimento está ocorrendo;
3. A liberação para atmosfera só deve ocorrer se o hidrocarboneto não puder ser soprado de volta para os prédios adjacentes, e se não puder migrar para algum local abaixo do nível térreo;
4. A extremidade da mangueira pode descarregar e dispersar os vapores inflamáveis no ar ambiente. Não deve existir nenhuma restrição nem dobra acentuada dentro da linha de ventilação que obstrua o fluxo;

5 Não pode haver fontes de ignição perto da descarga da mangueira; e

6 Um sinal de aviso de gás inflamável deve ser colocado perto da descarga da mangueira e no local do sistema de refrigeração.

19.2.2.4 Ferramentas para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera

1 Conjunto *manifold* para o fluido refrigerante em uso;

2 Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante de ¼" SAE (comprimento mais curto possível; ex.: 90 cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), válvula de esfera na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo;

3 Mangueira plástica de comprimento adequado para uso como linha de ventilação (cerca de 15 m);

4 Um conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/portas de serviço do sistema (se necessário);

5 Cilindro de recolhimento ADR/DOT apropriado com válvula de acesso de duas portas e tubo de imersão (porta líquida), 42 bar WP, para servir como separador de óleo;

6 Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento (se necessário);

7 Detector de fluido refrigerante inflamável dependendo da avaliação de risco. Mínimo: instrumento para detectar vazamento com classificação intrinsecamente segura. O ideal, especialmente para sistemas maiores e com riscos mais altos identificados, é um detector de gás (0-100% LII);

8 EPI de acordo com a avaliação de risco; e

9 Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

19.2.2.5 Preparação para liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera

1. Informe o dono do sistema (operador) e o supervisor; obtenha permissão para trabalhar (se necessário);
2. Use os EPIs conforme a necessidade;
3. Coloque a sinalização de aviso na área de trabalho. Conecte os equipamentos e ferramentas listados anteriormente, conforme indicado na Figura 182;
4. Desligue o sistema de refrigeração;
5. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição externa de ar livre e coloque-o no chão próximo ao equipamento, ou ligue o detector de gás (EPI), se disponível; e
6. Use um *manifold* (com visor de líquido) e conecte as mangueiras de transferência de fluido refrigerante, conforme a necessidade.

19.2.2.6 Liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera — o processo

1. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes;
2. Abra as válvulas de bloqueio nos lados de alta pressão (onde disponível) e baixa pressão do sistema de refrigeração. Observe os manômetros no conjunto *manifold*. Os manômetros mostram a pressão de paralisação no sistema;
3. Se o sistema estiver pressurizado, abra as válvulas no conjunto *manifold* e no cilindro de recolhimento (separador de óleo), líquido e vapor;
4. Configure para uma baixa taxa de fluxo pela linha de ventilação para garantir que o fluido refrigerante fique bem diluído;

5 Verifique o fluxo do fluido refrigerante hidrocarboneto (indicações de pressão, visor de líquido no conjunto *manifold*, saída da linha de ventilação);

6 Observe se as seções com condensado estão visíveis na superfície do compressor (cárter do compressor) ou em seções da tubulação. Aqueça adequadamente essas seções; e

7 Continue liberando o fluido refrigerante, a menos que os manômetros indiquem 0 bar/0 PSIG (pressão atmosférica). Não se apresse; deixe o fluido refrigerante sair completamente do aparelho de refrigeração.

Observação:

O sistema ainda contém fluido refrigerante à pressão atmosférica.

19.2.2.7 Depois da liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto para a atmosfera

1 Feche todas as válvulas;

2 Tire o cilindro de recolhimento (separador de óleo) do local, e coloque as tampas de vedação nas portas de conexão. Faça o tratamento do cilindro de acordo com as exigências;

3 Faça a evacuação do sistema;

4 Depois que todo o processo de liberação de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, faça *flushing* no sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte. Se isso não for possível, o sistema deve ser pressurizado com OFDN e o procedimento de liberação do fluido refrigerante hidrocarboneto deve ser realizado duas vezes ou mais, para garantir que haja o mínimo de fluido refrigerante HC remanescente dentro do sistema;

5 Prepare o sistema para o próximo procedimento de trabalho; e

6 Se o fluido refrigerante do sistema de refrigeração tiver sido recolhido para descarte, marque o sistema (aparelho) com um marcador permanente escrevendo a palavra "VAZIO" em letras bem grandes.

19.2.2.8 Recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis — visão geral

Para sistemas de AVAC-R com carga de fluido refrigerante HC maior que 500 gramas, na maioria dos casos recomenda-se recolher o fluido refrigerante em vez de liberar os HCs para a atmosfera. O processo de recolhimento de fluidos refrigerantes A3 e A2L em geral envolve (além dos demais equipamentos e ferramentas listados abaixo) uma recolhedora certificada, um cilindro de recolhimento adequado e uma balança.

Antes de fazer o recolhimento de um fluido refrigerante inflamável de um sistema de refrigeração, é necessário garantir que:

1 Sejam cumpridas as leis sobre segurança de substâncias perigosas;

2 Sejam observadas as leis sobre resíduos;

3 Sejam observadas as leis ambientais; e

4 A preparação para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis deve ser de acordo com a Figura 174.

19.2.2.9 Uso de cilindro de recolhimento para fluidos refrigerantes inflamáveis

Atenção:

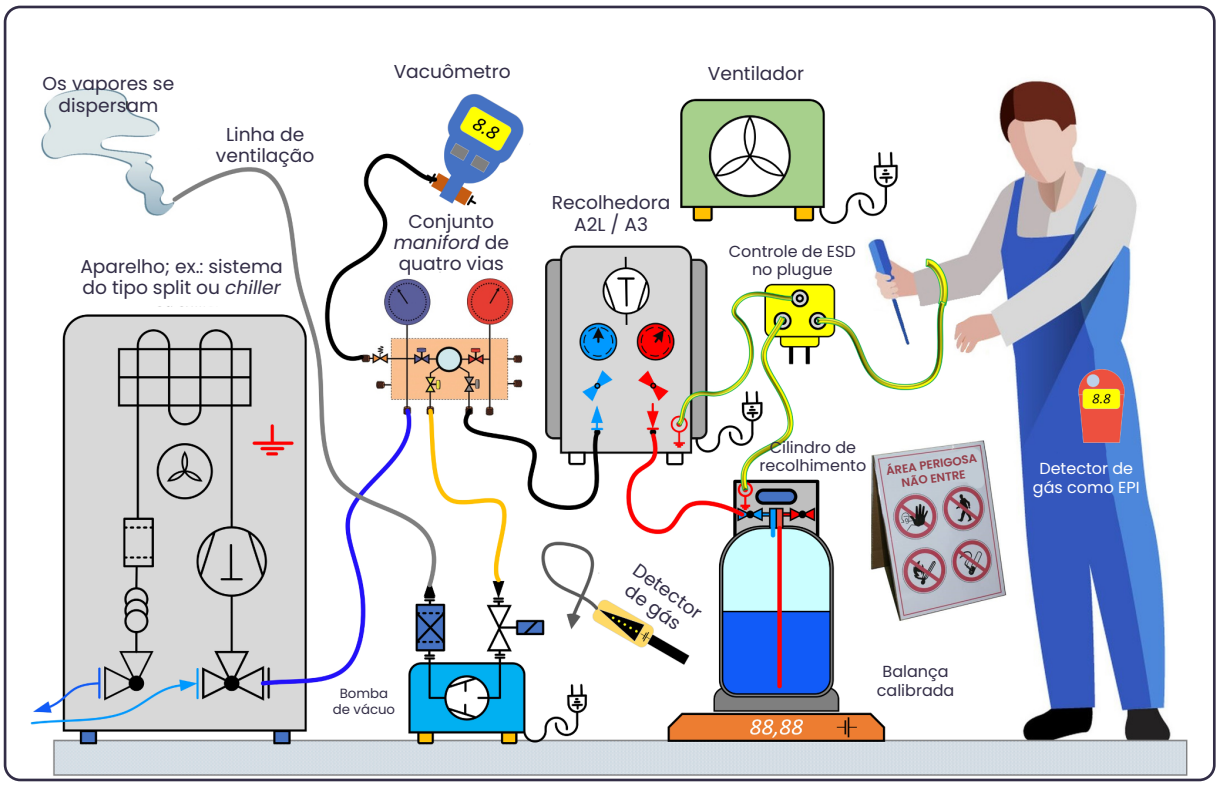
Os cilindros de recolhimento de fluido refrigerante que são preenchidos com fluidos refrigerantes inflamáveis e ultrapassam a quantidade de carga permitida (fluido refrigerante e óleo) podem expor os operadores a altas concentrações de fluido refrigerante liberado com o perigo extremo de explosão ou incêndio.

Os cilindros cheios demais podem explodir.

Processos envolvendo conexões temporárias e sistemas sob pressão nunca devem ficar sem supervisão. A carga de fluido refrigerante nos cilindros deve ser monitorada com o uso de balanças de carga calibradas.

Só devem ser usadas recolhedoras certificadas para o manuseio de fluidos refrigerantes A2L/A2/A3 e com permissão para operação em ambientes de “Zona 2”.

Figura 174 — Cenário de recolhimento de gás inflamável e exemplo de configuração de trabalho no local da instalação



Fonte: Rolf Huehren.

Quando um cilindro é preenchido com fluido refrigerante, **a carga máxima deve ser sempre observada usando uma balança calibrada**, levando-se em conta que possíveis misturas de fluido refrigerante—óleo apresentam densidade mais baixa que o fluido refrigerante puro. A capacidade utilizável de um cilindro deve, portanto, ser reduzida para uma mistura de fluido refrigerante—óleo (consulte a EN 378-4 + A1 para obter mais detalhes).

A capacidade de carga é uma função do volume interno do cilindro e da densidade do líquido do fluido refrigerante a uma temperatura de referência (80% de líquido por volume a 50 °C).

Por exemplo:

- A densidade do R-290 a 50 °C é de 0,449 kg/dm³;
- A densidade do R-600a a 50 °C é de 0,517 kg/dm³;
- A densidade do R-1270 a 50 °C é de 0,458 kg/dm³.

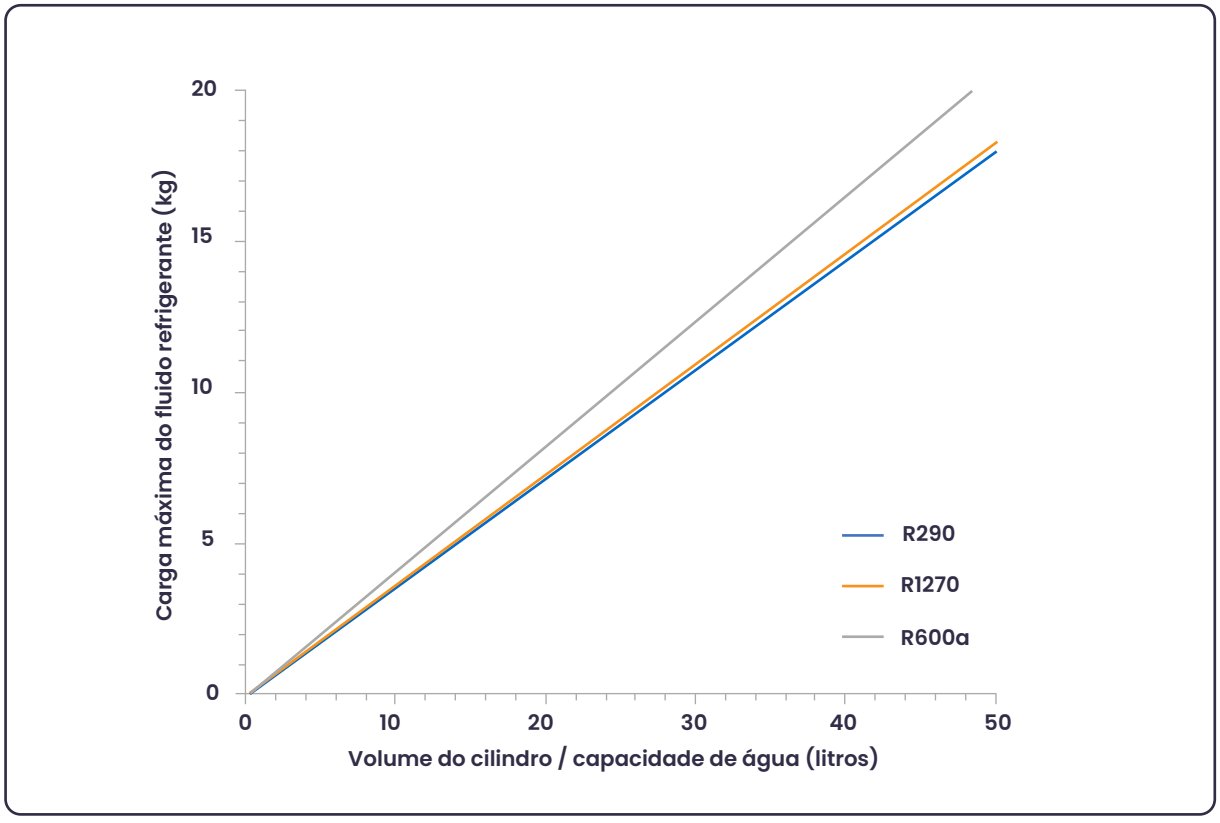
O peso bruto máximo de um cilindro de recolhimento de fluido refrigerante é:

$$0{,}8 \times WC \times SG + TW$$

Onde:

- 0,8 é o fator de segurança 80% de líquido por volume a 50 °C;
- WC é a capacidade de água do cilindro de recolhimento em kg (lb) marcada na placa de informações do cilindro;
- SG é a gravidade específica do fluido refrigerante recolhido a 50 °C obtida na tabela de fluidos refrigerantes; e
- TW é a tara do cilindro de recolhimento, marcada na placa de informações do cilindro.

Figura 175 — Gráfico mostrando a carga máxima do cilindro de recolhimento de fluidos refrigerantes HC de acordo com a norma EN 378-4 + A1



Fonte: Rolf Huehren.

Não ultrapasse a pressão permitida do cilindro em nenhuma operação, nem que seja temporariamente.

- Válvulas especiais podem ser instaladas no cilindro do fluido refrigerante para evitar a possibilidade de encher demais; e
- A carga do cilindro pode ser feita de acordo com regulamentos nacionais ou regionais.

Atenção:

Não misture diferentes fluidos refrigerantes. Armazene em diferentes cilindros.

Não se deve colocar fluido refrigerante em um cilindro que contenha um fluido refrigerante diferente ou desconhecido. Se houver fluido refrigerante desconhecido dentro de um cilindro, ele não deve ser liberado para a atmosfera. Em vez disso, ele deve ser identificado (se possível) e recolhido, ou descartado de forma adequada.

Observação: Quando um fluido refrigerante é contaminado com outro fluido refrigerante, pode ser que fique impossível fazer a regeneração.

19.2.2.10 Aviso de gases não condensáveis

Para o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, é de fundamental importância evitar a transferência de gases não condensáveis (GNCs) para o cilindro de recolhimento. Os GNCs mais comuns são ar, nitrogênio, argônio e em alguns casos o dióxido de carbono. O ar deve ser especialmente evitado, porque ele contém oxigênio.

O ar pode entrar no sistema por diferentes maneiras. Ele pode ser sugado para dentro do sistema por meio de um vazamento no lado de baixa se a pressão de sucção cair abaixo da pressão atmosférica. O ar pode já estar no circuito de refrigeração do sistema que passará por manutenção, ou pode entrar no cilindro de recolhimento durante o recolhimento do fluido refrigerante e o processo de transferência.

Atenção:

O oxigênio no ar cria uma mistura combustível crítica a pressões mais altas com fluidos refrigerantes que contêm hidrogênio (HCs, HCFCs, HFCs) e isso pode provocar acidentes fatais.

- Antes do recolhimento do fluido refrigerante, todas as mangueiras de transferência devem ser lavadas ou evacuadas para remover o ar ou outros GNCs e outros contaminantes;
- Durante o recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis, não opere o circuito de refrigeração em um vácuo! Não ative a função de anulação da pressão baixa da recolhedora. Interrompa o processo de recolhimento a 0 bar (0 PSIG) para evitar a entrada acidental de ar no cilindro de recolhimento;

- Depois que estiver concluído o processo de recolhimento do fluido refrigerante inflamável (A2L/A2/A3), deve ser realizado o *flushing* do sistema com OFDN; e

- Sempre que possível e se forem usadas substâncias únicas, confira no cilindro de recolhimento preenchido se há GNCs (especialmente ar) fazendo uma comparação de temperatura/pressão!

19.2.2.11 Procedimento de recolhimento de fluidos refrigerantes inflamáveis gasosos ou líquidos

Os processos convencionais de recolhimento usados para quaisquer outros fluidos refrigerantes são também aplicados (com alguns ajustes) aos fluidos refrigerantes inflamáveis. Porém, deve-se prestar especial atenção a determinados aspectos:

1. A recolhedora usada deve ser adequada para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis em geral;
2. Não deve haver nenhuma potencial fonte de ignição (as exigências são as mesmas de um sistema de refrigeração);
3. As mangueiras devem estar completas com acoplamentos de desconexão sem vazamentos e em boas condições;
4. Antes de usar a recolhedora, confira se ela está em condições satisfatórias de operação, com a manutenção em dia e se os componentes elétricos associados estão vedados para evitar a ignição em caso de liberação de fluido refrigerante. Consulte o fabricante se tiver alguma dúvida;
5. O cilindro de recolhimento deve ser adequado para o fluido refrigerante usado (especificamente em termos de classificação de pressão e compatibilidade das vedações das válvulas etc.);
6. Providencie a quantidade certa de cilindros para que caiba a carga total do sistema;
7. Garanta que todos os cilindros usados sejam designados para o fluido refrigerante recolhido e tenham a etiqueta daquele fluido refrigerante (isto é, cilindros especiais para o recolhimento do fluido refrigerante). Os cilindros devem estar completos com válvula de alívio de pressão e as respectivas válvulas de bloqueio em boas condições de funcionamento;
8. Quando for conectar as mangueiras entre o sistema de refrigeração, o conjunto *manifold* e a recolhedora, confira se as

conexões estão firmes e se não existe nenhuma potencial fonte de ignição por perto (veja também a configuração geral do local de trabalho na Figura 174); e

9 Purgue as mangueiras, o conjunto *manifold* e a recolhedora antes, para evitar a entrada de ar. Tenha cuidado para reduzir ao máximo a emissão de fluido refrigerante, mas ao mesmo tempo garanta que sempre haja ventilação suficiente para diluir a liberação (use o ventilador).

Observação:

- Deve-se evitar conteúdo com enriquecimento de oxigênio no ambiente do entorno do local de trabalho (ex.: recolhimento nas imediações de equipamentos de brasagem); e
- A energia mínima necessária para a ignição pode ser reduzida consideravelmente se houver níveis elevados de oxigênio ou temperaturas. Os limites de inflamabilidade são ampliados a elevadas temperaturas e pressões. Isso significa que o limite inferior de inflamabilidade pode mudar para um valor mais baixo, e o limite superior de inflamabilidade pode mudar para concentrações mais altas.

19.2.2.12 Equipamentos e ferramentas

1. Faça a evacuação apropriada do cilindro de recolhimento ADR/DOT (mín. 48 bar PT para uso com R-290/R-32) com alívio de pressão e válvulas de bloqueio;
2. Adaptador da válvula do cilindro de recolhimento 5/16" a 1/4" (ou ao contrário);
3. Recolhedora certificada (CE/UL) para uso com fluidos refrigerantes inflamáveis;
4. Conjunto *manifold* de quatro vias com calibração para o fluido refrigerante em uso;
5. Conjunto de mangueiras de transferência de fluido refrigerante de ¼" SAE (comprimento mais curto possível; ex.: 90 cm/36") com classificação de pressão de trabalho de 60 bar (870 PSI) e pressão de ruptura de 300 bar (4.350 PSI), válvula de esfera na extremidade da mangueira (uma extremidade) e depressor de núcleo.;
6. Um conjunto de válvulas de acesso para reduzir a liberação de fluido refrigerante durante a conexão do equipamento a aparelhos/portas de serviço do sistema;
7. Balança com bateria calibrada e capacidade de cerca de 110 kg (resolução de 2 g e precisão de +/- 0,5% do intervalo de medição);
8. Bomba de vácuo e linha de ventilação de fluido refrigerante; e
9. Filtro secador em linha (volume de 0,038 L) se aplicável, conexões flangeadas de ¼".

19.2.2.13 Equipamentos de segurança

1. Ventilador ATEX para ventilação da área de trabalho com capacidade mínima de 700 m³/h;
2. Detector de fluidos refrigerantes inflamáveis (instrumento para encontrar vazamentos), classificação intrinsecamente segura, no mínimo;
3. EPI incluindo detector de gás (0 — 100% LII) seria o ideal;
4. Fios de ligação equipotencial com conectores entre a recolhedora e o cilindro de recolhimento;
5. Dispositivos de controle de ESD (pulseira, cabos e adaptador para cilindro, recolhedora e operador); e
6. Sinalização de aviso nas áreas de segurança (zona 2).

19.2.2.14 Precauções de segurança

1. Avise ao dono e ao supervisor, e obtenha permissão para trabalhar;
2. Desligue o sistema de refrigeração. Lembre-se das cinco regras de segurança elétrica, conforme descrito no Capítulo 14.3 com orientação do "Fluxograma de isolamento seguro" (Capítulo 14.4);
3. Coloque a sinalização de aviso na área de trabalho. Conecte os equipamentos e ferramentas listados anteriormente, conforme indicado na Figura 174;
4. Conecte a tira de aterramento (controle de ESD) entre a recolhedora, o cilindro de recolhimento e o operador (para evitar o acúmulo de eletricidade estática); e
5. Use os EPIs conforme a necessidade.

Atenção:

Tome providências de precaução contra descargas eletrostáticas (ESD), que podem ser uma fonte de ignição. O cilindro e a recolhedora devem ser aterrados (ligação equipotencial) durante o uso e em conexão com as mangueiras de transferência de fluido refrigerante.

19.2.2.15 Preparativos gerais

1. Confira se todos os equipamentos estão em boas condições de funcionamento;
2. Use um conjunto *manifold* de quatro vias (com visor de líquido) e a calibração correta do fluido refrigerante;
3. Use um cilindro de recolhimento evacuado e limpo, adequado para fluidos refrigerantes inflamáveis. Se possível, ele pode ser até mesmo resfriado;
4. Coloque uma etiqueta no cilindro de recolhimento **com o tipo correto de fluido refrigerante e o peso máximo de carga;**
5. Coloque o cilindro de recolhimento sobre uma balança calibrada;
6. Coloque a extremidade da linha de ventilação da bomba de vácuo em um local seguro em área externa;
7. Ligue o detector de gás (dispositivo de detecção de vazamento) em condição externa de ar livre e coloque-o no chão próximo ao equipamento, OU ligue o detector de gás (EPI), se disponível, ou um detector de gás para fluidos refrigerantes HC; e
8. Confira se todas as conexões temporárias da mangueira de fluido refrigerante estão firmes (zonas inflamáveis temporárias).

19.2.2.16 Processo de recolhimento

1. Mantenha a circulação de ar com o ventilador;
2. Opere a recolhedora conforme as instruções de operação do fabricante;
3. Observe os parâmetros operacionais no conjunto *manifold*, na recolhedora e nos detectores de gás;
4. Encha o cilindro de recolhimento com cuidado e vá monitorando na balança o peso do cilindro e, assim, do fluido refrigerante transferido. Não encha o cilindro com mais do que 80% do volume dele a 50 °C. Monitore a pressão de descarga para garantir que a pressão máxima permitida do cilindro de recolhimento nunca seja ultrapassada;
5. Quando aparecer o nível 0 bar/PSIG no manômetro de BAIXA, feche ambas as válvulas BAIXA e ALTA do conjunto *manifold* e DESLIGUE a recolhedora para evitar possível ingestão de ar durante o processo de recolhimento. Não realize vácuo no sistema;
6. Quando a pressão no manômetro de BAIXA começar a subir, continue a operação;
7. Observe se há algum condensado visível nas seções de tubulação, no acumulador de líquido ou na superfície do compressor (cárter do compressor). Aqueça adequadamente essas seções usando um cobertor de aquecimento elétrico seguro, ou um pano embebido em água morna; e
8. Se o manômetro de BAIXA continuar mostrando 0 bar/PSIG, feche todas as válvulas do cilindro, *manifold* e mangueira.

19.2.2.17 Etapas finais de recolhimento

1. Anote a **quantidade atual de fluido refrigerante recolhido** e atualize a etiqueta do cilindro de recolhimento;
2. Tire o cilindro de recolhimento da balança, e coloque as tampas de vedação nas portas de conexão;
3. Opere a bomba de vácuo e realize o vácuo no sistema até cerca de 1.000 mícrons para remover os resíduos de fluido refrigerante do sistema e em particular o lubrificante do compressor;
4. Depois que todo o processo de recolhimento de fluido refrigerante e remoção dos resíduos estiver concluído, realize o *flushing* do sistema com OFDN para que o circuito de refrigeração fique inerte;
5. Prepare e realize os próximos trabalhos e tarefas de reparo/serviço para comissionamento do sistema;
6. Preencha o livro de registros do sistema e o formulário de reparo/serviço com os dados relevantes; e
7. Limpe o espaço de trabalho e informe ao dono/supervisor.

19.2.2.18 Após o recolhimento

1. O fluido refrigerante recolhido deve ser enviado para centros de reciclagem e regeneração no cilindro de recolhimento correto, com a respectiva nota/etiqueta de transferência de resíduos. Não misture os fluidos refrigerantes em recolhedoras e especialmente não os misture nos cilindros;
2. Se os compressores ou óleos do compressor forem removidos, confira se eles foram evacuados até um nível aceitável para ter certeza de que não fique fluido refrigerante inflamável dentro do lubrificante. O processo de evacuação deve ser realizado antes da devolução do compressor para os fornecedores. Só aquecimento

elétrico deve ser empregado no corpo do compressor para acelerar esse processo;

3 Quando for drenado óleo do sistema, o processo deve ser feito com segurança; e

4 Purgue o cilindro que contém fluido refrigerante, se necessário, conforme descrito abaixo.

Atenção:

Perigo de risco de explosão se ar ou outro GNC estiver presente em um cilindro de recolhimento cheio.

Sempre que possível, o cilindro de recolhimento cheio contendo fluido refrigerante inflamável deve ser purgado após o processo de recolhimento e antes do transporte para extrair os GNCs, sendo ar o mais importante deles.

- Depois de separar o cilindro, ele deve ficar sem mexer por cerca de 30 minutos na sombra;
- Depois disso pode ser feita uma comparação de temperatura/pressão (pressão do cilindro e temperatura do fluido refrigerante específico) caso haja substâncias únicas no cilindro para verificar a presença de GNCs;

- Os GNCs se acumulam na parte superior do fluido refrigerante liquefeito; e

- Purgue os GNCs por cerca de 10 segundos abrindo a válvula de gás do cilindro.

19.3 Armazenamento interno e externo dos cilindros

Os cilindros de gás comprimido podem ser armazenados em locais externos ou internos.

Detalhes completos sobre o armazenamento seguro de cilindros de gás comprimido podem ser encontrados nos regulamentos e normas nacionais vigentes.

19.3.1 Precauções gerais contra perigos

Perigo: há risco de incêndio e explosão no armazenamento de cilindros de gás comprimido.

1. As áreas de armazenamento devem ser claramente identificadas por sinalização visual com os nomes dos gases armazenados;
2. Os prédios ou áreas de armazenamento devem ser resistentes ao fogo, bem ventilados, secos, afastados de fontes de ignição ou de calor excessivo, e afastados de causas de corrosão (ex.: excesso de água, ácidos, sal, substâncias químicas, ou vapores químicos como os oriundos de processos industriais);
3. Diferentes categorias de gás não podem ficar armazenadas junto (veja a Tabela 57);
4. Os cilindros cheios devem ficar separados dos cilindros vazios e devem ser identificados com clareza;
5. Um extintor de incêndio deve ficar disponível com facilidade; e
6. As áreas de armazenamento devem ser protegidas contra adulteração cometida por pessoal não autorizado. É proibido o acesso de pessoas não autorizadas ao depósito. Sinalização com informações correspondentes deve ser afixada na entrada do depósito.

Cilindros:

1. Armazene os cilindros de gás comprimido em pé sempre que possível. Em caso de armazenamento horizontal, providencie para que os botijões não rolem;
2. Exceção: os cilindros de gás liquefeito devem ficar armazenados em geral em pé;
3. Proteja os cilindros de gás comprimido contra quedas e rolamentos;
4. Proteja as válvulas com tampas e, se necessário, trave as porcas de fixação; e
5. Não é permitido transferir os gases comprimidos em depósitos de um cilindro para outro.

19.3.2 Armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos

Os cilindros de gás comprimido incompatíveis devem ser separados durante o armazenamento, de acordo com a Tabela 57, e devem seguir as regras de armazenamento em ambientes internos e externos.

Os requisitos gerais de separação são:

1. Os gases inflamáveis devem ser armazenados longe dos gases comburentes;
2. Os gases inertes podem ser armazenados com gases inflamáveis ou comburentes; e
3. Os gases de hidrocarboneto devem ficar localizados a pelo menos dois metros de qualquer gás comprimido inflamável e a pelo menos seis metros de cilindros com líquido inflamável, combustível, comburente, corrosivo ou tóxico.

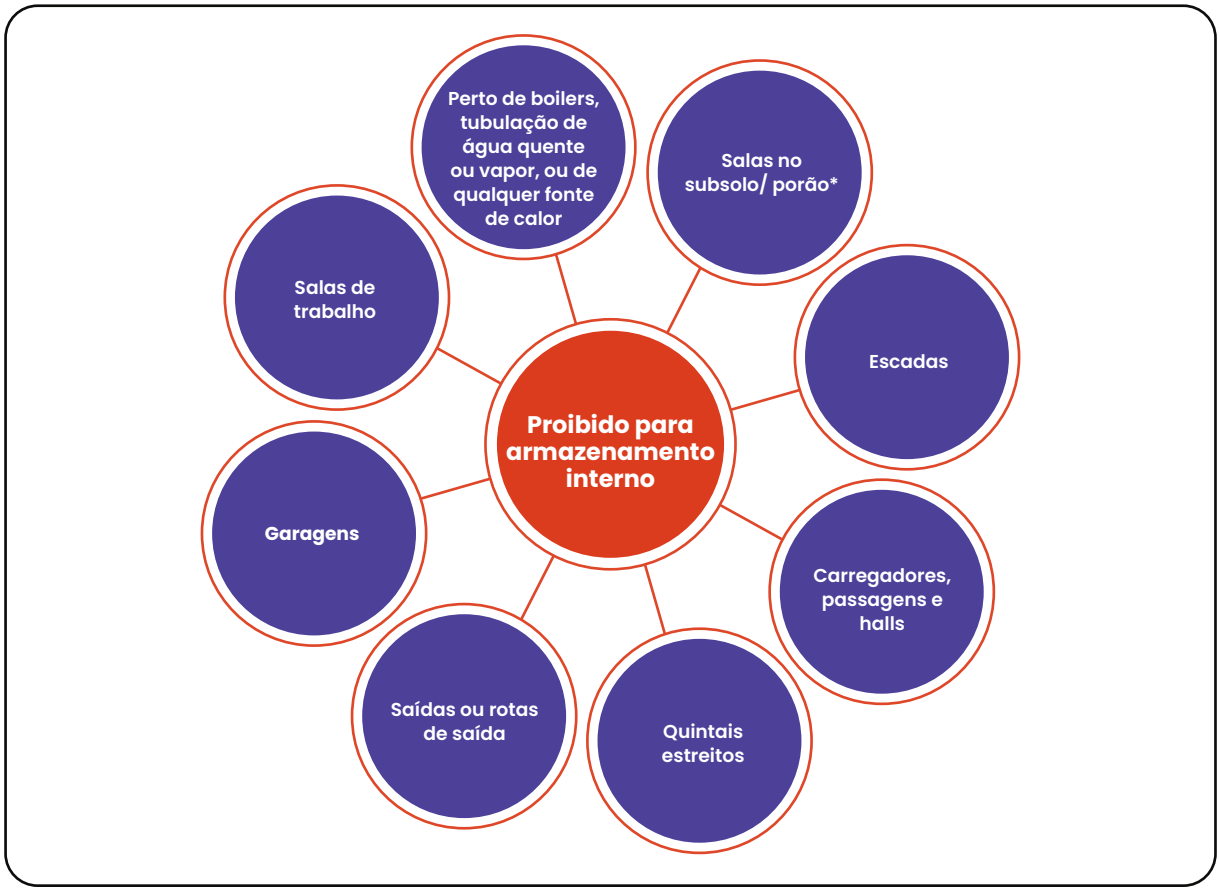
Tabela 57 — Compatibilidade de gases para armazenamento

Categoria de gás armazenado	Inflamáveis	Inertes	Tóxicos	Corrosivos	Oxidantes
Inflamáveis		Compatíveis	Incompatíveis — não armazene junto!	Incompatíveis — não armazene junto!	Incompatíveis — não armazene junto!
Inertes	Compatíveis		Compatíveis	Compatíveis	Compatíveis
Tóxicos	Incompatíveis — não armazene junto!	Compatíveis		Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!	Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!
Corrosivos	Incompatíveis — não armazene junto!	Compatíveis	Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!		Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!
Oxidantes	Incompatíveis — não armazene junto!	Compatíveis	Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!	Incompatíveis — armazene a dois metros de distância!	

Fonte: Rolf Huehren.

A Figura 176 ilustra onde é proibido o armazenamento interno de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos*.

Figura 176 — Proibido para armazenamento interno



Fonte: Rolf Huehren.

*Exceção: o armazenamento abaixo do nível do solo é permitido se o piso do depósito não estiver a mais que 1,5 metro abaixo do nível do solo e se a sala contar com ventilação natural, se a seção cruzada da ventilação total for ≥ 10% do espaço do piso e não mais que 50 cilindros cheios de gás liquefeito estiverem armazenados.

No tópico a seguir, uma lista traz uma compilação das exigências para depósitos internos.

19.3.2.1 Configuração do depósito interno

1. Os tetos, divisórias e paredes externas de depósitos devem ser pelo menos retardantes de incêndio. Os pisos devem ser feitos de material retardante de chamas;
2. Os telhados devem ser resistentes a faíscas voadoras e a calor radiante;
3. Depósitos adjacentes a uma rota de transporte público devem ser construídos desse lado com uma parede sem portas com altura de até 2,00 m, sem janelas que possam ser abertas nem outras aberturas;
4. Os depósitos devem ficar separados de salas adjacentes por portas corta-fogo com sistema de fechamento automático;
5. Nos depósitos, não pode haver fossos, canais, ralos nem aberturas para limpeza de chaminé;
6. Os depósitos devem ser bem ventilados. A ventilação natural é suficiente se houver aberturas diretas de fornecimento e exaustão de ar para o exterior, com uma seção transversal mínima de 1/100 da área de piso da sala; e
7. Os depósitos devem ser bem iluminados.

19.3.2.2 Condições de armazenamento

1. Providencie aberturas de ventilação organizadas na diagonal na sala;
2. Não armazene cilindros de gás comprimido junto com material inflamável como madeira e papel;
3. Assegure a posição estável dos cilindros com nivelamento em piso sólido;
4. Não armazene cilindros de gás cheios perto de fontes de calor; e
5. A distância dos cilindros de gás comprimido até os radiadores deve ser de pelo menos 0,50 metros.

19.3.2.3 Gases inflamáveis

1. Os depósitos para cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis devem apresentar pelo menos uma saída para o exterior;
2. Em depósitos para gases inflamáveis, podem ser usados apenas sistemas e equipamentos elétricos com projeto à prova de explosão;
3. Os cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis devem ser rodeados por uma área protegida. Não pode haver fontes de ignição dentro da área protegida. Deve haver uma sinalização de aviso claramente visível e legível. Para salas com área de piso < 20 m², a sala inteira é uma área protegida;
4. Os cilindros com gás comprimido e liquefeito contendo gases inflamáveis (acetileno, GLP, fluido refrigerante) e gases comburentes (oxigênio) podem ser armazenados juntos se:
5. A quantidade total não ultrapassar 150 cilindros de gás comprimido; e
6. For mantido um espaço de pelo menos 2,0 m entre diferentes categorias de armazenamento (inflamáveis mais pesados, inflamáveis mais leves, oxidantes, tóxicos etc.).

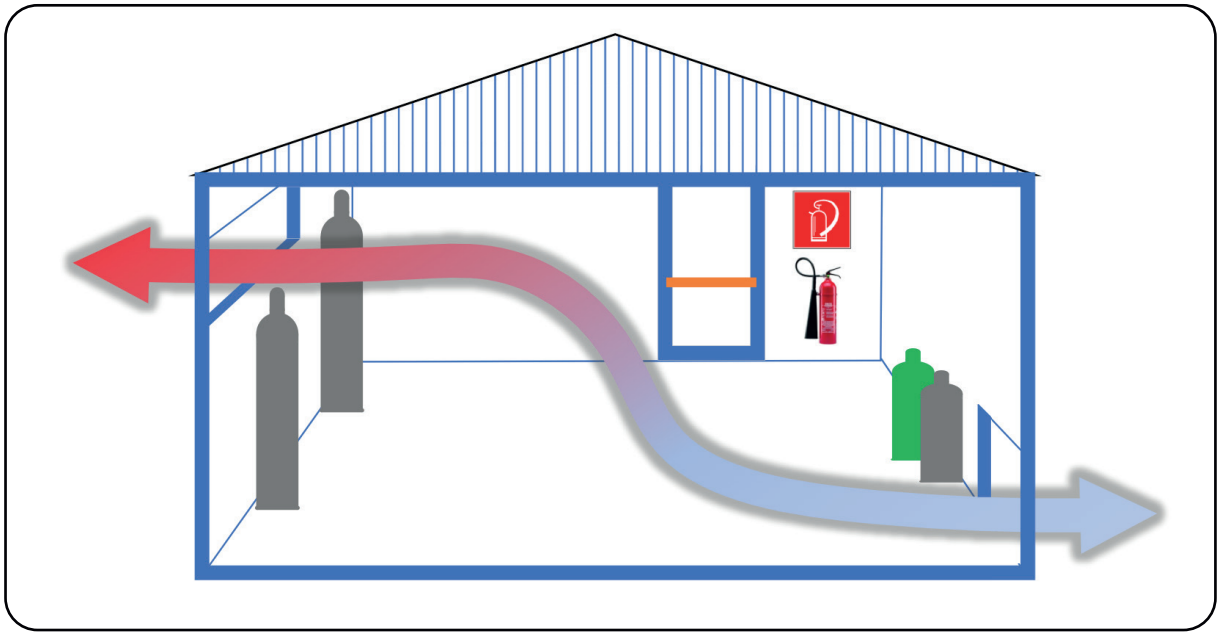
Os depósitos precisam ser marcados de forma apropriada. A Figura 177 mostra exemplos de sinalização que poderia ser afixada no depósito/na porta do depósito.

Figura 177 — Exemplos de sinalização para armazenamento de gases inflamáveis

Fonte: Rolf Huehren.

A ventilação (ventilação cruzada) da área de armazenamento é importante, conforme mostrado na Figura 178.

Figura 178 — Ventilação (ventilação cruzada) da área de armazenamento

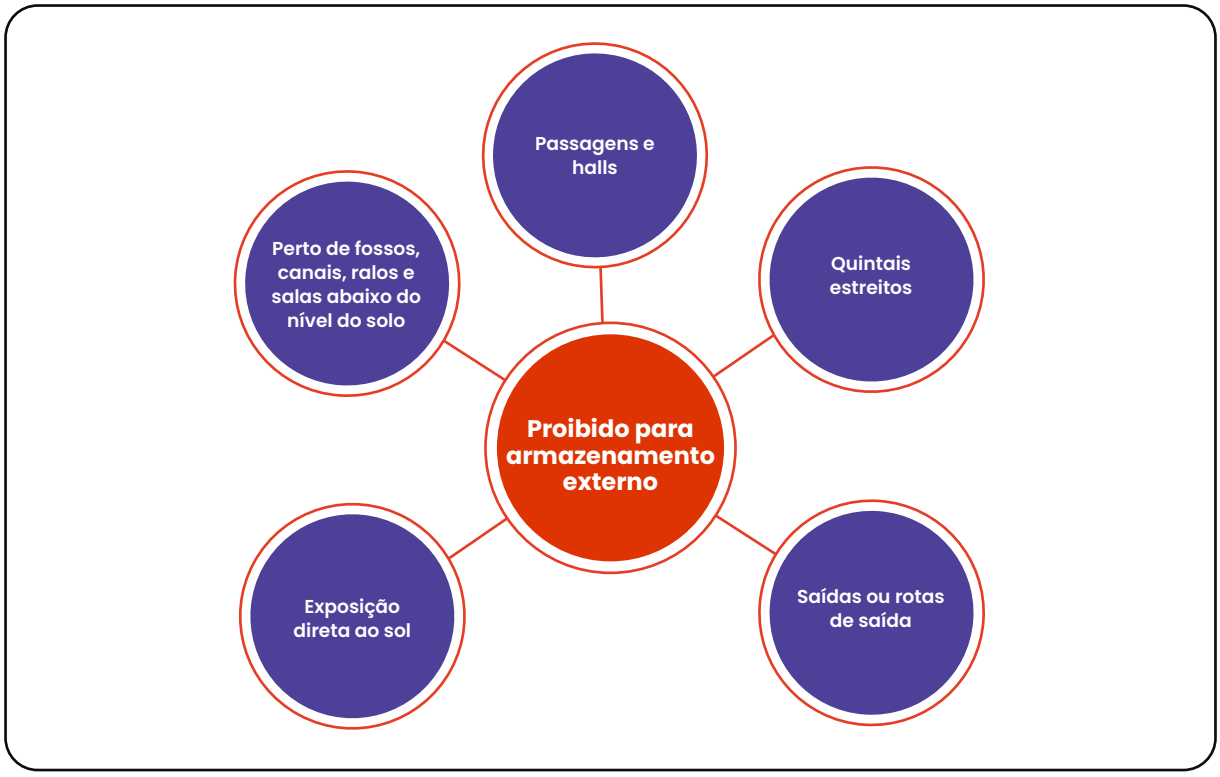


Fonte: Rolf Huehren.

19.3.3 Armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos

A Figura 179 ilustra onde é proibido o armazenamento externo de cilindros de gases comprimidos e liquefeitos.

Figura 179 — Proibido para armazenamento externo



Fonte: Rolf Huehren.

O tópico a seguir traz uma compilação das exigências para depósitos externos.

19.3.3.1 Configuração de depósito externo

1. Os depósitos em áreas externas não fechadas devem ter uma cerca;
2. Uma distância segura ≥ 5,00 m em relação a instalações e equipamentos adjacentes deve ser observada se houver algum perigo como, por exemplo, emanação de calor perigoso; e
3. A área de proteção não deve se estender até propriedades vizinhas e áreas de tráfego público.

19.3.3.2 Gases inflamáveis

1. Para cilindros de gás comprimido com gases inflamáveis, a área protegida não deve conter fontes de ignição, fossos, canais, ralos ou escadas de acesso ao porão; e
2. Os cilindros de armazenamento com gases inflamáveis ou agudamente tóxicos de Categoria 1 ou 2 adjacentes à rota de transporte público devem ficar separados no lado adjacente à rota de tráfego com uma parede sem portas.

19.3.3.3 Condições de armazenamento

1. A área de proteção pode ter no máximo dois lados limitados com material não inflamável com paredes protetoras de pelo menos 2,00 m de altura, sem abertura; e
2. Proteja os cilindros de gás liquefeito pressurizados contra a luz solar direta.

Os depósitos precisam ser marcados de forma apropriada. Exemplos que poderiam ser afixados no depósito/na porta do depósito são mostrados na Figura 177.

19.4 Transporte de cilindros

19.4.1 Perigos e precauções

Durante o transporte de cilindros de gás pressurizado, existe risco de incêndio e explosão.

Precauções

- Os cilindros de gás comprimido devem apresentar o rótulo de acordo com as regras do GHS/CLP;
- Não movimente o cilindro com o regulador conectado a ele;
- Proteja as tampas do cilindro durante o transporte;
- Mantenha a tampa do cilindro no lugar até que o cilindro esteja protegido e pronto para uso; e
- Durante o manuseio de cilindros de gás, os equipamentos de segurança apropriados, tais como extintores de incêndio adequados, luvas e óculos de proteção, etc. devem estar prontos para o uso.

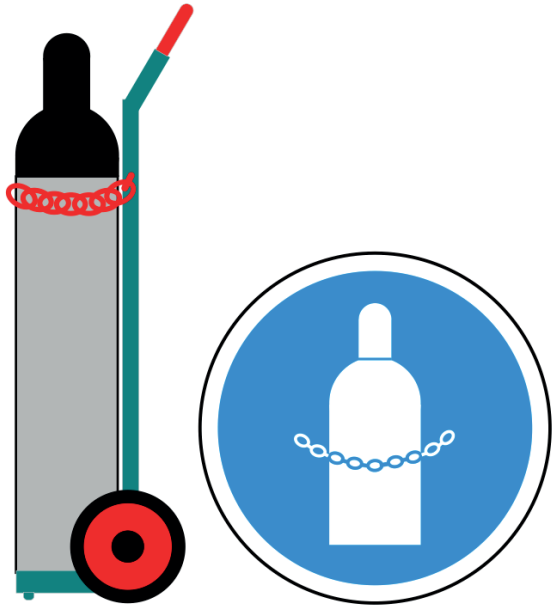
19.4.2 Transporte de cilindros de gás em ambientes internos

Respeite as precauções, apresentadas no quadro a seguir, para evitar lesões causadas pelo manuseio impróprio de cilindros de gás comprimido quando for transportar cilindros de uma área de armazenamento para uma oficina ou área de trabalho.

Precauções

- Participe de treinamento e obtenha as informações apropriadas antes de usar um cilindro de gás;
- Proteja os cilindros de gás comprimido contra impacto:
  - Não jogue os cilindros nem os deixe cair;
  - Não bata um cilindro contra o outro;
  - Não arraste nem carregue cilindros sem equipamentos de proteção; e
  - Não role os cilindros pelo chão.
- Nunca erga os cilindros pela tampa; e
- Use um carrinho de mão adequado projetado para o transporte de cilindros e proteja o(s) cilindro(s) com uma correia ou cinta (veja a Figura 180).

Figura 180 — Carrinho de mão para o transporte de cilindros com uma correia ou cinta para proteger o cilindro



Fonte: Rolf Huehren.

19.4.3 Transporte de cilindros de gás em ambientes externos

Todos os cilindros pressurizados representam um perigo de “explosão”. A explosão de gás em veículo de serviço (furgão, carro de passageiros, van ou trailer) acarreta consequências devastadoras.

Atenção

- Os cilindros de gás comprimido devem ser especificamente protegidos durante o transporte. Proteja a carga do veículo de serviço contra rolamento, cuidando do posicionamento dos cilindros, providenciando calços ou amarrando os cilindros. É importante que haja uma distribuição uniforme da carga; e
- Especificamente, se os cilindros de gás começarem a rolar sem proteção, pode ocorrer vazamento na válvula e isso cria misturas explosivas no ar. Gases tóxicos, narcóticos ou asfixiantes também podem fazer com que o motorista fique inconsciente enquanto dirige.

Motos e bicicletas não são veículos adequados para o transporte de cilindros de gás pressurizado.

Precauções

1. Use um veículo com ventilação suficiente:
   - Os furgões devem ter pelo menos duas aberturas de pelo menos 100 cm^2 cada, uma na área do piso e uma na altura do teto, que não devem ficar cobertas nem vedadas. As aberturas devem passar por inspeção regular;
   - Em uma van, abra a janela lateral / teto deslizante ou ajuste o ventilador para ar externo e nível mais alto;
   - Por questão de segurança no caso de cargas em geral, os carros de passeio não são adequados para o transporte de cilindros de gás comprimido, exceto se for possível prender os cilindros de modo seguro. Portanto, o transporte de cilindros de gás comprimido em carros de passeio deve ocorrer apenas ocasionalmente, por um curto período. Quando transportar cilindros no porta-malas, a tampa traseira deve ficar em uma posição entreaberta, e a descarga deve ser feita imediatamente após o transporte; e
   - A temperatura no compartimento do carro/veículo não deve ultrapassar 60 °C.
2. Antes de carregar, verifique com cuidado se todas as válvulas dos cilindros estão fechadas e se os dispositivos de proteção das válvulas (colares de proteção, tampas de proteção) estão instalados corretamente. Nunca transporte cilindros de gás comprimido com regulador de pressão conectado ou outros acessórios;
3. Se necessário, prenda bem a vedação na parte lateral da válvula;
4. Teste para ver se não há possíveis vazamentos de gás (por exemplo, usando spray de detecção de vazamento ou

5 solução de espuma de sabão);

Proteja os cilindros de gás adequadamente contra escorregões, rolamentos e quedas; nunca "jogue os cilindros no porta-malas rapidinho":

- Use uma van equipada com os suportes necessários para o transporte de cilindros de gás comprimido;
- Se necessário, transporte os cilindros de gás comprimido horizontalmente na direção longitudinal do veículo ou perto de uma parede; proteja-os contra rolamento, cuidando do posicionamento dos cilindros, providenciando calços ou amarrando os cilindros. É importante que haja uma distribuição uniforme da carga;
- Também é possível transportar cilindros de gás comprimido com segurança usando paletes de madeira invertidos. Confira se os cilindros de gás comprimido estão amarrados aos paletes de madeira com firmeza. O próprio palete de madeira também deve ser amarrado com cintas de fixação em pontos adequados na carroceria ou no piso do veículo;
- Só transporte cilindros de gás comprimido em pé se eles estiverem devidamente protegidos contra queda (ex.: uso de suportes na lateral ou extremidade da parede); e
- O transporte de cilindros de gás em pé em trailer é permitido, contanto que seja garantida a proteção adequada da carga, bem como o ponto de equilíbrio e a carga vertical aplicada pelo trailer.

6 Verifique se um extintor de incêndio adequado (ex.: extintor de pó, quantidade mínima de 2 kg) esteja facilmente acessível no veículo (recomendação: extintor de incêndio com quantidade mínima de 6 kg);

7 Não deixe veículos com cilindros de gás pressurizado sem supervisão em rodovias públicas ou praças; e

8 É proibido fumar no veículo ou perto dele.

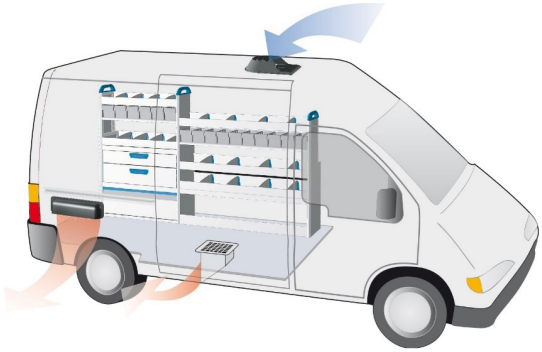
19.4.4 Ventilação durante o transporte

A ventilação é de suma importância durante o transporte de produtos perigosos, para evitar o acúmulo em níveis perigosos durante o transporte. Em geral, os regulamentos falam de "ventilação suficiente", sem especificar os detalhes. O tamanho específico das aberturas de ventilação não pode ser definido com precisão para cada tipo de veículo, já que são diferentes as condições de cada modelo de veículo.

A entrada e a extração de ar são os dois sistemas de ventilação do veículo de serviço. A decisão sobre qual dos dois sistemas deve ser escolhido depende dos valores específicos de gravidade dos gases transportados. Na maioria dos casos, é transportada uma mistura de gases, solventes e outros produtos perigosos que exigem ventilação. Portanto, a transportadora responsável pelo carro e o motorista devem decidir em cada caso como operar o sistema específico de ventilação necessária (estão disponíveis componentes do sistema para função dupla).

As Figuras 181 e 182, na sequência, ilustram exemplos de sistemas de entrada de ar e extração de ar para ventilação controlada no carro.

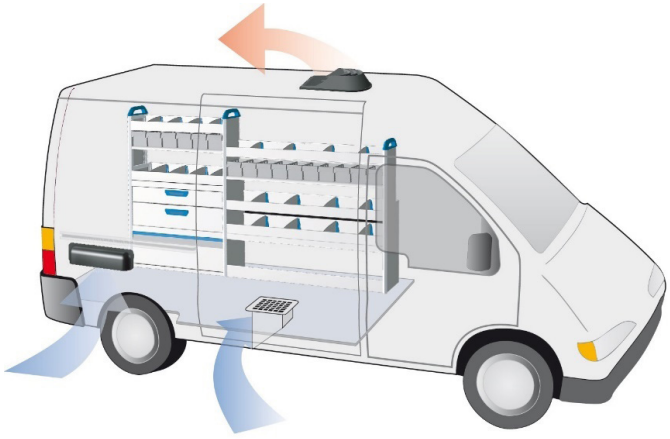
Figura 181 — Sistema de entrada de ar



Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.

A abertura no teto cria uma sobrepressão, que empurra os gases pesados, como o R-290 (propano), o GLP e outros HCs, e a maioria dos fluidos refrigerantes HCFC/HFC para fora através da abertura inferior (e abertura lateral).
A ventilação também é útil para dióxido de carbono (CO_2).

Figura 182 — Sistema de extração de ar



Fonte: Sortimo International GmbH, Alemanha.

Aqui, o ar fresco é sugado para dentro do compartimento através das aberturas no teto ou na lateral devido à pressão negativa.
Gases leves como o acetileno, a amônia e o nitrogênio podem ser ventilados para cima com facilidade.
(Também é necessário fazer a ventilação para misturas de nitrogênio/hidrogênio).

19.5 Regulamentos sobre o transporte de fluidos refrigerantes

Qualquer veículo de serviço usado no trabalho diário para instalação e reparos de aparelhos/sistemas de AVAC-R precisa transportar gases técnicos, incluindo:

- Uma série de fluidos refrigerantes;
- Gases de combustão para procedimentos de brasagem;
- Gases inflamáveis como acetileno e GLP para brasagem e solda;
- Oxigênio;
- Nitrogênio; e
- Substâncias usadas em limpeza.

As pessoas responsáveis (proprietários de empresas, especialistas em refrigeração) têm que considerar os requisitos regulatórios para o transporte de produtos perigosos. As regulamentações e normas nacionais devem ser revistas e aplicadas. Além disso, existem inúmeros requisitos regulatórios internacionais. Eles costumam ser incorporados às regulamentações nacionais.

Os seguintes requisitos regulatórios são relevantes:

- Acordo europeu sobre o transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia (ADR) com várias seções específicas; ex.: P200 (instruções de embalagem para cilindros, tubos, tambores de pressão e conjuntos de cilindros). Comissão econômica para o comitê europeu de transporte terrestre (última versão publicada em 1º de janeiro de 2017). Os pictogramas usados aparecem na Figura 184;
- Regulamento para transporte internacional de mercadorias perigosas por trilho (RID) em transporte ferroviário. Os pictogramas usados aparecem na Figura 184;
- Código marítimo internacional de produtos perigosos (IMDG) para navegação internacional. Os pictogramas usados aparecem na Figura 184;
- Instruções técnicas para o transporte seguro de artigos perigosos por via aérea (OACI-IT), publicadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Elas são assumidas pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) com os Regulamentos de produtos perigosos da IATA (IATA-DGR). Os pictogramas usados aparecem na Figura 184;
- Regulamento federal do equivalente ao Ministério dos Transportes dos EUA (DOT). São usados pictogramas parecidos com os mostrados na Figura 184. Consulte o Gráfico 15 (Chart 15) do DOT em http://phmsa.dot.gov/hazmat;
- Norma AHRI (Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração);
- Os requisitos de marcação do DOT para as especificações de cilindros e tubos estão listados nos Regulamentos de materiais perigosos do Ministério dos Transportes dos EUA, no *Título 49 do Código de Regulamentos Federais dos EUA* (49 CFR);
- A especificação da *Transport Canada* (TC) estabelece que os

- cilindros e tubos devem ser projetados, manufaturados, testados inicialmente, inspecionados inicialmente e marcados conforme os requisitos estabelecidos na norma CSA B339 “Cilindros, esferas e tubos para o transporte de produtos perigosos”; e

- No Brasil, o transporte rodoviário de cargas perigosas é regulamentado pela Lei nº 10.233, de 2001, e por resoluções da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). A regulamentação brasileira baseia-se nas recomendações internacionais emanadas pelo Comitê de Peritos no Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas, publicadas no Regulamento Modelo, conhecido como “*Orange Book*”, atualizado periodicamente, bem como no Acordo Europeu para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (ADR). Importante destacar que a referida regulamentação é atualizada periodicamente pelo órgão competente, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), tendo como base tanto as revisões ocorridas nos normativos internacionais, quanto as discussões com o setor regulado, que culminam em sugestões de aprimoramento das prescrições vigentes. A Resolução ANTT nº 6.016, de maio de 2023, é a mais recente atualização das regras sobre transporte rodoviário de produtos perigosos.

O manuseio de produtos perigosos foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos Regulamentos modelo da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (CEE-ONU), Divisão de Transportes. No entanto, várias normas evoluíram, e desde o ano 2000 a ONU tem procurado padronizar os regulamentos como um sistema globalmente harmonizado de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS).

O Regulamento (CE) No 1272/2008 sobre a classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (Regulamento CLP) alinha a legislação da UE com o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS).

No Brasil, a Norma ABNT NBR 14725 é uma das regulamentações mais importantes relacionadas à aplicação do GHS, em território nacional. Ela desempenha um papel fundamental ao fornecer os critérios para a classificação de produtos químicos de acordo com o GHS, bem como as instruções para elaboração da FISPQ e da etiqueta, que são documentos essenciais para a comunicação dos perigos associados aos produtos químicos.

Os perigos decorrentes de produtos químicos são indicados por meio de palavras de sinalização e pictogramas nas etiquetas, bem como nas fichas de segurança.

A última atualização da norma ABNT NBR 14725 foi publicada em 2023, de acordo com a 7ª atualização do GHS, que substituiu os conhecidos símbolos na cor laranja por novos pictogramas com um retângulo vermelho em volta (mais informações na Figura 183).

Figura 183 — Símbolos de perigo

Pictogramas do GHS/CLP				
Perigos físicos				
Explosivos	Líquidos inflamáveis	Líquidos comburentes	Gases comprimidos	Corrosivos para metais
Perigos para a saúde				**Perigos ambientais**
Toxicidade aguda	Corrosão da pele	Irritação da pele	CMR[1], STOT[2] Perigo de aspiração	Perigoso para o ambiente aquático

[1]*CMR = Convenção sobre o contrato de transporte internacional de mercadorias perigosas por rodovia*
[2]*STOT = Toxicidade específica em determinado órgão*

Fonte: GHS/CLP.

“Produtos perigosos” são substâncias e objetos que, devido à sua natureza, propriedades ou condição, podem representar um risco para a segurança pública, em particular ao público em geral, a bens comuns importantes, à vida e à saúde de seres humanos e animais, e ao meio ambiente em conexão com o transporte desses produtos.

Quando substâncias ou objetos com propriedades perigosas são transportados em rodovias públicas/propriedades públicas, devem ser observadas as disposições da respectiva legislação sobre produtos perigosos. As substâncias ou objetos perigosos podem ser reconhecidos pelas respectivas marcações (para exemplos, veja a Figura 184).

Figura 184 — ADR — Etiquetas para classes de produtos perigosos

Pictogramas do ADR				
1 Explosivos	2.1 Gases inflamáveis	2.2 Gases não tóxicos e não inflamáveis	2.3 Gases venenosos	3 Líquidos inflamáveis
4.1 Sólidos inflamáveis	4.2 Combustíveis espontâneos	4.3 Perigosos quando úmidos	5.1 Oxidantes	5.2 Peróxidos orgânicos
6.1 Venenos	6.2 Substâncias infecciosas	7 Radioativos	8 Corrosivos	9 Substâncias perigosas diversas

Fonte: ONU.

A Tabela 58 fornece exemplos de produtos perigosos que podem ser importantes para empresas de AVAC-R e pictogramas de classe de perigo (mostrados na Figura 184).

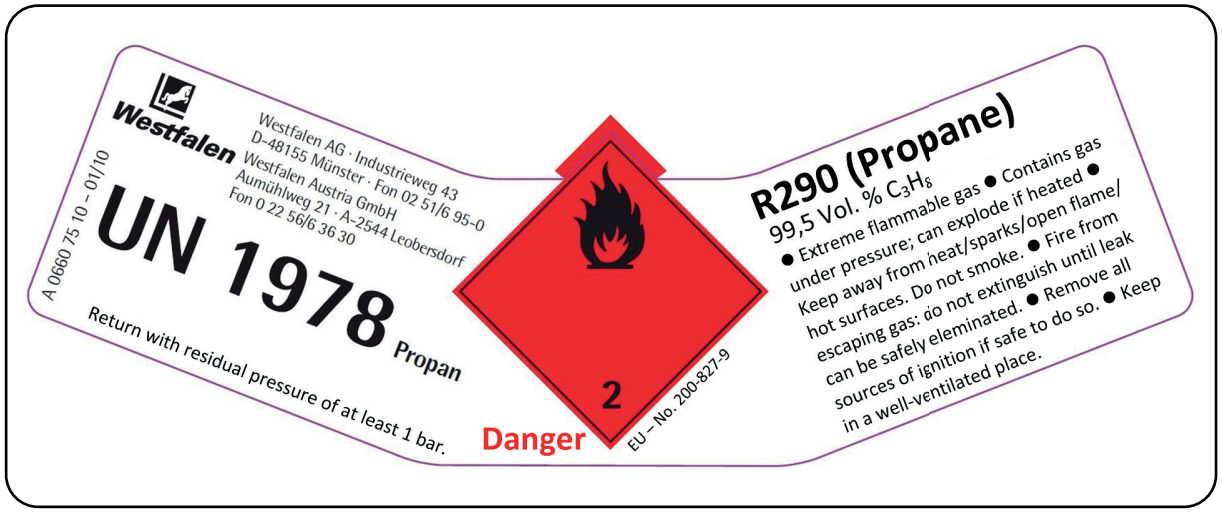
Tabela 58 — Produtos mais comuns transportados por empresas de RAC

Propriedades	Classe de perigo	Exemplo
Substâncias explosivas, objetos, artigos contendo substâncias explosivas	1	Cartuchos para dispositivos de fixação de parafusos.
Gases comprimidos, liquefeitos dissolvidos sob pressão	2	Gás líquido, fluido refrigerante, acetileno e oxigênio: 2TC = gás liquefeito, tóxico, corrosivo (NH_3).
Líquidos inflamáveis	3	Petróleo, diesel, vernizes e tintas inflamáveis, e sólidos inflamáveis.
Sólidos inflamáveis	4.1	Trapos oleosos e agentes de ligação.
Substâncias sujeitas a combustão espontânea	4.2	Trapos de limpeza usados com óleos.
Peróxidos orgânicos	5.2	Endurecedores para enchimentos.
Substâncias tóxicas	6.1	Desengordurantes à base de cloro, pesticidas e tintas.
Substâncias radioativas	7	Instrumentos de medição contendo substâncias radioativas.
Substâncias corrosivas	8	Agentes de limpeza ácidos e alcalinos, produtos de limpeza, ácido de bateria e endurecedor epóxi.
Substâncias e objetos perigosos diversos	9	Substâncias aquecidas, *airbags* e amianto.

Fonte: Rolf Huehren.

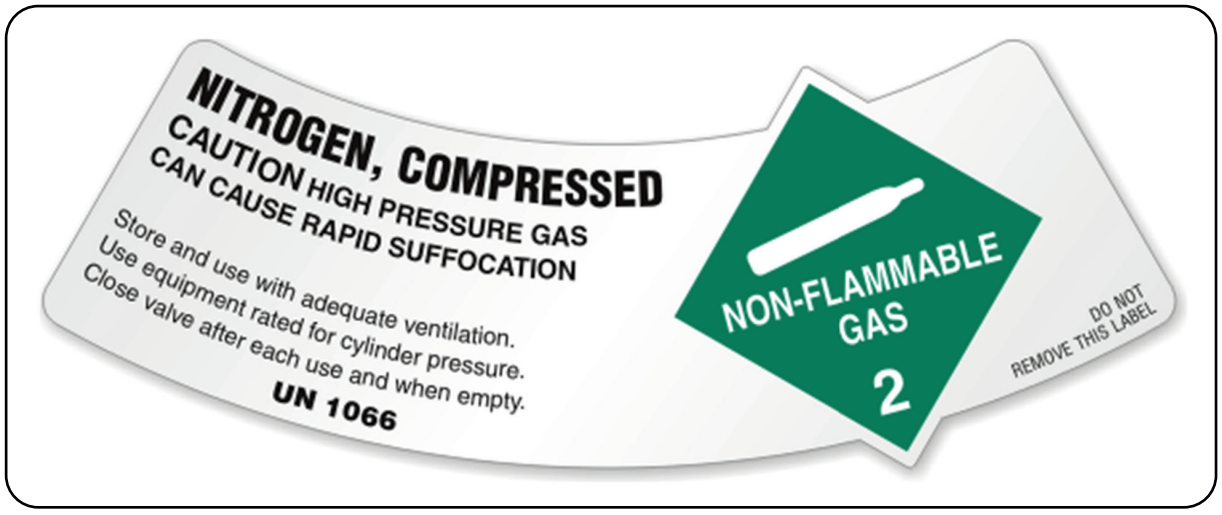
As Figuras 185, 186 e 187, apresentadas a seguir, mostram exemplos de etiquetas em cilindros de fluidos refrigerantes e em cilindros de gás.

Figura 185 — Exemplo de etiqueta em cilindro de fluido refrigerante para o R-290



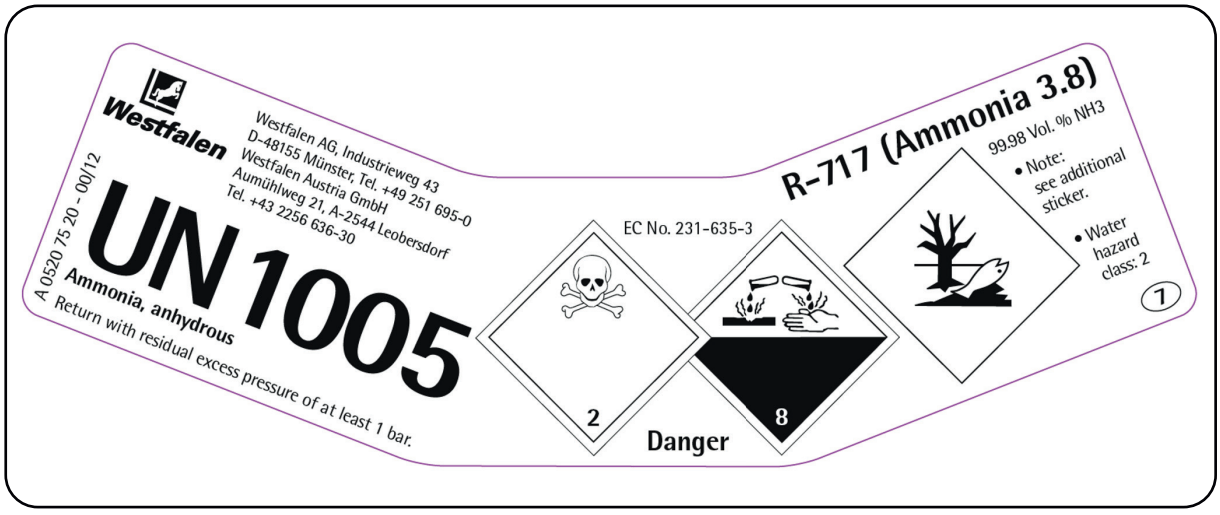
Fonte: Westfalen AG.

Figura 186 — Exemplo de etiqueta em cilindro de gás comprimido para o nitrogênio



Fonte: GasCo International.

Figura 187 — Exemplo de etiqueta em cilindro de fluido refrigerante para o R-717



Fonte: Westfalen AG.

Existe um regulamento de exceção referente a produtos perigosos e gases de fluidos refrigerantes (liquefeitos) e comprimidos para empresas artesanais de AVAC-R de acordo com o regulamento de transporte ADR para carros de serviço (artigo 1.1.3.6), após um regulamento de 1.000 créditos.

Para o transporte de fluidos refrigerantes de classes de segurança A2, A2L e A3, as mesmas regras, isenções e exceções do ADR se aplicam em princípio como para todos os demais produtos perigosos (gás de combustão, fluido de desinfecção, produtos químicos usados na construção, etc.). Portanto, a quantidade máxima de transporte de 1.000 (créditos de cálculo) deve ser respeitada aqui também (veja também a Tabela 18 no Capítulo 6).

Porém, os fluidos refrigerantes inflamáveis comuns têm o mesmo código de classificação 2 F (inflamáveis) e um fator de multiplicação de 3. Em termos práticos, isso significa que se apenas um tipo de fluido refrigerante tivesse que ser transportado, poderia ser carregado no máximo 1.000 kg (fator de multiplicação 1) no caso de fluido refrigerante de classe de segurança A 1. Já para fluidos refrigerantes inflamáveis (A2L, A2 e A3) são permitidos no máximo 333 kg.

Na prática, diferentes gases e outros produtos perigosos costumam ser carregados para atividades de transporte, instalação e serviço. É preciso multiplicar pelo respectivo fator e somar tudo.

Devido à carga máxima dos veículos, os limites de quantidade não devem ser um problema real na prática.

Para a segurança dos ocupantes do veículo, é de especial importância garantir a ventilação adequada do veículo no caso de gases inflamáveis. Se houver vazamento de gás dos cilindros, o perigo aqui é muito maior do que com fluidos refrigerantes "convencionais". Por um lado, por exemplo, de uma concentração de 2,1 % de propano (R-290 ou gás de combustão) no ar (LII), ocorre uma atmosfera explosiva que pode pegar fogo com uma faísca de ignição (estática, elétrica, chama...). Por outro lado, como todos os demais fluidos refrigerantes (exceto o R-717), o gás propano apresenta efeito narcótico mesmo em baixas concentrações no ar respirado, o que também representa um risco direto para o motorista. Por esse motivo, deve-se garantir que a ventilação ocorra de acordo com o Capítulo 19.4.4.

Cálculo das quantidades máximas:

A soma dos produtos perigosos a serem transportados por veículo, inclusive trailer, não deve ultrapassar 1.000 créditos. O número da ONU para a substância é importante para determinar as entradas específicas e para localizar na etiqueta do fabricante da substância. Você pode encontrar mais informações em: https://adrdangerousgoods.com/eng/substances/.

A Tabela 59 fornece um cálculo simplificado para o transporte de produtos perigosos.

Tabela 59 — Cálculo simplificado para o transporte de produtos perigosos

Substância	Quantidade	Multiplicador	Observação
Líquido	Quantidade líquida em kg/L	3	Máximo de 1.000 créditos, transporte permitido.
Gás comprimido	Quantidade líquida em kg/L	3	
Sólidos	Quantidade líquida em kg/L	3	
Gás liquefeito e dissolvido	Quantidade líquida em kg	3	
Objetos	Quantidade líquida em kg	3	

Fonte: Regulamento de exceção do ADR 1.1.3.6.

Quais são os requisitos mínimos que os motoristas devem cumprir durante o transporte de exceção de produtos perigosos e o que deve ser destacado?

- O invólucro e os fechos do cilindro/embalagem dos produtos perigosos devem estar íntegros e ser à prova de vazamento;
- As tampas devem estar presas nos cilindros de gás;
- Deve-se garantir ventilação suficiente no veículo;
- Etiquetas de perigo de acordo com ADR e/ou observações/ símbolos de acordo com normas técnicas complementares devem ser afixadas na embalagem;
- Devem-se respeitar os limites de quantidade conforme a Tabela 59;
- Deve-se proteger a carga, em particular os cilindros de gás por suportes ou presos ao anteparo do veículo;
- O veículo deve estar em boas condições conforme as leis vigentes (pneus, lanternas, lataria);
- Kit de primeiros socorros;
- Colete de alta visibilidade, de acordo com Saúde e Segurança Ocupacional (SSO);
- É proibido fumar durante o trabalho de carregamento dentro e perto do veículo; e

- Se não houver nenhuma divisória entre os produtos perigosos e os compartimentos de passageiros, não é permitido fumar dentro do veículo.

Os requisitos são:

- Cumprimento dos limites de quantidades relevantes;
- Uso de embalagens ou bandejas de combinação (pacotes para carregar) para atender as condições desse tipo de embalagem;
- Marcação das embalagens com a expressão "quantidades limitadas";
- Em pacotes que contêm líquidos dentro de embalagens interiores firmemente fechadas de mais de 500 ml nas quais os fechos não sejam visíveis do lado de fora ou nas quais fechos de desgaseificação sejam usados, as setas de alinhamento devem ser posicionadas em dois lados opostos;
- Esse regulamento também se aplica a embalagens externas contendo produtos perigosos em embalagens internas que não ultrapassem 120 ml;
- A massa bruta de produtos perigosos em quantidades limitadas deve ser conhecida e registrada nos documentos associados;
- Não é exigido ter documentação completa de transporte de acordo com o ADR; e
- Dispor de um extintor de incêndio testado (mínimo de 2 kg) em um suporte apropriado.

Além disso, os seguintes documentos e equipamentos associados devem ser levados:

- Um documento de transporte contendo todas as informações da carga (por exemplo, nota fiscal) e FISPQ do produto perigoso transportado;
- Número da ONU (antecedido pelas letras “UN”);
- Designação oficial dos produtos de acordo com o ADR;
- Rótulo de risco (número de risco, riscos secundários entre colchetes);
- Grupo de embalagem;
- Código de restrição de túnel (entre colchetes), a menos que não seja usado nenhum túnel na rota de transporte;
- Observar “Perigoso para o meio ambiente” na embalagem marcada de acordo;
- Conforme a necessidade, observações (ex.: de regulamentos especiais);
- Número e tipo de embalagem (caixas, cilindros, tambores, sacos etc.);
- Massa bruta ou massa líquida ou volume (conforme a substância); e
- Declaração do expedidor com endereço do expedidor e do destinatário.

Referências

Referências

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. DIRETRIZ Q do AHRI Q: **Cylinder content recovery** (Recolhimento do conteúdo do cilindro) (8) ADR – P200, **Transport of dangerous goods** (Transporte de produtos perigosos). [S. l.: s. n.], 2010.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. **AHRI 700: Standard for Specifications for Fluorocarbon Refrigerants** (Norma para as especificações de fluidos refrigerantes de fluorocarbono), [S. l.: s. n.], 2017.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. **AHRI GUIDELINE N-2017 I: Assignment of Refrigerant Container Colours** (Diretriz N: Atribuição de cores para cilindros de fluidos refrigerantes). [*S. l.: s. n.*], 2019.

AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI GUIDELINE M do AHRI: **Unique Fittings and Service Ports for Flammable Refrigerant Use** (Diretriz M: Acessórios e portas de serviço exclusivos para uso com fluido refrigerante inflamável), [S. l.: s. n.], 2020.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME. **Boiler and Pressure Vessel Code** (Código de Caldeiras e Vasos de Pressão). [S. l.: s. n.], 2023.

ALEMANHA. **Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG, Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit** (Lei de Saúde e Segurança Ocupacional - ArbSchG, Lei sobre a implementação de medidas de saúde e segurança ocupacional para melhorar a segurança e a proteção da saúde dos funcionários no trabalho). Berlin, 1996. Disponível em: **<https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/BJNR124610996.html>**. Acesso em: 12 abr. 2024.

ALEMANHA. **Gefahrstoffverordnung – GefStoffV, Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen** (Portaria sobre Substâncias Perigosas - GefStoffV, Portaria

sobre Proteção contra Substâncias Perigosas). Berlin, 2010. Disponível em: **<https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/BJNR164400010.html>**. Acesso em: 12 abr. 2024.

ALEMANHA. **BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung** (BetrSichV, Portaria sobre Segurança e Saúde Industrial). Berlin, 2015. Disponível em: <**https://www.gesetze-im-internet.de/betrsichv_2015/**>. Acesso em: 12 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14725:2023: **Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente** — Aspectos gerais do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), classificação, FDS e rotulagem de produtos químicos. Rio de Janeiro, 2023 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7500:2023: **Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos**. Rio de Janeiro, 2023 b.

BRASIL. Lei nº 10.233, de 5 de Junho de 2001. **Regulamento sobre o transporte rodoviário de produtos perigosos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jun. 2001.

CROUSE-HINDS BY EATON**. Grundlagen Explosionsschutz** (Noções básicas de proteção contra explosão). Eberbach, 2013.

DANIEL, Colbourne. **History of Flammable Refrigerants**. IOR UK. Instituteof Refrigeration, (História dos fluidos refrigerantes inflamáveis), Daniel Colbourne, IOR UK. 2 dez 2021. Disponível em: < **https://www.researchgate.net/publication/361730319_The_knowledge_hub_for_refrigeration_air_conditioning_and_heat_pumps_History_of_Flammable_Refrigerants**>. Acesso em: 9 abr. 2024.

DGUV- DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG. **DGUV Vorschrift 1, Grundsätze der Prävention** (DGUV Regulamento 1, Princípios de prevenção). Berlin, 2014.

DGUV- DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG. **DGUV Regel 100-**

500, **Betreiben von Arbeitsmitteln, 2.35- Betreiben von Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen** (Regra DGUV 100-500, Operação de equipamentos de trabalho, 2.35- Operação de sistemas de refrigeração, bombas de calor e equipamentos de refrigeração). Berlin, 2021 a.

DGUV- DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG. **DGUV Regel 100-500**, **Betreiben von Arbeitsmitteln, 2.26- Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren** (Regra DGUV 100-500, Operação de equipamentos de trabalho, 2.26- Soldagem, corte e processos relacionados). Berlin, 2021 b.

DGUV- DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG. DGUV-Regel 113-001, **Explosionsschutz-**Regeln (EX-RL) (Regra DGUV 113-001, Normas de proteção contra explosão (EX-RL)). Berlin, 2022.

DOT Chart 15: **Hazardous Materials Markings, Labelling and Placarding Guide** (Guia de marcação, rotulagem e sinalização de materiais perigosos). [s.l.: s.n., s.d.].

ECKERT, Michael, KAUFFELD, Michael, SIEGISMUND, Volker. **Natural Refrigerants: Applications and Practical Guidelines** (Fluidos refrigerantes naturais: Aplicações e diretrizes práticas). VDE Verlag GmbH, 2022.

EIKENHORST, HEINZ. **Einführung in die Klimatisierung- Erläuterungen zum h-x-Diagramm** (Introdução à tecnologia de climatização - Explicações sobre o diagrama h-x). Essen, 1997.

EUROPA LEHRMITTEL. **Tabellenbuch, Wärme-Kälte-Klima** (Livro de mesa, Aquecimento, Refrigeração e clima). München, 2022.

EUROPEAN NORM. DIN 8941:1982, Formelzeichen, Einheiten und Indizes für die Kältetechnik. Symbols and units for refrigeration. [S. l.: s. n.], 1982.

EUROPEAN NORM. DIN EN1861:1998: **Refrigerating systems and heat pumps - System flow diagrams and piping and instrument diagrams** - *Layout and symbols* (Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Diagramas

de fluxo do sistema e diagramas de tubulação e instrumentação - layout e símbolos). [S. l.: s. n.], 1998.

EUROPEAN NORM. EN 473:2008: **Non-destructive testing - Qualification and Certification of NDT personnel** - *General principles* (Ensaios não destrutivos - Qualificação e certificação de pessoal em END - Princípios gerais). [S. l.: s. n.], 2008.

EUROPEAN NORM. EN 16084:2011, **Refrigerating systems and heat pumps — Qualification of tightness of components and joints** (Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Procedimento de verificação da estanqueidade de componentes e das juntas). [S. l.: s. n.], 2011.

EUROPEAN NORM. EN 378-2: 2016: **Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements** – *Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation* (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, segurança e requisitos ambientais – Parte 2: Projeto, construção, testes, marcação e documentação). [S. l.: s. n.], 2016 a.

EUROPEAN NORM. EN 378-3:2016+A1:2020: **Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements** - Part 3: *Installation site and personal protection* (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança, Parte 3: Proteção do pessoal e do local de instalação). [S. l.: s. n.], 2016 b.

EUROPEAN NORM. EN 378-4:2016+A1: 2019: **Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements** - Part 4: *Operation, maintenance, repair and recovery* (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança, Parte 4: Operação, manutenção, reparos e regeneração). [S. l.: s. n.], 2019 a.

EUROPEAN NORM. EN 1127-1:2019. **Explosive atmospheres — Explosion prevention and protection — Part 1: Basic concepts and methodology** (Atmosferas explosivas — Prevenção de explosão e proteção contra explosão: — Parte 1: Conceitos básicos e metodologia). [S. l.: s. n.], 2019 b.

EUROPEAN NORM. EN 1127-1: 2019: **Explosive atmospheres - Explosion prevention and protection** - Part 1: *Basic concepts and methodology (Atmosferas explosivas* — Prevenção de explosão e proteção contra explosão — Parte 1: Conceitos básicos e metodologia). [S. l.: s. n.], 2019 c.

EUROPEAN NORM. EN 378-1:2016+A1:2020: **Refrigerating systems and heat pumps, safety and environmental requirements -** Part 1: Basic *requirements, definitions, classification and selection criteria* (Sistemas de refrigeração e bombas de calor, requisitos ambientais e de segurança, Parte 1: Requisitos básicos, definições, classificação e critérios de seleção). [S. l.: s. n.], 2020 a.

EUROPEAN NORM. DIN EN 14624:2020: **Performances of mobile leak detectors and of room controllers of halogenated refrigerants** (Desempenho de detectores de vazamento portáteis e ambientes para fluidos refrigerantes halogenados). [S. l.: s. n.], 2020 b.

EUROPEAN UNION, CECOMAF, **Terminology for refrigeration products** (Terminologia de produtos de refrigeração), C.F. Müller Verlag, 2015. Disponível em: < **https://publications.europa.eu/resource/cellar/6c325b55-7352-11e5-86db-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1**>. Acesso em: 9 abr. 2024.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRGS 727, Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen** (TRGS 727, Prevenção de riscos de ignição devido a cargas eletrostáticas). Dortmund, 2016.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 1111, Gefährdungsbeurteilung** (TRBS 1111, Avaliação de riscos). Dortmund, 2018.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 1201, Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen** (TRBS, 1201, Testes e inspeções de equipamentos e sistemas de trabalho que exigem monitoramento). Dortmund, 2019 a.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 1112, Instandhaltung** (TRBS 1112, Manutenção). Dortmund, 2019 b.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 1203, Zur Prüfung befähigte Personen** (TRBS 1203, Pessoas autorizadas a inspecionar). Dortmund, 2019 c.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 2141, Gefährdungen durch Dampf und Druck** (TRBS 2141, Perigos devido a vapor e pressão). Dortmund, 2019 d.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRGS 720, Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines** (TRGS 720, Misturas explosivas perigosas – Informações gerais). Dortmund, 2020 a.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRGS 721, Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung der Explosionsgefährdung** (TRGS 721, Misturas explosivas perigosas – Avaliação do risco de explosão. Dortmund, 2020 b.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRGS 725, Gefährliche, explosionsfähige Atmosphäre – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen** (TRGS 725, Atmosferas perigosas e potencialmente explosivas - Equipamentos de medição, controle e regulagem como parte das medidas de proteção contra explosão). Dortmund, 2023.

FEDERAL GERMAN INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (BAUA). **TRBS 1112 Teil 1, Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten – Beurteilungen und Schutzmaßnahmen** (TRBS 1112 Parte 1, Riscos de explosão durante e devido ao trabalho de manutenção - Avaliações e medidas de proteção). Dortmund, 2024.

GROTE, K.-H.; FELDHUSEN, J. (Hrsg.). **Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau** (Dubbel - Livro de bolso para engenharia mecânica). Berlin, Heidelberg, 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60204-1:2016: **Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements** (Segurança de máquinas — Equipamentos elétricos de máquinas — Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2016 a.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-29-1: 2016: **Explosive atmosphere**s - Part 29-1: *Gas detectors - Performance requirements of detectors for flammable gases* (Atmosferas explosivas - Parte 29-1: Detectores de gás – Requisitos de desempenho de detectores para gases inflamáveis).). [S. l.: s. n.], 2016 b.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-89: **Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances with an incorporated or remote refrigerant condensing unit or compressor** (Aparelhos eletrodomésticos e similares — Segurança — Parte 2-89: Requisitos particulares para aparelhos de refrigeração comercial com uma unidade condensadora do fluido refrigerante incorporada ou remota, ou com um compressor). [S. l.: s. n.], 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-1: **Safety of household and similar electrical appliances — Part 1: General requirements** (Segurança de aparelhos eletrodomésticos e similares — Parte 1: Requisitos gerais). [S. l.: s. n.], 2020 a.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-24: **Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-24: Particular. requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice makers** (Aparelhos eletrodomésticos e similares — Segurança — Parte 2-24: Requisitos particulares para aparelhos de refrigeração, e para máquinas de fazer sorvete e gelo). [S. l.: s. n.], 2020 b.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-34: **Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-34: Particular requirements for motor-compressors** (Aparelhos eletrodomésticos e similares — Segurança — Parte 2-34: Requisitos particulares para compressores). [S. l.: s. n.], 2021 a.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60079-10-1:2020-COR1:2021: **Explosive atmospheres** - Part 10-1: *Classification of areas - Explosive gas atmospheres* (Atmosferas explosivas - Parte 10-1: Classificação de áreas - Atmosferas de gás explosivo). [S. l.: s. n.], 2021 b.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60335-2-40: **Household and similar electrical appliances — Safety — Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers** (Aparelhos eletrodomésticos e similares — Segurança — Parte 2-40: Requisitos particulares para bombas elétricas de calor, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores). [S. l.: s. n.], 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 817:2014. **Refrigerants — Designation and safety classification** (Fluidos refrigerantes — Designação e classificação de segurança). [*S. l.: s. n.*], 2014 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5194:2014: Partes 1 a 4, **Refrigerating systems and heat pumps — Safety and environmental requirements** (Sistemas de refrigeração e bombas de calor — Requisitos ambientais e de segurança). [S. l.: s. n.], 2014 b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14903: 2017. **Kälteanlagen und Wärmepumpen – Qualifizierung der Dichtheit der Bauteile und Verbindungen**. Refrigerating systems and heat pumps — Qualification of tightness of components and joints. [S. l.: s. n.], 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 22712:2023. **Refrigerating systems and heat pumps - Competence of personnel** (Sistemas de refrigeração e bombas de calor - Competência de pessoas). [*S. l.: s. n.*], 2023.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 13 - **Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de armazenamento.** Normas regulamentadoras da legislação de segurança de saúde no trabalho do Ministério do Trabalho. Redação dada pela Portaria MTb nº 1.846, de 01 de julho de 2022.

Disponível em:<**https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartitepartitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-13-atualizada-2022-retificada.pdf**>. Acesso em: 9 abr. 2024.

MITSUBISHI ELECTRIC. **Air Conditioning Basics** (Conceitos básicos sobre ar condicionado). 2021/2022. Disponível em < **https://www.mitsubishi-les.com/ media/me-air-conditioning-and-ventilation-range-en.pdf**>. Acesso em: 9 abr. 2024.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **REGULAMENTO No EC517/2014**, de 16 de abril de 2014, sobre gases fluorados causadores de efeito estufa revogando o Regulamento (CE) No 842/2006. 2014. Disponível em: <**https://eur-lex.europa. eu/eli/reg/2014/517/**>. Acesso em: 8 abr. 2024.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **COMISSÃO EC2015/2067**. REGULAMENTO DE EXECUÇÃO (UE) 2015/2067 DA COMISSÃO, de 17 de novembro de 2015, estabelecendo os requisitos mínimos e as condições para o reconhecimento mútuo para a certificação de pessoas físicas referente a equipamentos fixos de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor, e unidades de refrigeração de caminhões e trailers refrigerados contendo gases fluorados causadores de efeito estufa, e para a certificação de empresas referente a equipamentos fixos de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor contendo gases fluorados causadores de efeito estufa. 2015. Disponível em: <**https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32015R2067**>. Acesso em: 8 abr. 2024.

POHLMANN, WALTHER. **Taschenbuch der Kältetechnik** (Livro de bolso de tecnologia de Refrigeração). Karlsruhe, 2018.

PROKLIMA INTERNATIONAL. GIZ-PROKLIMA: 2010: **Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants** (Diretrizes para o uso seguro de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos). Disponível em: <**https://www.green-coolinginitiative.org/fileadmin/Publications/2012_Proklima_**

Guidelines_for_the_safe_use_of_hydrocarbons.pdf>. 2010. Acesso em: 8 abr. 2024.

PROKLIMA INTERNATIONAL. GIZ-PROKLIMA: **Operation of split air conditioning systems with hydrocarbon refrigerant** (Operação de sistemas de ar condicionado do tipo split com fluido refrigerante hidrocarboneto). Eschborn, 2018. Disponível em: **https://www.giz.de/en/downloads/giz_2018_Safety_Standards.pdf**. Acesso em: 9 abr. 2024.

RUß, WINFRIED. **Kältetechnik und Kälteanwendungen in der Lebensmittelund Getränkeindustrie** (Tecnologia de refrigeração e aplicações de refrigeração no setor de alimentos e bebidas). München, 2001. Disponível em: <**https://www.yumpu.com/de/document/read/9985509/kkk-kaelteanlagen-08pdf**>. Acesso em: 12 abr. 2024.

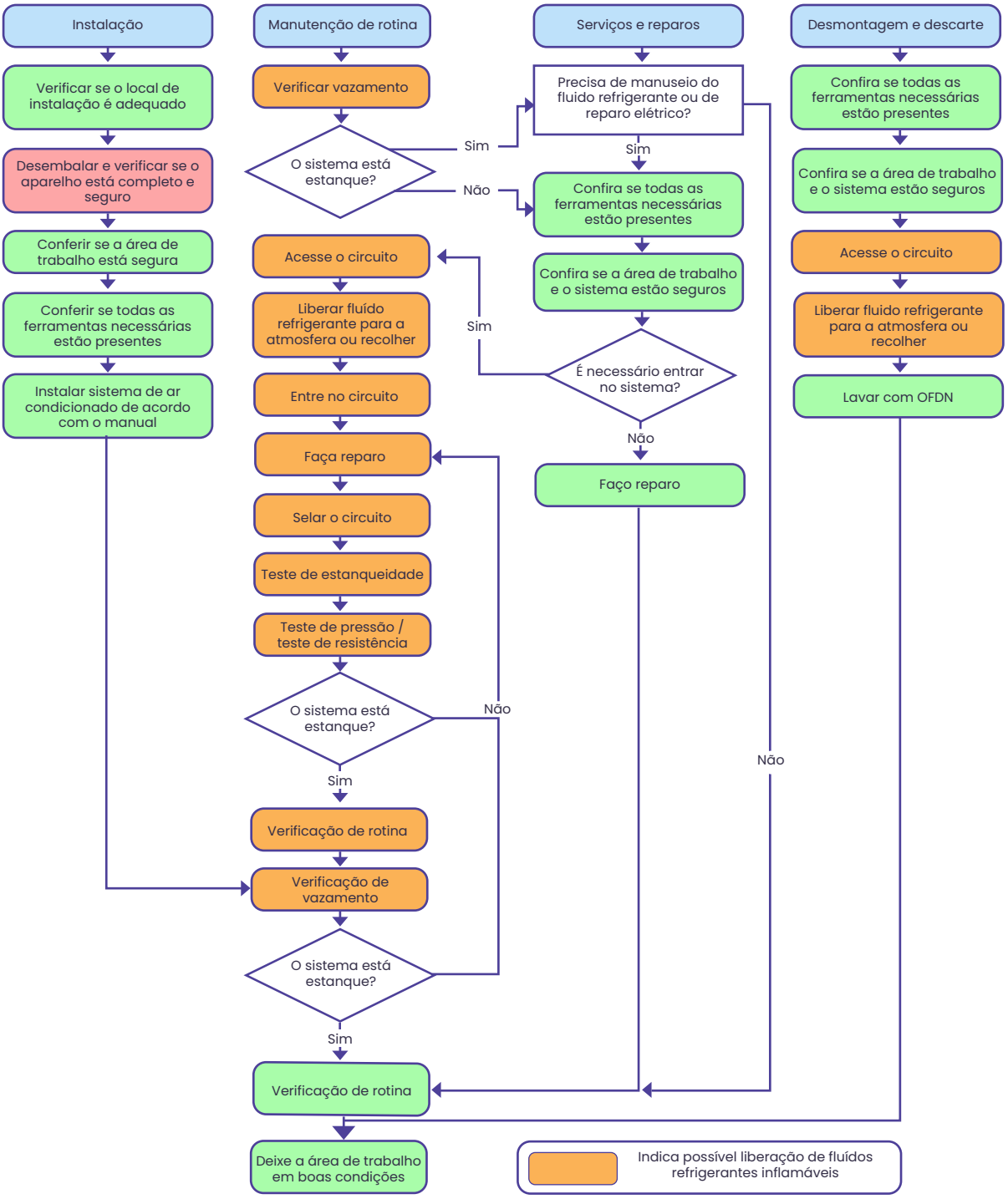
ZIEGLER, ALFRED. **Physik, verständlich** (Física compreensível). München, 2019.

Anexos

Anexos

Anexo 1 — Disciplina na rotina de trabalho

Figura 188 — Disciplina na rotina de trabalho



Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 2 — Formulário de avaliação geral de risco

Figura 189 — Formulários de avaliação geral de risco

AVALIAÇÃO DE RISCO Nº AR: ..... Versão: ..... Pág. 1 de 3

Projeto: ..... Nome: ..... Processo/atividade: .....

Nº	Descrição do perigo	Quem poderia se machucar?	Controles atuais	Classificação de risco com controles atuais			Mais trabalho necessário para ter o nível aceitável de risco/outras avaliações aplicáveis	Classificação de risco com controles adicionais			Ação por	Data de conclusão, se aplicável
				L	S	RR		L	S	RR		

CLASSIFICAÇÃO DE PROBABILIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO (probabilidade x severidade)	
Baixa (1)	= Improvável	Baixa (1)	= Lesão para primeiros socorros	1 = Risco trivial	6 = Risco substancial
Média (2)	= Possivelmente	Média (2)	= Lesão grave ou mais de três dias de afastamento do trabalho	2 = Risco tolerável	9 = Risco intolerável
Alta (3)	= Provável	Alta (3)	= Incapacidade permanente ou morte	3 ou 4 = Risco moderado	

AVALIAÇÃO DE RISCO Nº AR: ..... Versão: ..... Pág. 2 de 3

Projeto: ..... Nome: ..... Processo/atividade: .....

Nº	Descrição do perigo	Quem poderia se machucar?	Controles atuais	Classificação de risco com controles atuais			Mais trabalho necessário para ter o nível aceitável de risco/outras avaliações aplicáveis	Classificação de risco com controles adicionais			Ação por	Data de conclusão, se aplicável
				L	S	RR		L	S	RR		

Detalhe da atividade do processo/trabalho:

Versão:	Observações	Nome	Assinatura	Cargo/empresa	Data	Data para revisão

CLASSIFICAÇÃO DE PROBABILIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO (probabilidade x severidade)	
Baixa (1)	= Improvável	Baixa (1)	= Lesão para primeiros socorros	1 = Risco trivial	6 = Risco substancial
Média (2)	= Possivelmente	Média (2)	= Lesão grave ou mais de três dias de afastamento do trabalho	2 = Risco tolerável	9 = Risco intolerável
Alta (3)	= Provável	Alta (3)	= Incapacidade permanente ou morte	3 ou 4 = Risco moderado	

(Continuação)

AVALIAÇÃO DE RISCO Nº AR: ..... Versão: ..... Pág. 3 de 3

Projeto: ..... Nome: ..... Processo/atividade: .....

Nº	Descrição do perigo	Quem poderia se machucar?	Controles atuais	Classificação de risco com controles atuais			Mais trabalho necessário para ter o nível aceitável de risco/outras avaliações aplicáveis	Classificação de risco com controles adicionais			Ação por	Data de conclusão, se aplicável
				L	S	RR		L	S	RR		

CLASSIFICAÇÃO DE PROBABILIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE SEVERIDADE		CLASSIFICAÇÃO DE RISCO (probabilidade x severidade)	
Baixa (1)	= Improvável	Baixa (1)	= Lesão para primeiros socorros	1 = Risco trivial	6 = Risco substancial
Média (2)	= Possivelmente	Média (2)	= Lesão grave ou mais de três dias de afastamento do trabalho	2 = Risco tolerável	9 = Risco intolerável
Alta (3)	= Provável	Alta (3)	= Incapacidade permanente ou morte	3 ou 4 = Risco moderado	

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 3 — Documento de proteção contra explosão

Figura 190 — Avaliação de perigos de explosão devido a gases, vapores ou névoas em ambientes externos e internos

Avaliação de perigos de explosão devido a gases, vapores ou névoas em ambientes externos e internos				
Marque as caixinhas e preencha as informações. É possível dar mais de uma resposta; por favor, desenhe um rascunho no verso e tire uma foto				
Informações sobre o local				
Empresa:		Endereço / prédio:		
Planta com perigo de explosão:		Sala/área com potencial de explosão:		
Data:	Data inicial de operação:	Telefone do operador:		
Espaço geométrico do local:		Volume geométrico da sala:		
Descrição do local:				
Carga real de fluido refrigerante em kg:		Quantidade máxima permitida de carga de fluido refrigerante:		
Classificação do local dos sistemas de fluido refrigerante de acordo com a ABNT NBR ISO 5149		Classe I: Equipamentos mecânicos localizados dentro do espaço ocupado		
		Classe II: Compressores na casa de máquinas ou ao ar livre		
		Classe III: Partes que contêm fluido refrigerante na casa de máquinas ou ao ar livre		
		Classe IV: Espaços ventilados		
Categorias de acesso de acordo com a ABNT NBR ISO 5149		a: Acesso geral		
		b: Acesso supervisionado		
		c: Acesso autorizado		
O local fica:		Acima do nível do solo:		Abaixo do nível do solo:

(Continuação)

Dados sobre a substância ou mistura inflamável									
Nome comercial: R					Fórmula química:				
Nº CAS:	Nº ONU:				Nome atribuído pela ONU para transporte:				
Classificação CLP					Categoria 1A H220: Gás extremamente inflamável				
					Categoria 1B H221: gás inflamável				
					Categoria 2 H221: gás inflamável				
Classe de inflamabilidade conforme a ABNT NBR 16666:					2L		2		3
Temperatura de autoignição (TAI) ºC					Limite prático (kg/m³)				
LII (% vol)					LSI (% vol)				
Peso molecular (u)		Ar = 29u (kg/kmol)							
Avaliação de risco									
De acordo com qual norma o sistema de refrigeração foi fabricado?					ABNT NBR ISO 5149		IEC60335-2-40		
					IEC60335-2-89		EN50110-1		
Foi feita uma avaliação de risco do sistema de AVAC-R?					Sim:		Não:		
Foi feita uma avaliação de risco do local?					Sim:		Não:		
Proteção da segurança e da saúde dos trabalhadores potencialmente em risco contra atmosferas explosivas (ex.: 1999/92EC)					Sim:		Não:		
Medidas de proteção contra explosão:									
Medidas técnicas para evitar atmosferas potencialmente explosivas (todas as medidas para eliminar ou reduzir o risco de explosão causada por perigo de explosão devido a substâncias inflamáveis contidas na instalação)									
Ventilação natural, instalação ao ar livre;									
Ventilação natural em casa de máquinas com grandes grades de ventilação para instalação ao ar livre;									
Ventilação mecânica do local;									
Sistema de ventilação separado para o local;									
Ventilação do local conectada ao sistema separado de ventilação;									
Dutos de aço, tubos e grades no sistema de ventilação;									
Tubos de abertura de aço do dispositivo de alívio de pressão para fora;									
Notificação de um centro de controle de segurança/sistema de gestão predial em caso de falha na ventilação;									

(Continuação)

Notificação de um centro de controle de segurança/ sistema de gestão predial a 60% do valor TMW-MAK ou TRK; a ventilação é elevada ao máximo;							
Alarme dentro e fora da área de perigo com sinalização audiovisual (farol com campainha) a 20% do LII;							
Início de uma sequência de trabalho predefinida (interrupção, ventilação de emergência, evacuação etc.) em caso de vazamento de gás;							
Recolhimento do gás vazado por conta de medidas no prédio e para evitar que ele entre no duto de ar, na entrada da ventilação, no sistema de esgoto, porões e fossos ou outros lugares onde a concentração possa ser perigosa, entrando e saindo por eles;							
Proteção das partes do sistema que contêm fluido refrigerante na área externa contra os efeitos do tempo;							
Teste de equipamentos técnicos antes do comissionamento.							
Medidas técnicas para evitar atmosferas potencialmente explosivas (todas as medidas para eliminar ou reduzir o perigo de explosão devido a substâncias inflamáveis contidas no sistema).							
Zonea-mento:	Zona 0 (sempre)		Zona 1 (ocasionalmente)		Zona 2 (raramente)		Sem perigo
		Raio esférico de 3,00 em torno da saída[3]					
		Para serviço, uso de um ventilador portátil (de acordo com a diretiva ATEX)[4]					
Medidas para evitar ignição (proteção ou eliminação de todas as fontes de ignição em áreas classificadas)							
Disponibilização do teste de vazamento do sistema de AVAC-R;							
Proteção adequada dos equipamentos elétricos em relação à Zona de atmosferas explosivas na qual estão localizados;							
Providências para que os equipamentos que não são à prova de explosão sejam desligados em caso de alarme de gás;							
Ferramentas elétricas e mecânicas aprovadas pela ATEX;							
Localização do boiler em área diferente da planta de refrigeração;							
Proibição de uso de fogo aberto na área de trabalho (sinalização com aviso de segurança disponível);							
Proteção do sistema contra luz solar direta;							
Normalmente, não permissão direta para trabalho a quente no sistema de refrigeração (permissão para trabalhar e inertização);							
Aterramento do sistema de refrigeração;							
Proteção dos equipamentos de proteção individual contra descarga eletrostática;							
Controle das distâncias de segurança contra fontes de ignição (outros equipamentos elétricos, carros, linhas de energia, etc.);							

(Continuação)

Medidas técnicas para evitar atmosferas potencialmente explosivas (medidas para eliminar ou reduzir o perigo de explosão devido a substâncias inflamáveis contidas no sistema)
Instruções de operação concisas para o sistema de AVAC-R no local de operação (ABNT NBR ISO 5149-2);
Número adequado dos folhetos ou manuais e instruções de segurança (ABNT NBR ISO 5149-2);
Instruções de operação para fichas de segurança de produto químico (FISPQ) / equipamentos de trabalho para substâncias de trabalho;
Descrição dos equipamentos de proteção individual (EPIs);
Documentação de qualificação técnica e conhecimento especializado;
Certificado de instrução;
Descrição das permissões de trabalho;
Descrição dos intervalos de monitoramento da prática, inspeção e reparos;
Sinalização de aviso e marcação das atmosferas potencialmente explosivas;
Treinamento dos trabalhadores para respostas de emergência.
Outras medidas para proteção contra explosão: *Informações e documentação mostrando que os trabalhadores, o local de trabalho e os equipamentos de trabalho estão protegidos adequadamente contra perigos de explosão no caso de alguma ocorrência.*
Controle de acesso no local;
Proteção do sistema de refrigeração contra corrosão;
Proteção da planta de refrigeração contra vandalismo (proteção mecânica, boa iluminação);
Sistema de aviso de incêndio;
Sistema de extinção de incêndio / extintores disponíveis no local;
Uma rota de escape / saída de emergência no local;
Duas rotas de escape / saídas de emergência no local;
Ambientes internos com áreas de alívio de pressão projetadas de acordo com as normas;
Ambientes internos com portas com fechamento automático;
Ambientes internos sem abertura no piso, como ralos;

(Continuação)

Sistemas de refrigeração abaixo do nível do solo com:	detector de gás adicional;
	solução de ventilação separada;
	sistema de circulação de ar forçada;
	área de alívio de pressão projetada de acordo com as normas.

Considerações gerais sobre o risco de explosão e atmosfera explosiva
Os sistemas de refrigeração para fluidos refrigerantes inflamáveis são fabricados com circuitos de refrigeração em permanentes condições seladas e projetados para ter uma longa vida útil. A norma geral para a fabricação de sistemas de refrigeração é a ABNT NBR ISO 5149, que aborda especificamente a vedação de sistemas de refrigeração. Para verificar a vedação do sistema de refrigeração, é preciso fazer um teste de estanqueidade do circuito de refrigeração inteiro antes do comissionamento. É o detector de gás que monitora e documenta se o circuito de refrigeração permanece em condições seladas no local. Além disso, verificações regulares de vazamento devem ser realizadas por pessoal competente. Durante a operação normal, portanto, não deve haver risco de vazamento de fluido refrigerante. Normalmente, os sistemas de refrigeração operam no intervalo de sobrepressão (relativo ao ambiente). Logo, não há risco de o ar ambiente entrar no circuito de refrigeração, nem da concentração de gás no fluido refrigerante cair abaixo do limite superior de explosão. Essas medidas estruturais, reunidas a medidas organizacionais, resultam em um sistema de refrigeração à prova de vazamento durante toda a vida útil dele. As medidas organizacionais incluem inspeções e manutenções regulares, como a inspeção da vedação dos circuitos instalados termicamente. O escopo e a frequência da inspeção e da manutenção dependem do tipo de sistema, operação e desempenho. Porém, deve-se assegurar que o sistema permaneça sempre hermeticamente selado. Portanto, é importante definir com exatidão as rotinas de manutenção, e elas devem ser estritamente seguidas. As instruções de operação devem especificar o escopo e a frequência do monitoramento e da manutenção, para que seja mantida a vedação técnica contra vazamento no longo prazo.

Data:	Assinatura da pessoa competente:

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 4 — Avaliação de risco de última hora

Figura 191 — Modelo de avaliação de risco de última hora

Proteção do meio ambiente, saúde e segurança

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

VERIFICAÇÃO OBRIGATÓRIA!!! (antes de todas as rotinas) exigida por lei
AVALIAÇÃO DE RISCO DE ÚTIMA HORA PARA TRABALHO DE SERVIÇO E INSTALAÇÃO

Nome do técnico:	Instalação / Serviço
Centro de serviço:	Tipo de trabalho:
Nome do cliente:	Nº ordem do trabalho:
Data:	E-mail:
Observação: Use o verso, se necessário.	Relativo a:

1. Resultados da avaliação de risco:

- O local de trabalho está OK					- Elelvação/deslocamento de cargas pesadas	Sim		Não
○ Desobstruído	Sim		Não		- Peças móveis: ○ Dispositivos de içamento ○ Guindaste			
○ Piso	Sim		Não		- Transórte: ○ Empilhadeira ○ Tráfego			
○ Iluminação	Sim		Não		- Ferramentas/outros equipamentos de trabalho	Sim		Não
○ Ventilação	Sim		Não		- Trabalho com risco de queda	Sim		Não
○ Rotas de escape desobstrídas	Sim		Não		Subida em telhado, plataformas de trabalho etc.	Sim		Não
- Espaços confinados, containers, dutos no piso, tetos intermediário	Sim		Não		○ Escada ○ Plataforma ○ Andaime			
- Condições de trabalho: ○ Poeira ○ Calor ○ Frio	Sim		Não		○ Rotas de transporte ○ Iluminação ○ Unidade/piso escorregadio			
- Ruídos	Sim		Não		Conhecido um acesso ao local de trabalho	Sim		Não
- Área Ex	Sim		Não		- Barreira necessárias no local de trabalho	Sim		Não
- Perigo de incêndio/faíscas	Sim		Não		- Trabalho em instalações elétricas	Sim		Não
- Substâncias perigosas	Sim		Não		- Trabalho em sistema de detecção de gás	Sim		Não
- R717 - R744 - R290 - R600a - outros	Sim		Não		- Trabalho em sistema de ventilação seguro	Sim		Não
- Água quente/água/água residuais	Sim		Não		- Trabalho em sistema de detecção de incêndio	Sim		Não
- Bordas afiadas	Sim		Não		- Outros	Sim		Não

2. Existe risco imediato para você ou outras pessoas?/ Medidas necessárias por supervisores regionais? Sim ☐ Não ☐
Caso afirmativo, envolva-os durante a análise de risco e peça para que todos assinem a análise.
Anote aqui suas observações:

3. Medidas de acordo com a análise de risco (os riscos têm que ser eliminados com) - seleção dos EPIs obrigatórios:

Roupas de proteção para brasagem / soldagem	*Eletricidade*	☐	☐	*Roupas de proteção para > especificar* ☐
Ferramentas elétricas isoladas	*RCD*	☐	☐	*Material de isolamento elétrico* ☐
Luvas de segurança > descrever função de proteção			☐	*Detector de isolamento elétrico* ☐
Óculos de segurança			☐	*Detector pessoal de gás* ☐
Óculos de proteção em formato de cesta			☐	*Soprador de ar portátil* ☐
Botas de segurança			☐	*Conjunto de aterramento ESD* ☐
Capacete de segurança			☐	*Máscara de gás (tipo de filtro)* ☐
Boné com casqueta			☐	*Máscara contra poeira (especificar)* ☐
Proteção auricular			☐	*Extintor de incêndio* ☐
			☐	*Sistema de proteção contra quedas* ☐

31. Comentários adicionais para a realização do trabalho (se necessário, use o verso deste documento):

4. Medidas adicionais

4.1	As áreas afetadas precisam ser informadas?		
4.2	São necessários certificados de autorização? (ex.: certificados para brasagem, soldagem etc.)		
4.3	Outros requisitos precisam ser respeitados? (pergunte ao cliente)		
4.4	O conjunto secundário da válvula de segurança de CO2 (serviço) foi verificado e na posição / função correta?	Sim ☐	Não ☐
4.5	O sistema de ventilação de segurança está funcionando (ou a troca de ar natural é suficiente)?	Sim ☐	Não ☐
4.6	O sistema fixo de aviso de gás está funcionando e em bom estado?	Sim ☐	Não ☐
4.7	Tem nitrogênio (ODFN) disponível para deixar o sistema inerte?	Sim ☐	Não ☐

5. Avaliação de risco de última hora feita por:		
Técnico de serviço Nome / Função / Assinatura	Cliente: Assinatura e nome legível	Data:

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 5 — Permissão de trabalho geral

Figura 192 — Permissão de trabalho geral

Permissão de trabalho geral			
Detalhes da permissão			
Nº Permissão	Data de emissão	Data e horário de início	Data e horário de fim

Local/área de trabalho

Detalhes da equipe			
Nome:	ID da equipe:	Gênero:	Qualificações:

Descrição da atividade de trabalho

Avaliação de risco		
Foi feita uma avaliação de risco para a atividade?	SIM	NÃO

Declaração - Declaro que:		
Fiz uma inspeção completa da área de trabalho e identifiquei os potenciais perigos.	SIM	NÃO
Tomei todas as precauções necessárias para reduzir os riscos associados à atividade.	SIM	NÃO
Verifiquei que todas as pessoas envolvidas na atividade receberam o devido treinamento e têm as qualificações necessárias.	SIM	NÃO
Confirmei que todas as permissões, licenças e autorizações foram obtidas.	SIM	NÃO
Verifiquei que a área de trabalho está livre de potenciais perigos ou riscos associados à atividade.	SIM	NÃO

(Continuação)

Providenciei o correto isolamento dos equipamentos elétricos em relação à fonte de energia e identifiquei/ bloqueei o local.	SIM	NÃO
Forneci à equipe os equipamentos de proteção individual (EPIs) para a atividade. Lista de verificação de EPIs:		
Óculos de segurança;		
Luvas — com isolamento — resistentes a substâncias químicas;		
Proteção respiratória;		
Roupas de trabalho apropriadas;		
Ferramentas resistentes a choque elétrico, como alicates, chaves de fenda, indicadores de tensão;		
Calçados de segurança;		
Capacete rígido;		
Colete de alta visibilidade;		
Outros > especificar.		
Elaborei um plano de comunicação para emergências.	SIM	NÃO
Fiz uma inspeção final antes de autorizar a atividade.	SIM	NÃO
Informei à equipe todas as precauções de segurança necessárias.	SIM	NÃO
Confirmei que todos os equipamentos de teste apropriados estão disponíveis e em boas condições de funcionamento.	SIM	NÃO
Verifiquei que a equipe está ciente dos procedimentos adequados para manusear as ferramentas e os equipamentos relacionados à atividade.	SIM	NÃO
Confirmei que a equipe recebeu treinamento para a operação segura de máquinas e equipamentos relevantes à atividade.	SIM	NÃO
Implementei um sistema de permissão para trabalhar, se necessário.	SIM	NÃO
Verifiquei que a equipe recebeu o devido treinamento sobre medidas e práticas gerais de segurança.	SIM	NÃO
Elaborei e comuniquei um plano de resposta em caso de emergência.	SIM	NÃO

Declaração – Declaro por meio deste documento que todas as precauções e medidas de segurança foram tomadas, e que eu entendo e aceito a responsabilidade pela execução segura da atividade descrita acima.

Nome, assinatura e data:
Aprovador

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 6 — Permissão para trabalhar — trabalho a quente

Figura 193 — Permissão para trabalhar — trabalho a quente

Permissão para trabalhar – trabalho a quente

Para todas as operações envolvendo chamas, soldagem e corte a quente
Esta permissão é válida somente para o trabalho descrito e para os horários fornecidos

Descrição do trabalho

Local do trabalho

Prédio	Piso	Sala	Local

Data solicitada (duração máx. 1 dia)		Válido a partir de (hora)		Até	

Detalhes de contato (método de contato)

Celular		Tel. local		Nº escritório	
Representante do projeto no local		Help Desk local		Segurança	

Potenciais perigos	◻ Enriquecimento de oxigênio ◻ Diminuição de oxigênio ◻ Gás tóxico ◻ Gás explosivo ◻ Perigo biológico ◻ Pouca iluminação ◻ Calor ◻ Ruído ◻ Objetos que podem provocar tropeços / quedas / golpes ◻ Outros – forneça detalhes		
Medidas de controle	◻ Perigo / equipamentos isolados ◻ Equipe do departamento informada ◻ Equipamentos de proteção necessários – especifique:		
Outros perigos identificados		Medidas de controle	

Requisitos de segurança obrigatórios *(consulte mais orientações no verso)*

	Pronto
Verificação de todas as áreas e remoção ou proteção dos combustíveis antes do início do trabalho	
Verificação, proteção e limitação de todas as áreas, conforme necessário; exibição da sinalização de aviso	
Isolamento de todos os sistemas associados ao trabalho, inclusive alarmes de fumaça	
Assistente de prontidão (competente) com extintor de incêndio adequado para a tarefa	
Notificação do gerente de instalações do prédio	
Verificação/inspeção da área para combustão 1 hora após a conclusão do trabalho	

Pessoa que vai entrar na área de trabalho

Permissão		Data		Hora	
Permissão recebida por		Data			

Cancelamento da permissão

Nome		Data		Hora	

Em caso de emergência, ligue para > número de telefone

Permissão para trabalhar – trabalho a quente

O que significa "trabalho a quente"?

Todas as operações temporárias envolvendo chamas abertas ou que produzam calor e/ou faíscas, incluindo, dentre outras, brasagem, corte, retífica, soldagem e descongelamento.

Validade

As permissões para trabalho a quente são válidas apenas por no máximo um dia de trabalho.

Lista de verificação de trabalho a quente

O formulário de permissão guia você pelos requisitos; ele representa mais uma forma de orientação.
Fluxos de mangueiras e sprinklers funcionando (onde aplicável).
Equipamentos de trabalho a quente em boas condições (ex.: fonte de alimentação, cabos, tochas devem ser inspecionados antes do uso para garantir que estejam em boas condições).
Extintores de incêndio (dois) de várias finalidades prontos para uso.
O operador deve estar treinado para uso do extintor de incêndio.
Contato com o operador/engenheiro do local para garantir que o sistema de alarme de incêndio esteja protegido/isolado conforme apropriado. **É preciso avisar com pelo menos dois dias de antecedência.**

Requisitos dentro da área de trabalho

Verificar a área para ver se há material combustível que deva ser retirado antes do início do trabalho (por exemplo: papel, papelão, poeira, fiapos, detritos, líquidos inflamáveis e depósitos de óleo).
Varrer o chão.
Proteger o piso e outras superfícies combustíveis com tapetes de proteção contra calor ou outro material apropriado.
Cobrir todas as aberturas nas paredes e no chão.
Proteger passagens que estiverem embaixo de trabalho a quente.
Eliminar atmosfera explosiva na área.
Retirar líquidos inflamáveis / cilindros de gás da área de trabalho ou armazená-los de modo apropriado.
Verificar e proteger a área, posicionando a sinalização de segurança.

Trabalho em paredes ou tetos

Afastar os combustíveis do outro lado da parede.

Monitoramento da área de trabalho a quente / incêndio

Deve-se ficar atento para princípios de incêndio durante o trabalho e até uma hora depois, incluindo intervalos para café ou almoço. Lembre-se de verificar as superfícies adjacentes (paredes, tetos falsos etc.).

Conclusão de trabalho e monitoramento de incêndio

Confira se os dispositivos de proteção com alarme de incêndio foram retirados e devolvidos.

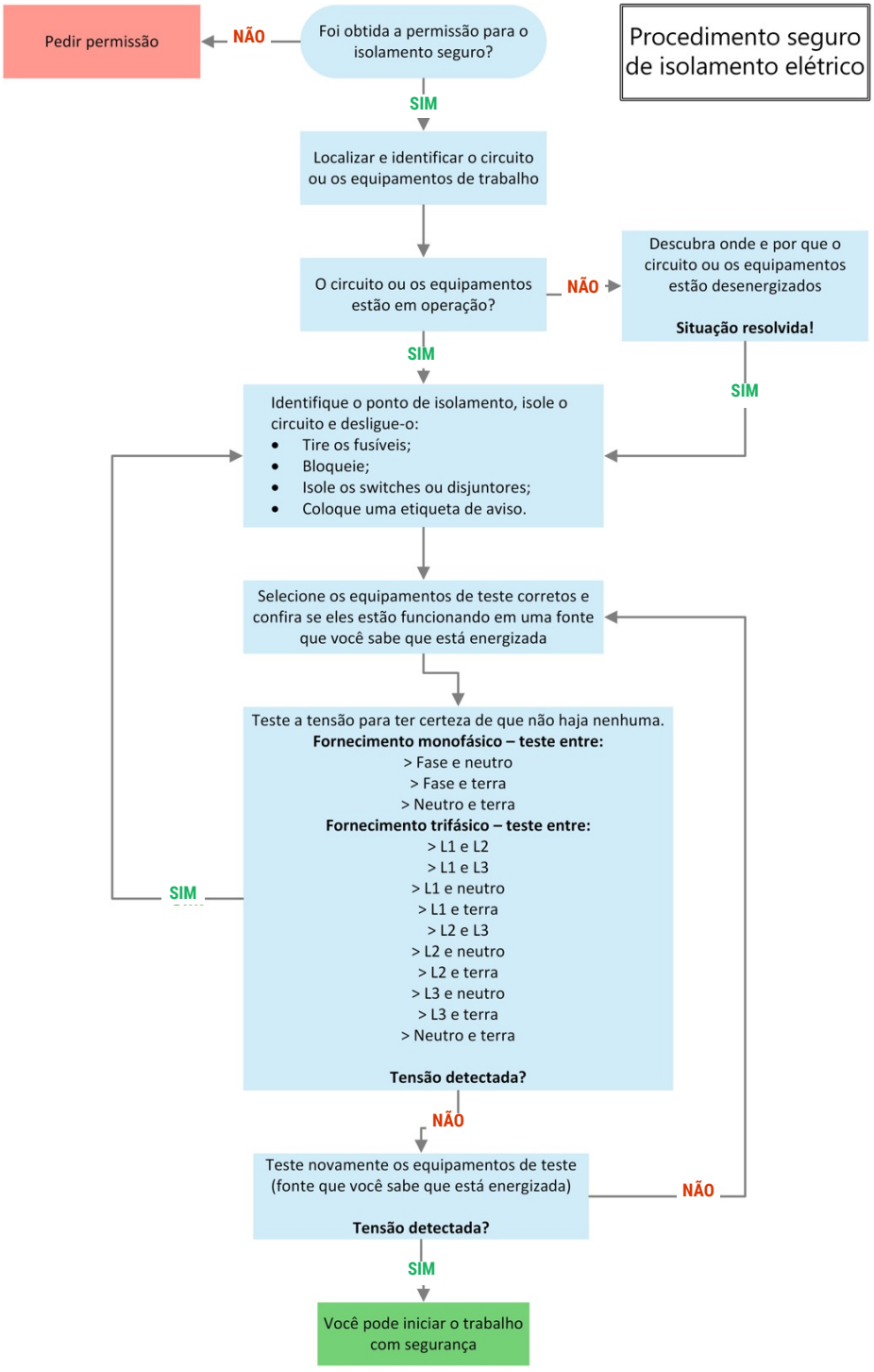
OBSERVAÇÃO:
Caso não seja possível redefinir o sistema de alarme de incêndio, ou tirar as tampas das cabeças dos detectores de alarme, deve-se realizar uma avaliação específica no local e implementar medidas de controle específicas. O engenheiro de instalações/segurança deve ser avisado!

Em caso de emergência, ligue para > número de telefone

Fonte: HEAT GmbH.

Anexo 7 — Procedimento de isolamento elétrico seguro

Figura 194 — Procedimento de isolamento elétrico seguro



Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 8 — Relatório e certificados de teste para sistemas de AVAC-R

Figura 195 — Relatório e certificados de teste para sistemas de AVAC-R

Relatório e certificados de teste para sistemas de AVAC-R

De acordo com a EN 378:2016+A1 (ISO 5149) e a Diretiva de equipamentos de pressão 2014/68/UE

Sistema novo ☐ **Inspeção após uma grande mudança** ☐

1. Dados característicos de acordo com a placa de identificação do sistema

Designação do sistema: _____

Local do sistema: _____

Detalhes de contato: _____

	unidade	medida
Fabricante / fornecedor:		
Tipo de sistema		
Nº série		
Ano de construção:		
Fluido refrigerante:	R	
Carga máxima de fluido refrigerante no sistema	kg	
PS[1] - Pressão máxima permitida – HP	MPa[2]	
PS[1] - Pressão máxima permitida – LP	MPa[2]	
Corrente nominal	A	
Tipo de construção – compressor		
Tensão nominal ~ / 50 Hz / 60 Hz / Ph	V	
Entrada de potência nominal do compressor	kW	

[1] PS é o limite que não pode ser ultrapassado, quer o sistema esteja ou não em operação.
[2] 1 MPa = 10 bar

Condição geral — Sem defeito ☐ Defeito ☐

2. Lista de verificação para inspeção visual externa da instalação de acordo com a EN 378-2, Anexo G (ISO 5149-2 Anexo A)

a) Verificar se há danos causados pelo transporte ou armazenamento no equipamento ☐ OK ☐ Não OK

b) Verificar se todos os componentes estão como especificado ☐ OK ☐ Não OK

c) Verificar se todos os dispositivos de segurança, documentos e equipamentos exigidos pela norma estão presentes ☐ OK ☐ Não OK

d) Verificar se todos os dispositivos e providências para segurança e proteção ambiental estão presentes e em conformidade com essa norma relevante ☐ OK ☐ Não OK

e) Verificar se os documentos do vaso de pressão, certificados, placas de identificação, manual de instrução e documentação exigidos pela norma estão presentes ☐ OK ☐ Não OK

f) Verificar se o volume dos receptores é suficiente ☐ OK ☐ Não OK

g)	Verificar as instruções para evitar descarga deliberada de fluidos refrigerantes no meio ambiente	☐ OK	☐ Não OK
h)	Verificar se, nos locais onde a tubulação fica acessível ao público em geral, as temperaturas da superfície não colocam em risco as pessoas	☐ OK	☐ Não OK
i)	Comparar a instalação completa com os desenhos do sistema elétrico e de refrigeração	☐ OK	☐ Não OK
j)	Verificar se o fornecimento de energia elétrica está adequado para a energia a ser usada	☐ OK	☐ Não OK
k)	Verificar a documentação relacionada aos vasos de pressão se os vasos tiverem sido alterados, modificados ou usados para outro fluido refrigerante	☐ OK	☐ Não OK
l)	Verificar vibrações e movimentos causados por temperatura e pressão sob condições de operação	☐ OK	☐ Não OK
m)	Verificar a instalação de acessórios e válvulas	☐ OK	☐ Não OK
n)	Verificar suportes e acessórios (materiais, roteamento, conexão)	☐ OK	☐ Não OK
o)	Verificar a qualidade da soldagem e outras juntas	☐ OK	☐ Não OK
p)	Verificar a proteção contra danos mecânicos	☐ OK	☐ Não OK
q)	Verificar a proteção contra o calor	☐ OK	☐ Não OK
r)	Verificar a proteção das peças móveis	☐ OK	☐ Não OK
s)	Verificar os acessos para manutenção ou reparo e inspeção da tubulação	☐ OK	☐ Não OK
t)	Verificar o arranjo da válvula	☐ OK	☐ Não OK
u)	Verificar a qualidade do isolamento térmico e das barreiras de vapor	☐ OK	☐ Não OK
v)	Verificar se as superfícies de troca de calor estão limpas	☐ OK	☐ Não OK

3. Teste de estanqueidade feito por pessoa competente

A pressão de trabalho máxima permitida (consulte a seção 1, acima)

A estanqueidade do sistema foi testada na fábrica/local por

_____ (pessoa competente)

em _____

O teste pode ser realizado com sobrepressão (N_2) ou vácuo.

Meio de teste _____ Pressão de teste_____MPa _____Minutos

Teste de vácuo_____Mícron_____Horas

Sem defeito	Defeito
☐	☐

Rolf Huehren – HEAT GmbH - 20230129

4. Teste de aceitação feito por pessoa competente de acordo com a diretiva de equipamento de pressão

Os testes iniciais dos vasos de pressão do sistema de refrigeração são documentados por	Sem defeito	Defeito
Certificados / carimbo	☐	☐
Os vasos de pressão estão com as etiquetas corretas	☐ OK	☐ Não OK

Se necessário:

O teste de aceitação da tubulação foi realizado por pessoa qualificada	☐ Sim	☐ Não
O teste de aceitação da tubulação foi realizado por organização de inspeção licenciada	☐ Sim	☐ Não

5. Teste das instalações de segurança contra pressão excessiva

Os seguintes dispositivos de segurança foram testados antes do comissionamento. *V < 25 l/s; m < 100kg A1; m < 30kg A2L; m < 5kg A2/A3*

Limitador de pressão	Tipo	
Número do identificador do componente:		
Pressão de fim	MPa	
Pressão de início	MPa	
Chumbo vedado:	sim	não

Sistemas acima de 25 l/s cilindradas ou com carga de fluido refrigerante maior que *100kg A1; ≥ 30kg A2L; ≥ 5kg A2/A3*:

Válvula interna de alívio de pressão		
Tipo aprovado de pressão de fim	Tipo	
Número do identificador do componente:		
Pressão de fim	MPa	
Pressão de início	MPa	
Chumbo vedado:	sim	não

Mais

Tipo aprovado de pressão de fim de segurança	Tipo	
Número do identificador do componente:		
Pressão de fim	MPa	
Pressão de início	MPa	
Chumbo vedado:	sim	não

6. Teste das instalações de segurança conforme a Lei de recursos hídricos

Limitador de pressão de segurança para baixa pressão conforme a DIN 8901

Limitador de pressão	Tipo	
Número do identificador do componente:		
Pressão de fim	MPa	
Pressão de início	MPa	
Chumbo vedado:	sim	não

7. Teste das instalações de segurança contra pressão de fluido

Sistemas de refrigeração com vasos de pressão ou seções de tubulação, onde possa surgir pressão de fluido.

Dispositivo de alívio de pressão de segurança:	Tipo
Número do identificador do componente:	
Pressão máxima permitida na seção do sistema - MPa	

Válvula de alívio de pressão	Tipo	
Número do identificador do componente:		
Pressão de escape do dispositivo de alívio de pressão - MPa		

8. Outras instalações

A função dos seguintes equipamentos precisa ser examinada, se aplicável:

☐ Pressostato de baixa pressão: Pressão de fim_____MPa

☐ Marcação do manômetro: Pressão de trabalho máxima permitida_____MPa

☐ Termostato de segurança: Temperatura de fim_____°C

☐ Limitador de temperatura de segurança: Temperatura de fim_____°C

☐ Termostato de proteção contra congelamento: Temperatura de fim_____°C

☐ Interruptor de fluxo: Fim na taxa de fluxo_____m³/h

☐ Pressostato diferencial de óleo: Retardo até o desligamento_____s

Sistemas resfriados a água:

☐ Válvula de água de refrigeração: Pressão de início_____MPa

☐ Entrada de água fria: Temperatura_____°C

☐ Saída de água fria: Temperatura_____°C

Os testes a seguir devem ser repetidos após cada serviço de reparo ou manutenção.

1. Testes de boa ordem

O sistema de refrigeração foi inspecionado na fábrica / local de instalação e está em boas condições de funcionamento seguro, de acordo com o regulamento de prevenção a acidentes (DGUV 100-500 seção 2.35), tendo sido verificado por pessoal competente.

_____ data:_____

(Nome)

2. Testes do local de instalação

Volume da área (recinto) de instalação em m³: _____

Limite prático (PL) conforme a EN 378: _____

Espaço da área de instalação (recinto) em m²: _____

Área de instalação: OS*_____MR*_____

Localização da área de instalação: BG*_____AG*_____

Casa de máquinas Exigida / Não exigida

Se necessário:		Existe	Não existe
Ventilação natural:	m²	☐	☐
Ventilação mecânica:	m³/h	☐	☐
A ventilação mecânica pode ser acionada de um local seguro:		☐	☐
A chave de interrupção de emergência pode ser alcançada do lado de fora:		☐	☐
Proteção contra explosão em caso de gás classificado como inflamável:		☐	☐
Marcação das rotas de escape:		☐	☐

*OS = espaço ocupado *MR =casa de máquinas *BG = abaixo do solo *AG = acima do solo

3. Instruções para o operador

O operador / ou representante dele, nome: _____

recebeu instruções sobre a operação do sistema de refrigeração, o funcionamento dos dispositivos de segurança e o método de operação a ser seguido em caso de acidente ou pane.

O operador recebeu os seguintes documentos:

☐ Diagrama PID (EN 1861)

☐ Manual de operação / descrição da função do sistema

☐ Livro de inspeção com certificados de testes do vaso de pressão

☐ Contrato de manutenção

☐ Certificado de teste do vaso

☐ Certificado de teste conforme a DIN 8901

☐ A versão resumida das instruções de operação foi entregue ao operador e afixada ao sistema.

Observações: _____

_____

_____

_____
(local, data)

_____ _____
(assinatura do operador) (profissional qualificado)

Rolf Huehren – HEAT GmbH - 20230120

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 9 — Ficha de dados de *start-up* para ar condicionado do tipo split

Figura 196 — Ficha de dados de *start-up* para ar condicionado do tipo split

Ficha de dados de start-up para aparelhos de ar condicionado do tipo split – Manutenção e reparo		
Empresa da instalação		
Endereço		
Telefone e fax		
Nome do profissional		
N° registro		
Cliente / Empresa		
Contato		
DADOS da instalação / aparelho		
Modelo e n°		
Data de instalação / reparo		
Comentários / reparo		
Dados operacionais – Modo de refrigeração		
Tipo de fluido refrigerante	R-290	Fluido refrigerante inflamável
Nome do fluido refrigerante	Propano	
Carga de fluido refrigerante em kg		
Pressão de sucção P1		
Temp. sucção P1		
Temp. ar que entra no condensador T3		
Temp. ar que sai do condensador T4		
Temp. ar que entra no evaporador T1		
Temp. ar que sai do evaporador T2		
Teste de desempenho: No comissionamento, opere o aparelho de ar condicionado do tipo split com velocidade ALTA no ventilador interno no modo de REFRIGERAÇÃO por no mínimo 15 minutos. Meça a temperatura de entrada de ar (T1) e de saída de ar (T2) na unidade interna. A diferença de temperatura deve ser de pelo menos 8 K.		
Dados elétricos		
Fonte de alimentação (tensão)		
Leitura geral em Ampères		
Consumo de corrente do compressor		
Outras tarefas de comissionamento do sistema! Marque a caixa quando concluir		
Use apenas ferramentas / equipamentos corretos e confiáveis para o comissionamento do sistema!		
Verifique o funcionamento do sistema de ar condicionado, incluindo teste de desempenho!		
Verifique se não há vazamento de fluido refrigerante no sistema!		
Verifique se as conexões elétricas estão apertadas!		
Verifique se o dreno de condensado está firme e com rebaixamento!		
Verifique o isolamento dos tubos de transferência de fluido refrigerante e do acoplador rápido!		
Verifique se os ventiladores do condensador e do evaporador estão funcionamento sem impedimento!		
Verifique se não há nenhum ruído anormal durante a operação do sistema (unidade interna/externa)!		
Limpe os componentes do sistema, incluindo o filtro de ar (se houver indicação para isso)!		
Verifique o visor do controle remoto!		
Passe as instruções para o usuário do sistema de ar condicionado!		
Assinatura da empresa e data:	Assinatura do cliente e data:	

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 10 — Registro de teste do circuito de refrigeração

Figura 197 — Registro de teste do circuito de refrigeração

Registro de Teste do Circuito de Refrigeração									
Nº do Processo:							Data:		
Cliente:							Empresa:		
Endereço:							Nome:		
Instalação:							Contato:		
Tipo de Fluido Refrigerante: R		Quantidade nominal de carga: kg					Avaliação da carga de fluido:		
1	p_{eV1}	Pressão na entrada do compressor		bar	2	t_{V1}	Temperatura do fluido refrigerante na entrada do compressor (convertida a partir da pressão)		°C
3	p_{eV1}	Pressão na saída do compressor		bar	4	t_{V2}	Temperatura do fluido refrigerante na saída do compressor (convertida a partir da pressão)		°C
5	p_{eB1-2}	Pressão B1 na saída do tanque de líquido		bar	6	t_{B1-2}	Temperatura do fluido refrigerante líquido saturado na saída do tanque de líquido (convertida a partir da pressão)		°C
7	p_{e02}	Pressão do vapor de fluido refrigerante saturado na saída do evaporador		bar	8	t_{02}	Temperatura do vapor de fluido refrigerante saturado na saída do evaporador (convertida a partir da pressão)		°C
9	t_{02h}	Temperatura do vapor superaquecido na saída do evaporador		°C	10	t_{E1u}	Temperatura do líquido sub-resfriado na entrada do dispositivo de expansão (VET)		°C
11	Δt_{02h}	Superaquecimento calculado na saída do evaporador $\Delta t_{02h} = t_{02h} - t_{02}$ (superaquecimento da VET)		K	12	Δp_{oil}	Diferencial de pressão de óleo = pressão da saída da bomba de óleo - pressão de óleo do cárter		bar
13	t_{V1h}	Temperatura do vapor de fluido refrigerante superaquecido na entrada do compressor		°C	14	t_{V2h}	Temperatura do vapor de fluido refrigerante superaquecido na saída do compressor		°C
15	$t_{óleo}$	Temperatura do óleo		°C	16	Δt_{V1h}	Superaquecimento calculado na entrada do compressor $\Delta t_{v1h} = t_{v1h} - t_{v1}$		K
17	*óleo cor*	Cor do óleo dentro do visor de óleo do compressor			18	*óleo nível*	Nível de óleo dentro do visor de óleo do compressor		
19	t_{amb1}	Temperatura do ar externo		°C	20	t_{amb2}	Temperatura da sala de máquinas		°C
21	t_{sala}	Temperatura do local refrigerado		°C	22	*Ventilação da sala*	Condição do sistema de ventilação da sala de máquinas		
23	$t_{cL1/W1}$	Temperatura da entrada de ar/água do condensador		°C	24	$t_{cL2/W2}$	Temperatura da saída de ar/água do condensador		°C
25	$t_{0L1/K1}$	Temperatura da entrada de ar/água do evaporador		°C	26	$t_{0L2/K2}$	Temperatura da saída de ar/água do evaporador		°C
27	*HP-G*	Temperatura de corte da proteção de alta pressão		°C	28	*PC*	Temperatura de corte do regulador de pressão do ventilador do condensador		°C
29	*HP-L*	Temperatura de corte do pressostato de alta pressão		°C	30	*PC*	Temperatura de reset do regulador de pressão do ventilador do condensador		°C
31	*HP-SL*	Temperatura de corte do pressostato de segurança de alta pressão		°C	32	*TZ*	Temperatura de corte do termostato para proteção contra congelamento		°C
33	*LP-G*	Temperatura de corte da proteção de baixa pressão		bar	34	*FZ*	Temperatura de corte do termostato de proteção do fluxo de água / verificar se $p_{e01} > t_{01}$		°C
35	*LP-L*	Temperatura de corte do pressostato de baixa pressão		bar	36	*HGB*	Temperatura de ativação do desvio de gás quente / verificar se $p_{e02} > t_{02}$		°C

37	*S*	Visor de líquido / > bolhas > limpo > ...			38	*S*	Indicador de umidade do visor de líquido / > úmido > seco > médio	
39	*F*	Temperatura padrão entre a entrada e saída do filtro secador		K	40	*F*	Sinais de corrosão no filtro secador	
41	*Vibr.*	Condição do amortecedor de vibração			42	*Vibr.*	Condição das molas do compressor	
43	*Linhas*	Condição das linhas de transferência do fluido refrigerante / sucção, descarga, líquido, ...			44	*Cond.*	Condição da bandeja e drenagem de condensado	
45	*TXV*	Condição da válvula de expansão			46	*Solen.*	Condição da válvula solenoide	
47	*Isol.*	Condição do isolamento / linha de sucção, linha de injeção, linha de líquido...			48	*Farejador*	Realizar verificação de vazamento usando umdetctor de gás apropriado	
Observações:								
							Assinatura do Técnico	

Fonte: Rolf Huehren.

Anexo 11 — Registro do Consumo de Corrente & Teste de Resistência do Isolamento do Motor

Figura 198 — Registro do Consumo de Corrente & Teste de Resistência do Isolamento do Motor

Registro do Consumo de Corrente & Teste de Resistência do Isolamento do Motor

giz PROKLIMA

Nº do Processo:	Data:
Cliente:	Empresa:
Endereço:	Nome:
Instalação:	Contato:

#	Descrição do contator de força do motor	Consumidor (motor)	Fabricante e Tipo	Corrente / Tensão nominal	L1	L2	L3	Proteção contra sobrecarga	Ponto de ajuste	Disjuntor
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Teste de Resistência de Isolamento do Motor (corrigido para a temperatura) conforme IEEE43 a 500 Vcc

T_R é a temperatura de referência (°C) para a qual todas as medições são corrigidas > T_R = 40 °C

T_A é a temperatura de teste real / K_T é o fator de correção de temperatura em T_A

Equação para determinar o TAIR abaixo é > TAIR = MIR x K_T

Data / Hora	Resistência de Isolamento medida Valor / MIR (MΩ)	Temperatura (°C) medida (T_A)	Valor da resistência de Isolamento Ajustada para a Temperatura TAIR/(MΩ)	Fator de Compensação da Temperatura (K_T)

Para determinar o Fator de Compensação de Temperatura K_T favor consultar a tabela à direita! >>

T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T	T_A °C	K_T
1	0,07	14	0,16	27	0,41	40	1	53	2,46	66	6,06	79	14,93	92	36,76
2	0,08	15	0,18	28	0,44	41	1,07	54	2,64	67	6,5	80	16	93	39,4
3	0,08	16	0,19	29	0,47	42	1,15	55	2,83	68	7	81	17,15	94	42,22
4	0,08	17	0,2	30	0,5	43	1,23	56	3,03	69	7,46	82	18,38	95	45,26
5	0,09	18	0,22	31	0,54	44	1,32	57	3,25	70	8	83	19,7	96	48,5
6	0,09	19	0,23	32	0,57	45	1,41	58	3,48	71	8,57	84	21,11	97	52
7	0,1	20	0,25	33	0,62	46	1,52	59	3,73	72	9,19	85	22,63	98	55,71
8	0,11	21	0,27	34	0,66	47	1,62	60	4	73	9,85	86	24,25	99	59,71
9	0,12	22	0,29	35	0,71	48	1,74	61	4,29	74	10,56	87	26	100	64
10	0,13	23	0,31	36	0,76	49	1,87	62	4,59	75	11,31	88	27,86	101	68,59
11	0,13	24	0,33	37	0,81	50	2	63	4,92	76	12,13	89	29,86	102	73,52
12	0,14	25	0,35	38	0,87	51	2,14	64	5,28	77	13	90	32	103	78,79
13	0,15	26	0,38	39	0,93	52	2,3	65	5,66	78	13,93	91	34,3	104	84,45

Assinatura do Técnico

Fonte: Rolf Huehren.

Implementação:

cooperação alemã
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Por meio da
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Apoio:

ABRAVA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO
DESDE 1962

Coordenação:

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO