



PROGRAMA
BRASILEIRO DE
ELIMINAÇÃO DOS
HCFCs
Projeto para o Setor de RAC

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs - PBH



**Relatório com Informações sobre Tecnologias/Equipamentos
de Baixo GWP para Ar Condicionado Residencial**

Síntese dos Relatórios do UNEP-TEAP e outras Instituições envolvidas
na Implementação de Alternativas aos HCFCs e HFCs de Alto GWP

Presidência da República

Jair Messias Bolsonaro

Ministério do Meio Ambiente

Ricardo Salles

Secretaria Executiva

Luís Gustavo Biagioni

Secretaria de Relações Internacionais

Roberto Castelo Branco Coelho de Souza

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria de Relações Internacionais
Departamento de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs - PBH

Relatório com Informações sobre Tecnologias/Equipamentos de Baixo GWP para Ar Condicionado Residencial

Síntese dos Relatórios do UNEP-TEAP e outras Instituições
envolvidas na Implementação de Alternativas aos
HCFCs e HFCs de Alto GWP

MMA
Brasília, 2020.

© 2020 Ministério do Meio Ambiente - MMA

Este documento pode ser reproduzido na íntegra ou em parte sem consentimento prévio por escrito desde que a parte reproduzida seja atribuída ao Ministério do Meio Ambiente e à Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO).

Departamento de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

Adriano Santhiago de Oliveira

Coordenação-Geral de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

Hugo do Valle Mendes

Coordenação Técnica

Frank Amorim (MMA)

Magna Ludovice (MMA)

Edgard Soares (UNIDO)

Equipe Técnica UNIDO

Sérgia de Souza Oliveira

Edgard Soares

Ever Fiorentino Meirelles

Elaboração

Roberto de Aguiar Peixoto

Colaboração

Tatiana Lopes de Oliveira Pereira

Projeto Gráfico, Diagramação e Arte

UNIDO

Secretaria de Relações Internacionais

Departamento de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, 5º andar, Sala 522

CEP: 70.069-900 – Brasília-DF

Telefone: (61) 2028-2248

E-mail: ozonio@mma.gov.br

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO)

SHS Qd.06, Cj. A, Bl.A, Sl.612, Centro Empresarial Brasil 21

CEP: 70.316-102 – Brasília-DF

Telefone: (61) 3037-8440

E-mail: mpr.brazil@unido.org

Siglas e Abreviaturas

A-5:	Países Artigo-5 do Protocolo de Montreal
A-2:	Países Artigo-2 do Protocolo de Montreal
AC:	Ar condicionado
AHRI:	Instituto de Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor (<i>Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute</i>)
AREP:	Programa de Avaliação de Refrigerantes Alternativos (<i>Alternative Refrigerants Evaluation Program</i>)
AR4:	Quarto Relatório de Avaliação (<i>Fourth Assessment Report</i>)
ATEL/ODL:	Limite de exposição a toxicidade aguda / limite de privação de oxigênio (<i>Acute Toxicity Exposure Limit/Oxygen Deprivation Limit</i>)
ATEX:	Equipamentos destinados a serem utilizados em atmosferas explosivas (<i>Appareils destinés à être utilisés at Atmosphères Explosives</i>)
CO2:	Dióxido de carbono
CKD:	Complete Knockdown
COP:	Coefficiente de desempenho
EE:	Eficiência Energética
EER:	Índice de eficiência energética (<i>Energy Efficiency Rate</i>)
ExCom:	Comitê Executivo (<i>Executive Committee</i>)
GEE:	Gases de efeito estufa
Gt:	Giga ton
GWP:	Potencial de aquecimento global (<i>Global Warming Potential</i>)
HAT:	Alta temperatura ambiente (<i>High Ambient Temperature</i>)
HC:	Hidrocarboneto
HFOs:	Hidrofluoroolefinas
IBAMA:	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IPCC:	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IEA:	Agência Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
Inmetro:	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kW:	kilowatt
LFL:	Limite inferior de inflamabilidade (<i>Lower Flammability Limit</i>)
MCHX:	Trocadores de calor microcanais (<i>Micro-Channel Heat Exchanger</i>)
MEPs:	Normas de Mínima Eficiência Energética (<i>Minimum Energy Performance Standards</i>)

MMA:	Ministério do Meio Ambiente
UNIDO:	Organização da Nações Unidas Para o Desenvolvimento Industrial (<i>United Nations Industrial Development Organization - UNIDO</i>)
PBH:	Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs
PDO:	Potencial de Destruição de Ozônio (<i>Ozone Depletion Potential - ODP</i>)
PNUMA:	Programa da Nações Unidas Para o Meio Ambiente (<i>United Nations Environment Program – UNEP</i>)
POE:	Poliol éster
PVE:	Polivinil éter
PTAC:	Condicionador de ar de piso (<i>Packaged Terminal</i>)
P&D:	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE:	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PRAHA:	Promovendo refrigerantes com baixo GWP para ar condicionado em países com temperatura ambiente alta (<i>Promoting low-GWP Refrigerants for Air-conditioning sectors in High-Ambient temperature countries</i>)
Procel:	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC:	Refrigeração e Ar Condicionado
RTOC:	Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor (<i>Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee</i>)
SKD:	Semi-Knockdown
SDO:	Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (Ozone Depletion Substances - ODS)
SEER:	Índice de Eficiência Energética Sazonal (<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>)
TCOND:	Temperatura de Condensação
Teap:	Painel de Avaliação Econômica e Tecnológica (<i>Technology and Economic Assessment Panel</i>)
TEVAP:	Temperatura de evaporação
UNFCCC:	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
VRF:	Fluxo variável de refrigerante (<i>Variable Refrigerant Flow</i>)

Lista de Figuras

FIGURA 1-1	Emenda Kigali, cronogramas de eliminação gradual para as Partes A5.....	25
FIGURA 1-2	Emenda Kigali, cronogramas de eliminação gradual para as Partes Não-A5.....	26
FIGURA 1-3	Impacto da temperatura ambiente no desempenho.....	26
FIGURA 2-1	Equipamento de condicionamento de ar portáteis (a), janela (b), piso-PTAC (c), parede-TTW (d).....	32
FIGURA 2-2	Unidade condensadora externa (a), unidade interna de parede (b), unidade interna de teto, unidade interna de piso (d).....	34
FIGURA 2-3	Componentes da unidade condensadora externa.....	34
FIGURA 2-4	Componentes da unidade evaporadora interna.....	34
FIGURA 2-5	Equipamento multi-split.....	35
FIGURA 2-6	Unidade de tratamento de ar e unidade condensadora para um sistema split com duto.....	36
FIGURA 2-7	Unidade de condicionamento de ar self-contained comercial com duto.....	37
FIGURA 4-1	Procedimento para avaliação de risco de explosão.....	52
FIGURA 4-2	Medidas de proteção técnica e organizacional contra explosão.....	53
FIGURA 5-1	Uso global de refrigerante em novos equipamentos AC unitários.....	57
FIGURA 5-2	Capacidade global do compressor rotativo RAC em setembro de 2018.....	59
FIGURA 5-3	Produção chinesa de compressores rotativos de velocidade fixa e variável, 2012-2017.....	60
FIGURA 5-4	Produção chinesa de compressores rotativos por refrigerante, 2012-2017.....	60
FIGURA 7-1	Opções considerando o manuseio de refrigerante durante a manutenção do equipamento.....	73

Lista de Tabelas

TABELA 1-1	Anexo F do Protocolo de Montreal.....	23
TABELA 1-2	Cálculo da linha de base da Emenda Kigali e cronogramas de eliminação gradual para as Partes A5.....	24
TABELA 1-3	Cálculo da linha de base da Emenda Kigali e cronogramas de eliminação gradual para as Partes Não-A5.....	25
TABELA 1-4	Visão geral do uso de refrigerante e alternativas aos HCFCs e HFCs com alto GWP.....	27
TABELA 2-1	Tipos de condicionadores de ar.....	31
TABELA 5-1	Disponibilidade de componentes e impacto na eficiência energética.....	64
TABELA 7-1	Propriedades de Refrigerantes Alternativos ao HCFC-22 para Equipamentos Existentes.....	80

Sumário

SUMÁRIO EXECUTIVO	12
1. INTRODUÇÃO	21
1.1 Eliminação do consumo de HCFCs no setor de refrigeração e ar condicionado no Brasil	21
1.2 A emenda de kigali ao protocolo de montreal	22
1.2.1 Isenção para países com alta temperatura ambiente	26
1.2.2 Impacto potencial na escolha de refrigerantes	27
1.3 Equipamentos de ar condicionado compactos	29
2. TIPOS DE EQUIPAMENTO	31
2.1 Pequenas unidades de condicionamento de ar compactas	32
2.2 Unidades de condicionamento de ar residencial e comercial split (não-dutado)	33
2.3 Ar condicionado multi-split para uso comercial e residencial	35
2.4 Ar condicionado split com duto (residencial e comercial)	36
2.5 Condicionadores de ar comerciais self-contained (autônomos) com dutos	37
3. OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS	38
3.1 HFC-134A	39
3.2 R-407C	39
3.3 R-410A	39
3.4 HFC-32	40
3.5 HFC-161	41
3.6 HFO-1234YF	41
3.7 HC-290	42
3.8 HC-1270	43
3.9 R-744	43
3.10 Novos refrigerantes misturas para aparelhos de ar condicionado	44
3.10.1 R-444B	44
3.10.2 R-447B	44
3.10.3 R-452B	45
3.10.4 R-454A	45

3.10.5 R-454B	45
3.10.6 R-459A	46
4. USO DE REFRIGERANTES INFLAMÁVEIS	47
4.1 Situação global	47
4.2 Segurança no uso de refrigerantes inflamáveis	48
4.2.1 Classificação de áreas perigosas	48
4.2.2 Medidas de segurança contra explosões	49
4.3 Diretiva ATEX	54
4.4 Medidas de segurança para uso de HC-290 na produção de equipamentos de ar condicionado	55
5. DISPONIBILIDADE DE COMPONENTES PARA FLUIDO COM BAIXO GWP	56
5.1 Disponibilidade de refrigerantes	56
5.2 Disponibilidade de compressores	58
5.3 Óleos lubrificantes do compressor	62
5.4 Disponibilidade de trocadores de calor	62
5.5 Disponibilidade de ventiladores	62
5.6 Disponibilidade de acessórios do circuito de refrigeração	63
5.7 Resumo da disponibilidade de componentes e impacto na eficiência energética	63
6. A QUESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	65
6.1 Conceitos básicos	67
6.2 Oportunidades tecnológicas	67
6.2.1 Refrigerantes	67
6.2.2 Componentes	69
6.2.3 Design da unidade	69
6.2.4 Instalação	70
6.3 Legislação brasileira sobre consumo de energia em equipamentos de ar condicionado	70
7. OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES	72
7.1 Critérios para seleção de refrigerante alternativo	73
7.1.1 Refrigerante “drop-in”	74
7.1.2 Refrigerante para “retrofit”	74
7.1.3 Conversão para fluidos inflamáveis	75

7.2 Opções de refrigerantes sintéticos “drop-in e “retrofit”	76
7.2.1 R427A	76
7.2.2 R-407C	77
7.2.3 R-422D	77
7.2.4 R-438A	78
7.2.5 R-453A	78
7.3 Opções para conversão para o uso de refrigerantes inflamáveis hidrocarbonetos	78
7.3.1 HC-290 (propano).....	78
7.3.2 Propileno (HC-1270)	79
7.4 Resumo das principais propriedades de refrigerantes alternativos ao HCFC-22 para equipamentos existentes	80
8. RECOMENDAÇÕES	81
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
10. ANEXOS	86
10.1 Anexo I - Situação atual dos refrigerantes alternativos sendo utilizados e propostos para substituições de HCFCs e HFCs de alto GWP.....	86
10.2 Anexo II - Dados de fabricantes de compressores da China	89
10.3 Anexo III - Consumo de energia em equipamentos de refrigeração e ar condicionado	92
10.4 Anexo IV - Portaria Interministerial MME/MDIC/MCTIC nº 2, de 31.07.2018.....	95

SUMÁRIO EXECUTIVO

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs (PBH)

O Brasil, como parte dos compromissos assumidos junto ao Protocolo de Montreal, desenvolveu e está implementando o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), envolvendo a substituição do HCFC-22 na produção de equipamentos de ar condicionado, entre outros setores. Isto está ocorrendo em um momento em que o Protocolo de Montreal aprovou uma nova medida impondo controles sobre o uso de HFCs, a Emenda de Kigali.

O Ministério do Meio Ambiente do governo brasileiro (MMA), em cooperação com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO em inglês), está implementando o projeto de eliminação do consumo de HCFCs no setor de fabricação de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, Projeto RAC, no âmbito da etapa 2 do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs - PBH, que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A etapa 2 do PBH foi aprovada na 75ª ExCom (novembro de 2015), com o objetivo de reduzir o consumo de HCFC no Brasil. O PBH prevê a redução de 39,3% até 2020 e em 51,6% até 2021, conforme Instrução Normativa IBAMA nº 04, de 14 de fevereiro de 2018. O Projeto visa eliminar o HCFC-22 do processo de produção das empresas que fabricam equipamentos de refrigeração e ar condicionado.

Segundo o PBH, etapa 2, no Brasil, unidades de pequeno porte (janelas e splits) são importadas e manufaturadas localmente, com a maioria dos fabricantes localizados em Manaus, Amazonas. Estes se baseiam comumente na importação de kits Semi-Knockdown (SKD) ou Complete-Knockdown (CKD) e realizam a montagem dos aparelhos e a carga do fluido frigorífico na fábrica.

EMENDA DE KIGALI

Os benefícios climáticos do Protocolo de Montreal poderiam ser reduzidos ou totalmente perdidos no futuro se as SDOs fossem substituídas por HFCs de alto potencial de aquecimento global (GWP), com as decorrentes emissões desses HFCs. Os HFCs são gases de efeito estufa que tem GWP alto ou muito alto, até 14.800. Os HFCs foram desenvolvidos e amplamente promovidos como alternativas às SDOs e têm sido usados nos últimos 30 anos em vários setores, principalmente como refrigerante em aplicações de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor.

Na 28ª Reunião das partes, em 15 de outubro de 2016, em Kigali, Ruanda, as partes decidiram adicionar 17 HFCs às substâncias controladas pelo protocolo, em um novo Anexo F. Eles são apresentados com seus Potenciais de Aquecimento Global (ver tabela SE-1). O anexo também apresenta o GWP de CFCs e HCFCs.

Tabela SE-1. Anexo F do Protocolo de Montreal (UNEP, 2017)

HFCs (Grupo I)		HCFCs	
Substância	GWP (100 anos)	Substância	GWP (100 anos)
HFC-134	1100	HCFC-21	151
HFC-134a	1430	HCFC-22	1810
HFC-143	353	HCFC-123	77
HFC-245fa	1030	HCFC-124	609
HFC-365mfc	794	HCFC-141b	725
HFC-227ea	3220	HCFC-142b	2310
HFC-236cb	1340	HCFC-225ca	122
HFC-236ea	1370	HCFC-225cb	595
HFC-236fa	9810		
HFC-245ca	693	CFCs	
HFC-43-10mee	1640	Substância	GWP (100 anos)
HFC-32	675		
HFC-125	3500	CFC-11	4750
HFC-143a	4470	CFC-12	10900
HFC-41	92	CFC-113	6130
HFC-152	53	CFC-114	10000
HFC-152 ^a	124	CFC-115	7370
HFCs (Grupo II)			
HFC-23	14800		

Os valores de GWP no novo Anexo F devem ser usados para a conversão de quantidades de HFC em equivalente de dióxido de carbono (CO₂-eq) em todos os relatórios que os países precisam apresentar relacionados à implementação da redução gradual do uso de HFCs. As informações sobre produção, consumo, importações, exportações e emissões de HFCs devem ser expressas em CO₂-eq e não em quantidades em massa de HFC. As partes aprovaram cronogramas para redução do consumo de HFCs. A tabela SE-2 apresenta o cronograma para os países Artigo 5.

Tabela SE-2. Cálculo da linha de base da Emenda Kigali e cronogramas de eliminação gradual para as Partes A5 (Peixoto et al, 2017)

	Partes Artigo 5 – Grupo 1		Partes Artigo 5 – Grupo 2	
Anos da linha de base	2020, 2021 e 2022		2024, 2025 e 2026	
Cálculo da linha de base	Média da produção / consumo de HFCs em 2020, 2021 e 2022 Mais 65% da produção / consumo de HCFC na linha de base		Média da produção / consumo de HFCs em 2024, 2025 e 2026 Mais 65% da produção / consumo de HCFC na linha de base	
Etapas de redução				
Congelamento	2024		2028	
Etapa 1	2029	10%	2032	10%
Etapa 2	2035	30%	2037	20%
Etapa 3	2040	50%	2042	30%
Etapa 4	2045	80%	2047	85%

CONDICIONADORES DE AR

Os condicionadores de ar, incluindo bombas de calor reversíveis para aquecimento de ar, compreendem a grande maioria do mercado de ar condicionado global (a maior parte dos quais tem capacidade inferior a 70 kW). São chamados de equipamentos unitários ou resfriados a ar. Esses sistemas resfriam e/ou aquecem espaços fechados residenciais e comerciais. A maioria utiliza ciclos de compressão de vapor acionados eletricamente usando compressores herméticos rotativos, alternativos ou scroll para unidades com capacidades de até 100 kW e compressores semi-herméticos alternativos, scroll ou parafuso semi-herméticos para unidades com capacidades de até 1.100 kW. O ar a ser resfriado passa sobre uma serpentina contendo refrigerante que passa por um processo de evaporação. Nos sistemas que fornecem aquecimento e resfriamento, o papel do evaporador e do condensador é revertido para fornecer aquecimento ou resfriamento. No modo de aquecimento, o ar do espaço condicionado passa pela mesma serpentina que contém refrigerante em processo de condensação, transferindo calor para o ar.

Os condicionadores de ar geralmente se enquadram nas seguintes categorias, baseadas principalmente na capacidade ou aplicação:

- Unidades compactas (janela, portáteis, condicionadores de piso (PTAC) e condicionadores de ar de parede);
- Aparelhos de ar condicionado residenciais e comerciais não dutados;
- Unidades split residenciais e comerciais com duto, multi-split (incluindo fluxo variável de refrigerante, VRF);
- Condicionadores de ar rooftop.

Em cada uma dessas categorias, o termo “ar condicionado” inclui sistemas que resfriam ou aquecem diretamente o ar condicionado.

Quase todos os aparelhos de ar condicionado fabricados antes de 2000 usavam HCFC-22. A transição e eliminação do HCFC-22 está completa em países não-Artigo 5.

Uma questão importante atualmente é qual a melhor opção de baixo GWP para substituir o HCFC-22 em aparelhos de ar condicionado?

OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS

Refrigerantes HFC puros (componente único) foram investigados como substitutos do HCFC-22 e o HFC-134a era o único HFC puro usado comercialmente em sistemas de ar condicionado, mas em extensão limitada. Atualmente os aparelhos de ar condicionado estão disponíveis com os refrigerantes puros HC-290 e o HFC-32. Surgiram nos últimos anos várias misturas de HFC como substitutos do HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. Várias composições de HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFO-1234yf e HFO-1234ze estão sendo oferecidas como substitutos não SDO do HCFC-22. As duas misturas de HFC mais usadas para substituir o HCFC-22 são o R-407C e o R-410A. No entanto, tanto o R-407C quanto o R-410A têm GWPs próximos aos do HCFC-22 e, portanto, são considerados muito altos para uso a longo prazo, sob a Emenda Kigali.

Considerando as várias alternativas do R-410A com GWP médio e baixo, a maioria delas apresenta algum nível de inflamabilidade. Alternativas com capacidade e pressão comparáveis ao HCFC-22 e com um GWP menor que cerca de 600 tendem a ser inflamáveis, enquanto aquelas com um GWP maior tendem a não ser. Medidas apropriadas devem ser aplicadas para atenuar o risco, tais como:

- Minimizar a quantidade de refrigerante que pode vazar nos espaços ocupados ou remover o refrigerante do espaço ocupado;
- Garantir que a probabilidade de ignição seja bastante reduzida por meio da avaliação de riscos;
- Observar os requisitos estabelecidos pelas regulamentações nacionais e/ou padrões de segurança apropriados (onde existirem).

Atualmente, as normas de segurança estão continuamente em desenvolvimento e aprimoramento. Uma visão geral mais abrangente das normas de segurança aplicáveis e desenvolvimentos recentes no campo da segurança de refrigerantes inflamáveis é detalhada no relatório da Decisão XXVIII/4 “Padrões de segurança para refrigerantes inflamáveis de baixo potencial de aquecimento global (GWP)” (UNEP, 2017).

R-410A

O R-410A é uma alternativa para substituir o HCFC 22 em novos equipamentos e devido às suas propriedades termofísicas, o design das unidades R-410A pode ser mais compacto do que as unidades HCFC-22 que substituem. Os condicionadores de ar com R-410A são atualmente disponíveis comercialmente em todo o mundo. Uma parcela significativa dos aparelhos de ar condicionado utiliza o R-410A. As pressões operacionais mais altas do R-410A (cerca de 50-60% maiores que o HCFC-22) acarretaram alterações no projeto das unidades, envolvendo paredes mais espessas nas carcaças do compressor e nos vasos de pressão (acumuladores de líquido).

Devido às preocupações com o GWP, o R-410A está se tornando uma alternativa menos viável para o HCFC-22 a longo prazo. Agora existe um movimento para substituição do R-410A.

HFC-32

O HFC-32 é considerado um substituto do HCFC-22 e R-410A devido ao seu GWP médio, capacidade e eficiência semelhantes. Devido à menor densidade, a carga específica de refrigerante (por kW de capacidade de refrigeração) é cerca de 10 a 20% menor que a do R-410A. Os sistemas com R-410A podem ser reprojatados para o HFC-32 com modificações e com medidas de segurança adicionais. Dada a sua inflamabilidade, de classe 2L; são necessárias alterações de design, instalação e manutenção para que seja utilizado com segurança.

Há muitos estudos publicados sobre o desempenho relativo do HFC-32 e R-410A. No geral, o COP varia de -3% a + 10% em comparação com o R-410A, enquanto a capacidade está entre -1% e + 6%.

Atualmente, os aparelhos de ar condicionado que utilizam HFC-32 são produzidos e comercializados em vários países localizados na Ásia, Europa e África. Os produtos estão sendo comercializados na Austrália e no Oriente Médio, entre outras regiões.

HC-290

O HC-290 é o refrigerante hidrocarboneto utilizado com mais frequência em aplicações de ar condicionado. Quando usado para substituir o HCFC-22, o HC-290 possui características de desempenho que tendem a produzir maior eficiência energética e capacidade de refrigeração e aquecimento um pouco menor. Resultados de testes em aparelhos de ar condicionado tipo janela e split com HC-290 relatam valores COP variando de cerca de -4% a + 20% e capacidade de resfriamento variando de -10% a + 10%.

Como o HC-290 possui menor densidade e maior calor latente, a carga de refrigerante é cerca de 45% do HCFC-22; tipicamente em torno de 0,05 a 0,15 kg/por kW de capacidade de refrigeração nominal. Além disso, o HC-290 reduz as temperaturas de descarga do compressor e melhora a transferência de calor devido às propriedades termo físicas favoráveis.

A principal dificuldade do HC-290 é sua inflamabilidade classe 3, que cria preocupações de segurança na aplicação, instalação e manutenção de campo. As normas europeias e internacionais limitam a carga interna do HC 290. Tais limitações de tamanho de carga podem restringir o uso do HC-290 a sistemas de menor capacidade; para ampliar a faixa de capacidade, podem ser aplicadas técnicas de redução de carga.

Até agora, a produção e vendas de unidades de ar condicionado com HC-290 ainda é baixa em comparação com os volumes globais do mercado dessas unidades. A capacidade de fabricar unidades HC-290 está limitada à China e à Índia. Na Índia, o fabricante local Godrej está produzindo principalmente para o mercado doméstico - com aproximadamente 650.000 unidades vendidas até julho de 2019. Vários fabricantes chineses transformaram suas linhas de produção no passado, entre eles Midea, Haier, TCL, Gree, Hisense, Changhong, AUX e Yair. Muitos condicionadores de ar portáteis estão sendo produzidos com o HC-290.

HFC-161

O refrigerante HFC-161 também está sendo avaliado como um substituto para o HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. Possui propriedades termodinâmicas semelhantes às do HCFC-22 e é inflamável e, portanto, os sistemas devem ser projetados, construídos e instalados em conformidade. Vários estudos que examinaram o desempenho do HFC-161, em comparação com o HCFC-22, mostram a redução da capacidade do HFC-161 em torno de 5% e do COP em cerca de 5% a 15% superior ao HCFC-22.

HFO-1234YF

Como o HFO-1234yf possui uma capacidade de refrigeração volumétrica relativamente baixa, é improvável que seja amplamente utilizado como substituto do HCFC-22.

R-744

O R-744 tem uma temperatura crítica baixa, o que resulta em perdas significativas de eficiência quando é utilizado nas temperaturas típicas de ambientes internos e externos de aplicações de ar condicionado sem ajustar o sistema de refrigeração e adotar determinadas tecnologias.

Os sistemas de ar condicionado com R-744 resfriados a ar estão disponíveis em capacidades de cerca de 3 a 300 kW. Resultados experimentais mostram que os sistemas R-744 podem competir em eficiência energética com os sistemas R-410A de alta eficiência para climas moderados nos modos de resfriamento e aquecimento; no entanto, são necessárias melhorias para aumentar significativamente a capacidade, a eficiência.

NOVOS REFRIGERANTES MISTURAS PARA APARELHOS DE AR CONDICIONADO

Existem várias novas misturas emergentes para uso potencial em ar condicionado, incluindo: R-444B, R-446A, R-447A, R-447B, R-452B, R-454A, R-454B, R-455A, R-459A e R-511A. Todos possuem características de pressão de saturação de vapor e capacidade volumétrica de refrigeração que abrangem aproximadamente o intervalo entre o HCFC-22 e o R-410A e são potencialmente viáveis para uso em muitos tipos de sistemas de ar condicionado. Todos têm inflamabilidade de classe 2L (exceto o R-511A, que é um refrigerante A3 inflamável) e, portanto, têm tamanhos de carga máximos limitados. Como em todos os refrigerantes inflamáveis, os sistemas devem ser projetados, construídos e instalados levando em consideração sua inflamabilidade. Para todas essas misturas, as implicações de custo devem ser comparáveis às do HCFC-22 e R-410A, embora provavelmente um pouco maiores devido aos atuais preços mais altos do refrigerante. Atualmente, fabricantes e institutos de pesquisa de vários países estão testando essas várias misturas.

DISPONIBILIDADE DE REFRIGERANTES

Novos refrigerantes com classes de inflamabilidade A2L e A3 criam alguns desafios e exigem que os países estabeleçam regulamentos locais. O HFC-32 e o HC-290 podem ser obtidos de vários fornecedores em todo o mundo. A demanda por HC-290 tem sido mais ou menos estável e é coberta pela produção atual. O mesmo se aplica ao HFC-32, embora tenha havido um aumento na demanda ultimamente. A demanda por ambos os refrigerantes, no entanto, permanece pequena em comparação com o R-410A.

Como a produção de AC usando refrigerantes de médio e baixo GWP está crescendo na Ásia, especialmente na China, a disponibilidade a longo prazo desses refrigerantes provavelmente não será um problema, uma vez que o aumento na produção de refrigerante normalmente seguirá o aumento na demanda de equipamentos.

DISPONIBILIDADE DE COMPRESSORES

Equipamentos de ar condicionado tipo split usam principalmente compressores do tipo rotativo. A forma de controle tradicional de compressores rotativos é a “velocidade fixa”, o que significa que ele tem apenas dois modos: “ligado” ou “desligado”. O compressor é ligado para o resfriamento do ambiente condicionado e desliga-se assim que o ambiente atinge a temperatura desejada. Os compressores de “velocidade variável” são acionados por inversor e podem operar em mais de uma velocidade para fornecer de maneira mais eficiente e confortável a quantidade de resfriamento necessária e manter a temperatura desejada. As unidades de velocidade variável requerem sistemas de controle eletrônico, que podem aumentar os custos de fabricação.

Atualmente, quase toda a produção de compressores rotativos está localizada na Ásia e concentrada na China. A fabricação de compressores fora da China em ordem decrescente de capacidade a partir de 2018 inclui Tailândia, Coreia do Sul, Malásia, Japão, Índia, Brasil e República Tcheca.

Empresas fabricantes de compressores informam que os compressores rotativos que usam refrigerantes com alto GWP, HCFC-22 e R-410A, representaram a maioria dos modelos disponíveis em todo o mundo em 2018. Por outro lado, muitas empresas, principalmente na Ásia, oferecem agora compressores de velocidade fixa e variável que usam refrigerantes de médio e baixo GWP, HFC-32 e HC-290.

No Brasil, uma política conhecida como Processo Produtivo Básico tem um grande impacto na produção de compressores e condicionadores de ar. A política fornece incentivos fiscais para empresas que fabricam produtos na região Norte do Brasil usando uma certa porcentagem de peças adquiridas no Brasil. A maioria dos fabricantes de unidades de ar-condicionado no Brasil utiliza, em alguns de seus modelos, compressores da Tecumseh, o único fabricante local de compressores, para atender aos requisitos do Processo Produtivo Básico. A Tecumseh fornece modelos de velocidade fixa que usam refrigerante com maior GWP. Toda a produção é destinada aos mercados locais; as exportações são mínimas. O mercado brasileiro não cresceu no ritmo de outras regiões em desenvolvimento, como a Índia, devido a uma recente crise econômica (2014–2016).

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética e o consumo de energia são uma consideração importante para todos os equipamentos de refrigeração e ar condicionado. Dado que o ar condicionado é muito utilizado em muitos dos países mais populosos e espera-se que continue a crescer substancialmente em muitos países A5 à medida que a riqueza e as temperaturas globais subirem. Estima-se que a fração de famílias com ar-condicionado aumentará de 13% para mais de 70% até 2100, correspondendo a um aumento de cerca de 83% no consumo residencial de eletricidade. Consequentemente, aumentará a demanda nacional de eletricidade, com implicações na confiabilidade do fornecimento e nas emissões de CO₂. Em muitos países e regiões, o uso do ar condicionado coincide com o pico da demanda de eletricidade.

O reconhecimento desse cenário levou a maioria dos países a implementar alguma forma de eficiência mínima obrigatória ou voluntária e/ou regras de rotulagem. Os aparelhos de ar condicionado menores são mais amplamente regulamentados que os sistemas maiores. Essas medidas incluem eficiências de plena carga e eficiências sazonais.

Existem inúmeras técnicas disponíveis para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia. Isso inclui compressores de velocidade variável, melhorias no projeto dos trocadores de calor, uso de válvulas de expansão eletrônicas, sistemas avançados de controle, melhorias no projeto do compressor, integração do resfriamento evaporativo aos condensadores.

Com relação às misturas de refrigerante de baixo GWP, em princípio, elas podem ser importantes na otimização do desempenho do sistema, no equilíbrio entre o coeficiente de desempenho (COP), capacidade volumétrica, inflamabilidade e GWP.

A maior parte da melhoria potencial em eficiência energética virá do design geral do equipamento, e não do refrigerante usado. Essas grandes melhorias na eficiência energética vêm com a instalação de componentes e sistemas de controle avançados nos equipamentos, que podem gerar melhorias de eficiência (em comparação com o design de linha de base) que podem variar de 10% a 70%.

OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES QUE USAM HCFC-22

Em países não-Artigo 5, devido aos custos mais altos de mão-de-obra associados ao reparo e devido aos benefícios apresentados por novos equipamentos com maior eficiência e menor custo operacional, a opção de substituição de equipamentos é geralmente mais atraente.

Consequentemente, as opções de substituição do HCFC-22 nos equipamentos existentes, juntamente com a conservação do refrigerante HCFC-22, por meio de contenção, recuperação, reciclagem e/ou regeneração, precisam ser consideradas e podem vir a desempenhar um papel relevante nos países Artigo 5.

Ao fazer a manutenção de equipamentos de ar condicionado e refrigeração, as seguintes ações podem ser realizadas, considerando o manejo do refrigerante:

- Recuperação do refrigerante e reutilização do mesmo refrigerante;
- Troca do refrigerante por um refrigerante “drop-in”;
- Adaptação do equipamento – “retrofit” (troca de refrigerante e componentes do sistema);
- Conversão do equipamento para uso de refrigerante inflamável.

Quando se utiliza um refrigerante “drop-in”, o refrigerante HCFC-22 é substituído por um refrigerante alternativo, (“service refrigerant”), mas sem alterar os componentes do equipamento ou o lubrificante usado no equipamento original. Uma desvantagem dessa opção de substituição do HCFC-22 é que geralmente resulta em menor capacidade de refrigeração e/ou eficiência (COP) em comparação com o HCFC-22, devido às diferentes pressões operacionais, temperaturas e potência do compressor exigidas.

Atualmente, existem vários refrigerantes introduzidos para substituir o HCFC-22 em operações de reparo e manutenção. Eles geralmente combinam dois ou mais refrigerantes HFC com uma pequena quantidade de HC (ou certos refrigerantes HFC, como o HFC-227ea), que são adicionados à mistura para permitir que o refrigerante trabalhe com o alquilbenzeno à base de óleo mineral naftênico e alquilbenzeno, lubrificantes historicamente usados em quase todos os sistemas de ar condicionado e refrigeração com HCFC-22. Assim, esses refrigerantes tentam reproduzir o desempenho do HCFC-22. No entanto, eles raramente desempenham tão bem quanto o HCFC-22; apresentando menor capacidade, eficiência ou ambos.

O “retrofit” (reforma) de equipamento que utiliza HCFC-22 ocorre quando o refrigerante, HCFC-22, é substituído, e a substituição envolve não apenas a troca do refrigerante, mas também componentes do sistema, como lubrificante, filtro secador (se necessário) e, em certos casos, modificações mais extensas que podem incluir a substituição do compressor, lubrificante, secador, dispositivo de expansão e purga e lavagem do sistema para remover todo o lubrificante residual do sistema.

Esta operação pode ser substancialmente mais cara do que o uso de refrigerante existente, utilização de um refrigerante “drop-in” sem alterações adicionais ou mesmo a substituição da unidade. Provavelmente não é rentável se o compressor ou os trocadores de calor tiverem que ser substituídos.

Várias misturas de HFC propostas para alternativas ao HCFC-22 em aparelhos de ar condicionado novos também são consideradas como refrigerantes de “retrofit” adequados para sistemas de HCFC-22; exemplos de tais misturas de HFC incluem R-407A, R-407B, R-407C, R-407D, R-407E, R-421A, R-421B e R-427A.

Empresas de manutenção de refrigeração e ar condicionado publicam diretrizes que descrevem os principais aspectos e etapas recomendados a serem seguidos no processo de adaptação para uso desses refrigerantes.

Uma mudança de refrigerante não inflamável para inflamável deve ser considerada como uma conversão completa do equipamento, exigindo alterações relacionadas à mitigação do risco de inflamabilidade. A alternativa de conversão para refrigerantes hidrocarbonetos precisa avaliar as capacidades técnicas locais (treinamento / certificação relevante em HC, normas / códigos, acesso a ferramentas relevantes). A conversão de sistemas deve ser realizada apenas por técnicos bem treinados, treinados com HCs, com equipamento adequado e correto, usando os métodos mais seguros e adequados, considerando que o risco é muito maior durante o serviço/manutenção do que durante a fabricação de unidades com refrigerantes inflamáveis.

1. Introdução

O Brasil, como parte dos compromissos assumidos junto ao Protocolo de Montreal, desenvolveu e está implementando o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), envolvendo a substituição do HCFC-22 na produção de equipamentos de ar condicionado. Isto está ocorrendo em um momento em que o Protocolo de Montreal aprovou uma nova medida impondo controles sobre o uso de HFCs, a Emenda de Kigali.

1.1 Eliminação do consumo de HCFCs no setor de Refrigeração e Ar Condicionado no Brasil

O Ministério do Meio Ambiente do governo brasileiro (MMA), em cooperação com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO em inglês), está implementando o projeto de eliminação do consumo de HCFCs no setor de fabricação de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, Projeto RAC, no âmbito da etapa 2 do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs - PBH, que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A etapa 2 do PBH foi aprovada na 75ª ExCom (novembro de 2015), com o objetivo de reduzir o consumo de HCFC no Brasil. O PBH prevê a redução de 39,3% até 2020 e em 51,6% até 2021, conforme Instrução Normativa IBAMA nº 04, de 14 de fevereiro de 2018.

O Projeto visa eliminar o HCFC-22 do processo de produção das empresas que fabricam equipamentos de refrigeração e ar condicionado. As empresas beneficiárias recebem apoio técnico e financeiro para eliminar gradualmente o HCFC-22 de seu processo de produção e adotar uma alternativa tecnológica de potencial zero de destruição da camada de ozônio (ODP, em inglês) e baixo impacto no sistema climático global.

O objetivo deste relatório é fornecer informações sistematizadas e atualizadas sobre o uso de fluido frigoríficos (ou refrigerantes) alternativos em aparelhos de ar condicionado residenciais, relacionadas à discussão técnica sobre as alternativas de eliminação do HCFC-22 e HFCs de alto potencial de aquecimento global (GWP em inglês) nas várias instâncias do Protocolo de Montreal, em especial os Relatórios do Painel de Avaliação Econômica e Tecnológica.

Segundo o PBH, etapa 2, no Brasil, unidades de pequeno porte (janelas e splits) são importadas e manufaturadas localmente, com a maioria dos fabricantes localizados em Manaus, Amazonas. Estes se baseiam comumente na importação de kits Semi-Knockdown (SKD) ou Complete-Knockdown (CKD)

e realizam a montagem dos aparelhos e a carga do fluido frigorífico na fábrica. Em 2013, foi registrada a produção de 3.640.784 unidades de aparelho de ar condicionado no País. Cerca de 90% das unidades importadas ou nacionais usavam o HCFC-22 como fluido refrigerante, e o restante usa R-410A (mistura de HFCs). Entretanto, havia uma tendência crescente no uso deste último, sobretudo nos aparelhos tipo split. O consumo de HCFC-22 nesse subsetor para 2013 foi estimado em 1.938,85 t SDO, o que correspondia a 13,6% do consumo dessa SDO para o ano de referência. Os fabricantes nacionais de equipamentos de ar-condicionado tipo janela e split são, em sua maioria, multinacionais, joint ventures, com propriedade parcial de países que não fazem parte do Artigo 5 (A-5) do Protocolo de Montreal. Há uma pequena quantidade de empresas nacionais que manufacturam chillers de pequeno e médio porte para aplicações industriais. Este subsetor, na realidade, é um híbrido entre fabricantes de ar-condicionado e de equipamentos de refrigeração industrial, uma vez que os aparelhos podem ser usados tanto para aplicações de conforto térmico, como para processos industriais. Devido à grande parcela de HCFC-22 consumida por empresas multinacionais de Países Artigo 2 (A-2) do Protocolo de Montreal, a redução do consumo de HCFC-22 foi obtida pela conversão voluntária dessas empresas não-elegíveis para recebimento de assistência do Fundo Multilateral para Implementação do Protocolo de Montreal.

1.2 A Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

Clorofluorocarbonetos (CFCs), Hidroclorofluorocarbonetos (HCFCs) e outras substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDOs) são potentes gases de efeito estufa (GEE). A eliminação progressiva desses produtos químicos, conforme determinado pelo Protocolo de Montreal, e as consequentes reduções resultantes de emissões e concentrações atmosféricas tiveram uma enorme contribuição para a proteção do clima, ao lado da intenção original do Protocolo de Montreal de proteger a camada de ozônio. Estima-se que o total evitado de emissões anuais líquidas de SDOs seria equivalente a cerca de 10 Gt CO₂-eq em 2010, equivalente a cinco vezes a meta de redução anual do Protocolo de Kyoto para o período de 2008 a 2012 (Velders et al., 2007).

De acordo com estudos e avaliações (Velders et al, 2012, 2014), os benefícios climáticos do Protocolo de Montreal poderiam ser reduzidos ou totalmente perdidos no futuro se as SDOs fossem substituídas por HFCs de alto potencial de aquecimento global (GWP), com as decorrentes emissões desses HFCs. Os HFCs são gases de efeito estufa que tem GWP alto ou muito alto, até 14.800. (UNEP, 2017). Os HFCs foram desenvolvidos e amplamente promovidos como alternativas às SDOs e têm sido usados nos últimos 30 anos em vários setores, principalmente como refrigerante em aplicações de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor.

Com base nessas avaliações, as Partes do Protocolo de Montreal iniciaram discussões sobre uma emenda para incluir os HFCs e respectivo cronograma de controle ao Protocolo de Montreal em 2009.

As principais justificativas para a inclusão de HFCs como substâncias controladas no Protocolo de Montreal apresentados pelos países que propunham emendas foram: HFCs foram desenvolvidos e promovidos como resultado das medidas de controle de CFCs e HCFCs; a estrutura criada pelo Protocolo de Montreal para a eliminação progressiva de CFCs e HCFCs nos setores em que os HFCs estão sendo utilizados seria o método mais apropriado e eficaz para o controle da produção e consumo de HFCs. Por

outro lado, os países que inicialmente não eram a favor de tal emenda argumentavam que como HFCs não são SDOs eles não poderiam ser incluídos em um acordo internacional estabelecido para controlar o uso de SDOs. Após 9 anos de intensas discussões, as partes no Protocolo de Montreal superaram os principais obstáculos para uma decisão de consenso¹ e na 28ª Reunião das partes, em 15 de outubro de 2016, em Kigali, Ruanda, as partes decidiram adicionar 17 HFCs às substâncias controladas pelo protocolo, em um novo Anexo F. Eles são apresentados com seus Potenciais de Aquecimento Global usando os valores do relatório IPCC AR4 (IPCC, 2007). O anexo também apresenta o GWP de CFCs e HCFCs. Também inclui o HFC-23, um produto químico que se origina principalmente como subproduto da produção do HCFC-22. A TABELA 1 1 apresenta as informações contidas no anexo F.

TABELA 1 1 Anexo F do Protocolo de Montreal (UNEP, 2017)

HFCs (Grupo I)		HCFCs	
Substância	GWP (100 anos)	Substância	GWP (100 anos)
HFC-134	1100	HCFC-21	151
HFC-134a	1430	HCFC-22	1810
HFC-143	353	HCFC-123	77
HFC-245fa	1030	HCFC-124	609
HFC-365mfc	794	HCFC-141b	725
HFC-227ea	3220	HCFC-142b	2310
HFC-236cb	1340	HCFC-225ca	122
HFC-236ea	1370	HCFC-225cb	595
HFC-236fa	9810		
HFC-245ca	693	CFCs	
HFC-43-10mee	1640	Substância	GWP (100 anos)
HFC-32	675	CFC-11	4750
HFC-125	3500	CFC-12	10900
HFC-143a	4470	CFC-113	6130
HFC-41	92	CFC-114	10000
HFC-152	53	CFC-115	7370
HFC-152 ^a	124		
HFCs (Grupo II)			
HFC-23	14800		

Os HFCs, portanto, tornaram-se substâncias controladas sob o Protocolo de Montreal, com cronogramas específicos de controle de HFC adotados para países em desenvolvimento e desenvolvidos (partes).

Os países industrializados (chamados países não-Artigo 5) começarão a reduzir gradualmente os HFCs a partir de 2019. Os países em desenvolvimento (chamados países Artigo 5) seguirão com um congelamento dos níveis de consumo de HFC em 2024, com alguns países congelando o consumo em 2028.

A Emenda Kigali entrou em vigor em 1 de janeiro de 2019, quando foi ratificada por pelo menos 20 Partes do Protocolo de Montreal.

¹ As decisões do Protocolo de Montreal, como em outros acordos internacionais, são tomadas de maneira consensual, sem voto e decisão da maioria.

Os valores de GWP no novo Anexo F devem ser usados para a conversão de quantidades de HFC em equivalente de dióxido de carbono (CO₂-eq) em todos os relatórios que os países precisam apresentar relacionados à implementação da redução gradual do uso de HFCs.

Nos relatórios do Protocolo de Montreal, as informações sobre produção, consumo, importações, exportações e emissões de HFCs devem ser expressas em CO₂-eq e não em quantidades em massa de HFC.

A inclusão de HFCs sob o Protocolo de Montreal como substâncias controladas não afetará as obrigações que os países têm sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). A alteração não terá o efeito de isentar as Partes de seus compromissos de enviar relatórios de inventários de emissões de HFC à UNFCCC (conforme estabelecido nos artigos 4 e 12 da UNFCCC). O consumo e a produção de HFCs serão controlados pelo Protocolo de Montreal, enquanto as emissões de HFC continuarão a ser relatadas à UNFCCC.

A emenda de Kigali apresenta diferentes valores para os consumos de HFCs, usado como linha de base, e diferentes cronogramas de eliminação gradual, dois para dois grupos das Partes do Artigo 5 (países em desenvolvimento) e dois para dois grupos de Partes que não são do Artigo 5 (países desenvolvidos). A TABELA 1-2 e a TABELA 1-3, bem como a FIGURA 1-1 e a FIGURA 1-2, apresentadas abaixo, mostram os a linha de base (congelamento) e cronogramas de redução gradual.

O motivo da inclusão de HFCs, e uma porcentagem de HCFCs no cálculo da linha de base, deve-se ao fato de que os HFCs são utilizados como alternativas para certos HCFCs que ainda devem ser eliminados.

TABELA 1-2 Cálculo da linha de base da Emenda Kigali e cronogramas de eliminação gradual para as Partes A5 (Peixoto et al, 2017)

	Partes Artigo 5 – Grupo 1		Partes Artigo 5 – Grupo 2	
Anos da linha de base	2020, 2021 e 2022		2024, 2025 e 2026	
Cálculo da linha de base	Média da produção / consumo de HFCs em 2020, 2021 e 2022 Mais 65% da produção / consumo de HCFC na linha de base		Média da produção / consumo de HFCs em 2024, 2025 e 2026 Mais 65% da produção / consumo de HCFC na linha de base	
Etapas de redução				
Congelamento	2024		2028	
Etapa 1	2029	10%	2032	10%
Etapa 2	2035	30%	2037	20%
Etapa 3	2040	50%	2042	30%
Etapa 4	2045	80%	2047	85%

TABELA 1-3 Cálculo da linha de base da Emenda Kigali e cronogramas de eliminação gradual para as Partes Não-A5 (Peixoto et al, 2017)

	Partes Não-Artigo 5 – Grupo 1		Partes Não-Artigo 5 – Grupo 2	
Anos da linha de base	2011, 2012 e 2013		2011, 2012 e 2013	
Cálculo da linha de base	Média da produção / consumo de HFCs em 2011, 2012 e 2013 Mais 15% da produção / consumo de HCFC na linha de base 1989		Média da produção / consumo de HFCs em 2011, 2012 e 2013 Mais 25% da produção / consumo de HCFC na linha de base 1989	
Etapas de redução				
Etapa 1	2019	10%	2019	5%
Etapa 2	2024	40%	2024	35%
Etapa 3	2029	70%	2029	70%
Etapa 4	2034	80%	2034	80%
Etapa 5	2036	85%	2036	85%

FIGURA 1-1 Emenda Kigali, cronogramas de eliminação gradual para as Partes A5 (Peixoto et al, 2017)

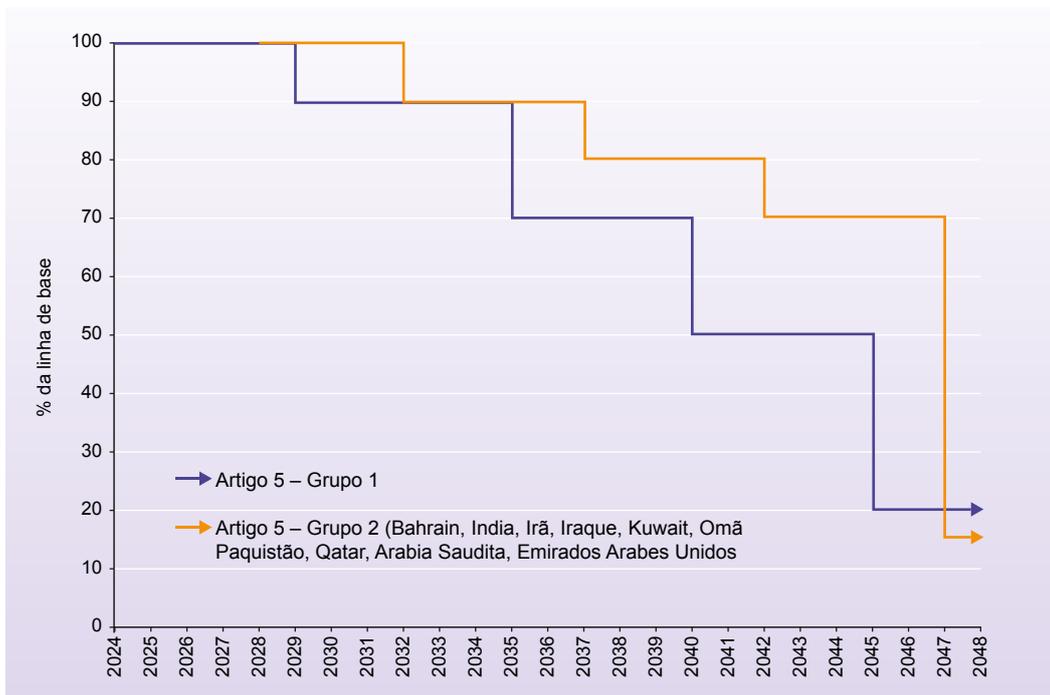
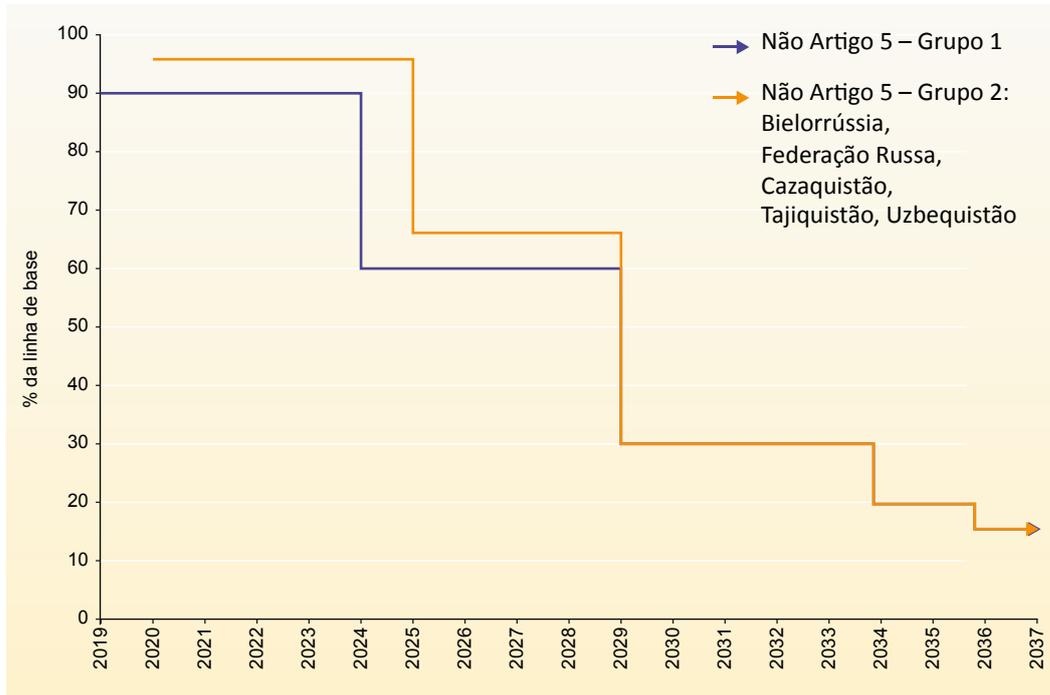


FIGURA 1-2 Emenda Kigali, cronogramas de eliminação gradual para as Partes Não-A5 (Peixoto et al, 2017)

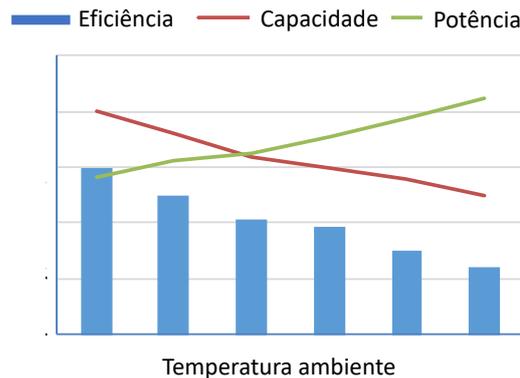


1.2.1 Isenção para países com alta temperatura ambiente

Durante as discussões preparatórias das emendas ocorridas nos últimos anos, uma das questões com as quais as Partes tiveram que lidar foi a apresentada pelos países que apresentam condições de altas temperaturas ambientes (“high ambient temperature -HAT”). Nessas regiões, devido à alta temperatura ambiente, a temperatura de condensação do refrigerante nos equipamentos de refrigeração e ar condicionado (RAC) é relativamente alta durante parte do ano e se aproxima da temperatura crítica do refrigerante.

A operação de um sistema RAC em altas temperaturas ambientes, para um sistema resfriado a ar, intrinsecamente resulta em um menor coeficiente de desempenho e menor capacidade (ver FIGURA 1-3). É o caso de todos os refrigerantes, mas a redução de COP é diferente entre os vários refrigerantes (Motta e Domanski, 2000). Ao longo dos anos, os países que experimentam condições de HAT expressaram suas preocupações em atingir um congelamento de HFC (data e nível de consumo), bem como metas de redução. Isto foi levado em conta no estabelecimento do cronograma de redução de HFCs aprovado para este grupo de países.

FIGURA 1-3 Impacto da temperatura ambiente no Desempenho



1.2.2 Impacto potencial na escolha de refrigerantes

A emenda de Kigali reforçou o apoio ao uso de refrigerantes com baixo GWP e acelera a inovação visando tecnologias sustentáveis de RAC. Uma das principais questões para a implementação da emenda de Kigali é a substituição do HCFC-22 e HFCs com alto GWP por refrigerantes com baixo GWP.

TABELA 1-4 Visão geral do uso de refrigerante e alternativas aos HCFCs e HFCs com alto GWP

Setor	CFCs	HCFCs	HFCs Puro & Misturas	HCs	CO2 Amônia	HFCs insaturados (HFOs) Puro	Misturas com HFCs insaturados (HFOs)
Refrigeração Doméstica	CFC-12		HFC-134a	HC-600a	Amônia	HFC-1234yf	R-450A, R-513A,...
Refrigeração Comercial	CFC-12 R-502	HCFC-22	HFC-134a R-404A R-407A R-407F	HC-600a HC-290	CO2 Amônia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, R-448A, R-444B, R-442A, R-455A, R-450A, R-513A, R-448A, R-449B,...
Transporte Refrigerado		HCFC-22	HFC-134a R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	CO2	HFC-1234yf	R-450A, R-448A, R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-448A, R-449A R-450A, R-513A,...
Refrigeração Industrial		HCFC-22	HCFC-22 HCFC-123	HC-1270 HC-290	Amônia CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Bombas de calor para aquecimento de água		HCFC-22	HCFO-1233zd(E)	HC-290 HC-600a	CO2 Amônia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A
Unidades de Ar Condicionado	CFC-12	HCFC-22	HFC-134a HFC-32 R-410A R-407C	HC-290	CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A
Chillers	CFC-12 CFC-11	HCFC-22 HCFC-123 HCFO-1233zd(E)	HFC-134a R-404A R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	Amônia CO2	HFC-1234yf HFC-1234ze(E) HFO-1336mzz(Z)	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A
Ar Condicionado Móvel	CFC-12		HFC-134a R-410A R-407C		CO2	HFC-1234YF	R-450A, R-513A

	uso histórico
	uso atual em escala comercial
	uso limitado ou potencial

Fonte: Peixoto et al, 2017

Considerando a substituição do R-410A e do HCFC-22, a lista de alternativas inclui refrigerantes de componente único ou puros, como HFC-32, HC-290, HC-1270, R-717, R-744 e novos refrigerantes constituídos por misturas. Essas misturas incluem as chamadas hidrofluoroolefinas (HFOs), HFCs insaturados, como HFO-1234yf e HFO-1234ze (E), juntamente com refrigerantes HFC tradicionais (saturados). A TABELA 1 4 acima apresenta uma visão geral do refrigerante passado, atual e possível do futuro para as diferentes aplicações RACHP. Nos últimos anos, cerca de 80 fluidos, a maioria deles misturas contendo HFOs, foram propostos para testes ou estão sendo testados. A maioria desses fluidos são novas misturas (UNEP, 2016).

Considerando a probabilidade de desenvolvimento de novas moléculas (refrigerantes puros), é importante mencionar que esforços significativos foram feitos no passado para encontrar novos fluidos. Um estudo recente (McLinden, et al. 2015) começou com um banco de dados de mais de 150 milhões de produtos químicos, examinando mais de 56.000 moléculas pequenas e não encontrando nenhuma delas ideal. Pode-se concluir a partir do estudo que as perspectivas de descoberta de novos produtos químicos que ofereceriam melhor desempenho do que os fluidos atualmente conhecidos são mínimas (UNEP, 2017).

As seleções de refrigerante que podem ser esperadas no futuro próximo estarão muito relacionadas à “certeza” de longo prazo percebida dos refrigerantes de baixo GWP, onde os aspectos comerciais de disponibilidade, custos, eficiência energética, segurança e manutenção serão importantes.

É importante enfatizar que o setor de refrigeração, ar condicionado e bomba de calor e o setor de manutenção de refrigerantes não podem lidar com o grande número de misturas de HFC / HFO.

O Anexo 1 apresenta uma visão geral da situação atual dos refrigerantes alternativos sendo aplicados e propostos para substituições de HCFCs e HFCs de alto GWP.

A adoção da Emenda Kigali reforçou o ímpeto em relação às aplicações que usam refrigerantes com baixo GWP e espera-se que acelere a inovação das tecnologias RAC sustentáveis. Algumas tecnologias livres de HFC enfrentam barreiras à absorção generalizada devido a padrões técnicos restritivos, especialmente para refrigerantes inflamáveis. Para permitir a transição para refrigerantes inflamáveis de baixo GWP, estão sendo revisados os limites de carga atualmente estabelecidos para fluidos inflamáveis.

Não se pode esperar apenas que o argumento de baixo GWP seja o fator determinante se determinados fluidos serão considerados. A eficiência energética, ou melhor, a redução do consumo de energia será importante. Isso não está relacionado apenas às propriedades termofísicas do refrigerante, mas também é determinado pelo design do equipamento, configuração do sistema, eficiência do componente, condições operacionais, capacidade do sistema e hardware do sistema.

A escolha de refrigerantes é uma combinação de eficiência energética, custos e desempenho ambiental, incluindo aspectos de segurança associados à toxicidade e inflamabilidade. Os regulamentos regionais e nacionais (por exemplo, inflamabilidade e carga) impulsionarão muitos desenvolvimentos que ocorrerão. A ênfase em equipamentos com maior eficiência energética (ou seja, níveis mais baixos de consumo de energia) e refrigerantes com baixo GWP é muito mais significativa do que antes.

O uso de refrigerantes puros, isto é, HFOs e refrigerantes “naturais” não sintéticos, incluindo hidrocarbonetos, pode razoavelmente assumir uma ampla expansão após 2019-2020, e isso em uma quantidade substancial de aplicações em vários subsetores RAC.

1.3 Equipamentos de ar condicionado compactos

Os condicionadores de ar, incluindo bombas de calor reversíveis para aquecimento de ar, compreendem a grande maioria do mercado de ar condicionado global (a maior parte dos quais tem capacidade inferior a 70 kW). São chamados de equipamentos unitários ou resfriados a ar. Esses sistemas resfriam e/ou aquecem espaços fechados residenciais e comerciais. A maioria utiliza ciclos de compressão de vapor acionados eletricamente usando compressores herméticos rotativos, alternativos ou scroll para unidades com capacidades de até 100 kW e compressores semi-herméticos alternativos, scroll ou parafuso semi-herméticos para unidades com capacidades de até 1.100 kW. O ar a ser resfriado passa sobre uma serpentina contendo refrigerante que passa por um processo de evaporação. Nos sistemas que fornecem aquecimento e resfriamento, o papel do evaporador e do condensador é revertido para fornecer aquecimento ou resfriamento. No modo de aquecimento, o ar do espaço condicionado passa pela mesma serpentina que contém refrigerante em processo de condensação, transferindo calor para o ar.

Quase todos os aparelhos de ar condicionado fabricados antes de 2000 usavam HCFC-22. A transição e eliminação do HCFC-22 está completa em países que não-Artigo 5. A eliminação progressiva do HCFC-22 na fabricação e importação de novos produtos na UE e no Japão foi concluída em 2004 e 2010, respectivamente, enquanto na América do Norte e Austrália e Nova Zelândia o uso do HCFC-22 em novos sistemas foi proibido a partir de 2010 e 2016, respectivamente. No entanto, é importante observar que as opções técnicas disponíveis no momento da eliminação nesses países se concentraram na proteção da camada de ozônio e não na mitigação do impacto climático. Alguns países que não fazem parte do Artigo 5 iniciaram a transição para alternativas zero PDO antes das datas de compromisso do Protocolo de Montreal (principalmente na Europa e no Japão).

Além disso, certos países do Artigo 5, como a República da Coreia, também adotaram uma eliminação progressiva acelerada, semelhante aos países que não são do Artigo 5. A Índia proibiu a importação de HCFC-22 em novos sistemas a partir de 2015 e seu uso na produção doméstica de novos sistemas até 2025. A maioria dos outros países Artigo 5 está seguindo as datas de eliminação gradual do Protocolo de Montreal.

Globalmente, em 2018, cerca de metade da população de unidades instaladas usa HCFC-22, 600 a 800 milhões de aparelhos de ar condicionado; e aproximadamente 60% das novas unidades usam refrigerantes não PDO (refrigerantes com potencial de destruição de ozônio zero). Segundo recente estudo (IEA, 2018), a demanda global de energia dos aparelhos de ar condicionado deve triplicar até 2050 e o estoque global de aparelhos de ar condicionado aumentará para 5,6 bilhões até 2050. A eficiência energética de novas unidades é, portanto, de extrema preocupação.

Em 2010 muitos países que não são do Artigo 5 estavam se aproximando da eliminação final do HCFC-22 em novos sistemas; isso já foi concluído. A maioria dos principais países do Artigo 5 iniciou sua transição para eliminação do HCFC-22. Anteriormente, as alternativas de GWP médio e baixo não estavam sendo levadas em consideração (exceto hidrocarbonetos (HCs), como o HC-290), enquanto agora mais fabricantes estão propondo e adotando HCs e também há uma aplicação considerável de HFC-32 em vários países.

Uma questão importante atualmente é a melhor opção de baixo GWP para substituir o HCFC-22 em aparelhos de ar condicionado.

O R-410A parece ser a escolha comum para atender aos planos de gerenciamento de eliminação de HCFC (HPMPs) e cumprir gradualmente as metas, mas isso representa um grande desafio para a Emenda Kigali. O HFC-32 foi introduzido em muitos países. O HC-290 foi introduzido em alguns países e oferece uma vantagem em termos de eficiência energética, no entanto, uma das principais barreiras para o uso do HC-290 é a classificação de inflamabilidade o que restringe seu uso.

O principal fator limitante do HC-290 ou de qualquer outro refrigerante inflamável em sistemas de maior capacidade é segurança. Os países tomaram medidas para estudar os requisitos específicos de segurança do país e estão no processo de revisão das normas. Uma vez revisadas as normas, a adoção de refrigerantes inflamáveis deverá ser ampliada.

2. TIPOS DE EQUIPAMENTO

De acordo com UNEP, 2018, os condicionadores de ar geralmente se enquadram nas seguintes categorias, baseadas principalmente na capacidade ou aplicação:

- Unidades compactas (janela, portáteis, condicionadores de piso (PTAC) e condicionadores de ar de parede);
- Aparelhos de ar condicionado residenciais e comerciais não dutados;
- Unidades split residenciais e comerciais com duto, multi-split (incluindo fluxo variável de refrigerante, VRF);
- Condicionadores de ar rooftop.

Em cada uma dessas categorias, o termo “ar condicionado” inclui sistemas que resfriam ou aquecem diretamente o ar condicionado.

A TABELA 2-1 resume as características físicas e de instalação típicas de cada tipo de ar condicionado.

TABELA 2-1 Tipos de condicionadores de ar

Tipo		Configuração	Faixa de Capacidade (kW)	Carga de HCFC-22 (kg)
Unidades compactas	Janela	Compacta	1 – 10	0,3 – 3
	Portátil	Compacta	1 – 10	0,3 – 3
	Condicionador de ar de parede	Compacta	1 – 10	0,3 – 3
	Condicionador de ar de piso (packaged terminal, PTAC)	Compacta	1 – 10	0,3 – 3
Split (não-dutado)		Remota	2 – 15	0,5 – 5
Multi-split (não-dutado e dutado)		Remota	4 – 300	2 – 240
Split (duto)		Remota	4 – 17,5	1 – 7
Split comercial dutado		Remota	10 – 1.100	5 – 300
Rooftop (packaged rooftop)		Compacta	7 – 1.100	5 – 250

2.1 Pequenas unidades de condicionamento de ar compactas

Os pequenos condicionadores de ar compactos são unidades autônomas independentes, nas quais todos os componentes do sistema de refrigeração estão contidos em uma única unidade. Esses produtos têm capacidades de refrigeração que variam geralmente de 1,0 kW² a 10 kW (com um valor médio de 2,7 kW). Esta categoria de produtos inclui as seguintes configurações comuns, apresentadas, também, na FIGURA 2-1):

- Condicionador de ar de janela;
- Condicionador de ar portátil;
- Condicionador de ar parede;
- Condicionador de ar de piso (packaged terminal, PTAC).

Essas unidades são projetadas para aquecer ou resfriar espaços individuais, tais como ambientes residenciais, pequenas lojas, restaurantes e escritórios. A maioria usa compressores rotativos herméticos. Unidades compactas de pequena capacidade estão sendo suplantadas, na maioria dos países, pelas unidades tipo split sem dutos, como a opção dominante no mercado para pequenas unidades. Este fato está resultando em um declínio global na demanda por aparelhos de ar condicionado tipo de janela e parede.

A maioria das unidades usava o HCFC-22 como refrigerante, com uma carga média de aproximadamente 0,25 kg por kW de capacidade de refrigeração. Por exemplo, 0,75 kg de HCFC-22 é utilizado em uma unidade de tamanho médio de 2,7 kW. O refrigerante HCFC-22 foi e está sendo substituído por refrigerantes não PDO.

Globalmente, são produzidos anualmente cerca de 17 milhões de aparelhos de ar condicionado compactos de pequeno porte (JRAIA, 2018). Esta produção é dividida aproximadamente entre 50% para países Artigo 5 e 50% para os países não-Artigo 5. Com uma vida útil superior a 10 anos, estima-se que mais de 200 milhões de aparelhos de ar condicionado deste tipo estejam em operação globalmente.

FIGURA 2-1 Equipamento de condicionamento de ar portáteis (a), Janela (b), Piso-PTAC (c), parede-TTW (d)



² As relações entre kW e unidades de capacidade de resfriamento (não SI) adotadas no mercado de refrigeração e ar condicionado são: 1 kW = 3412.14 Btu/hora e 1 kW = 0.2843 TR

2.2 Unidades de condicionamento de ar residencial e comercial split (não-dutado)

Os aparelhos de ar condicionado split não dutados são amplamente utilizados em edifícios comerciais, escolas, apartamentos e residências independentes e apresentam capacidade de 2,0 kW a 20 kW (tamanho médio de 3,8 kW). A FIGURA 2-2, FIGURA 2-3 e a FIGURA 2-4 apresentam este equipamento.

Equipamentos de condicionamento de ar residencial e comercial split (não-dutado) são sistemas remotos, onde uma unidade de condensação (compressor/ e trocador de calor-condensador) instalada fora do espaço a ser resfriado ou aquecido, contendo o dispositivo de expansão. Essa unidade externa é conectada por meio de tubulação de refrigerante a uma unidade evaporadora, trocador de calor que resfria o ar, localizada dentro do espaço condicionado. Esta unidade interna geralmente é instalada na parede, mas também pode ser localizada no teto ou no piso. Os compressores utilizados nestes equipamentos são tipicamente do tipo rotativo, scroll ou alternativo hermético. Atualmente, considerando o alto potencial de economia de energia proporcionado pela tecnologia de controle do compressor com variação da sua rotação (variable speed drive – VSD), chamado de inverter, cerca de metade das novas unidades mini-split, utilizam esta tecnologia.

Os condicionadores de ar reversíveis (bombas de calor) estão ampliando sua utilização em diversas regiões, onde são usados para aquecimento no inverno e resfriamento durante o verão. Nos países de inverno rigoroso, essas unidades foram projetadas para fornecer alta eficiência e capacidade a baixas temperaturas ambientes; tipicamente até -30°C . Equipamentos de ar condicionado reversíveis são a maneira de reduzir as emissões indiretas de CO_2 , fornecendo uma alternativa eficiente e econômica ao aquecimento ao invés do uso de equipamentos com resistência elétricos e com queima de combustíveis fósseis. Para aumento da eficiência utilizam tecnologias tais como compressão em várias etapas ou de velocidade variável, trocadores de calor maiores e estratégias de controle aprimoradas.

A grande maioria dos condicionadores de ar residenciais e comerciais mini-split fabricados antes de 2000 usavam refrigerante HCFC-22. Os aparelhos de ar condicionado mini-split possuem níveis médios de carga de HCFC-22 de aproximadamente 0,25 a 0,30 kg por kW de capacidade de refrigeração. A maioria dos refrigerantes não PDO que foram aplicados a esses produtos são misturas de HFC, como o R-410A e o R-407C, enquanto o HFC-134a tem sido mais usado em regiões que apresentam condições de altas temperaturas ambientais.

O mercado global atual para estes tipos de equipamentos tipo split é de cerca de 75 milhões de unidades por ano (Gloël et al, 2014; JRAIA, 2018), com aproximadamente 20% para países não Artigo 5 e 80% para países Artigo 5. A população instalada é estimada em cerca de 1,0 bilhão de unidades.

FIGURA 2-2 Unidade Condensadora Externa (a); Unidade interna de parede (b); Unidade Interna de teto; Unidade Interna de piso (d)



FIGURA 2-3 Componentes da Unidade Condensadora Externa

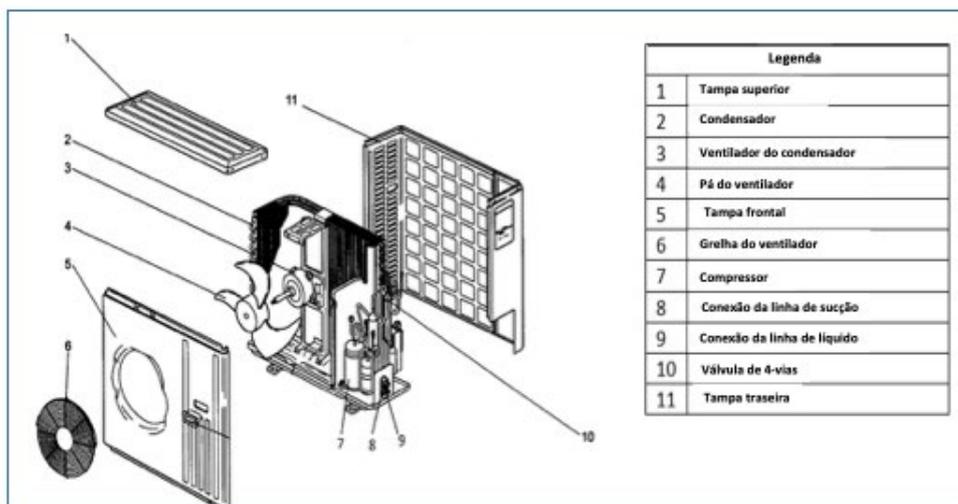
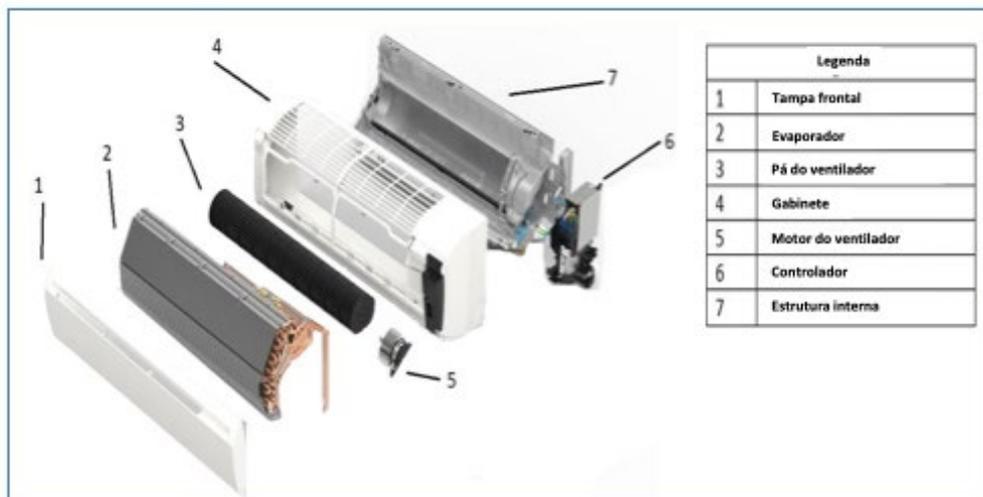


FIGURA 2-4 Componentes da Unidade Evaporadora Interna



2.3 Ar condicionado multi-split para uso comercial e residencial

Equipamentos multi-split (FIGURA 2-5) utilizam o mesmo conceito que equipamentos split simples, descritos anteriormente. A principal diferença é que uma única unidade externa de condensação pode alimentar duas ou mais unidades evaporadoras internas. Essa categoria de sistemas split é mais frequentemente usada em edifícios comerciais, mas também apresenta aplicações residenciais. A carga de refrigerante utilizada é de cerca de 0,3 kg/kW, dependendo das características da instalação. Assim como no split simples, o multi-split sem e com dutos também oferece opções reversíveis (de aquecimento).

Os sistemas VRF (vazão variável de refrigerante) são uma subcategoria dos sistemas de ar condicionado multi-split e se diferenciam dos sistemas regulares multi-split por sua capacidade de modular a vazão de refrigerante em resposta à demanda do sistema, ou seja, a unidade externa pode ajustar a vazão de refrigerante em resposta à demanda de cada unidade interna. Sistemas VRF podem apresentar até 50 unidades internas com mais de 1 km de tubulação. Em algumas configurações, esses sistemas podem ter funções independentes de refrigeração ou aquecimento para cada unidade interna, aquecendo e resfriando simultaneamente espaços internos separados. A unidade externa modula o fluxo total de refrigerante usando várias metodologias de controle de capacidade do compressor, com os tipos de compressor geralmente sendo do tipo rotativo ou scroll. Os sistemas VRF têm capacidade de resfriamento variando entre 10 kW a mais de 150 kW. Sistemas produzidos antes de 2000 usavam o HCFC-22, houve um aumento crescente no uso do R-407C e R-410A, mesmo nos países A5, com valores de carga típicos de 0,30 a 0,70 kg/kW de refrigeração.

A produção anual é de cerca de 1,2 milhão de sistemas (Gloël et al, 2014; JRAIA, 2018), sendo que 75% é comercializada em países Artigo5. A população de sistemas multi-split instalada é estimada em cerca de 7 milhões.

FIGURA 2-5 Equipamento Multi-split



2.4 Ar condicionado Split com duto (residencial e comercial)

Os condicionadores de ar residenciais split com duto (dutados) são típicos de instalações residenciais na América do Norte, Central e do Sul, contendo um sistema de dutos que fornece ar resfriado ou aquecido a cada cômodo de uma residência ou pequenas zonas dentro de edifícios comerciais ou institucionais. A configuração desse sistema é caracterizada por uma unidade de condensação (compressor/condensador), instalada externamente ao espaço condicionado, que fornece refrigerante a uma ou mais serpentinas (trocadores de calor) internas instaladas no sistema de dutos ou na unidade de tratamento de ar. O ar a ser inflado no espaço condicionado passa sobre a serpentina e é resfriado ou aquecido, sendo então distribuído aos espaços condicionados pelo sistema de dutos. Compressores rotativos, alternativos e scroll, que são utilizados em condicionadores de ar com dutos e sistemas reversíveis para essa categoria, são menos comuns. A FIGURA 2-6 apresenta um esquema deste tipo de sistema.

O refrigerante mais utilizado nesses sistemas foi o HCFC-22 até o período 2005-2010, e nos últimos anos a maioria tem sido convertida para os refrigerantes R-410A e o R-407C. Para sistemas residenciais, as capacidades de resfriamento variam de 5 kW a 17,5 kW (com capacidade média em torno de 10 kW) e a carga média de HCFC-22 é de 0,26 a 0,35 kg por kW de capacidade de refrigeração. Para sistemas comerciais, as capacidades variam de 7 a 1.100 kW. Apresentam uma produção anual atual de cerca de 12 milhões de unidades (Gloël et al, 2014; JRAIA, 2018), sendo cerca de 33% em países Artigo 5 e o restante em países não-artigo 5 países. A população instalada estimada é de cerca de 150 milhões de sistemas.

FIGURA 2-6 Unidade de tratamento de ar e unidade condensadora para um sistema split com duto



2.5 Condicionadores de ar comerciais self-contained (autônomos) com dutos

Os aparelhos de ar-condicionado e as bombas de calor self-contained (autônomos) com dutos são unidades independentes, que são conectadas por meio de dutos ao sistema de distribuição de ar, conforme mostrado na FIGURA 2-7. A outra parte da unidade self-contained é a unidade de condensação, em geral com um condensador resfriado a ar e compressor hermético scroll, embora às vezes sejam empregados compressores alternativos herméticos e semi-herméticos.

A maioria dos condicionadores de ar e bombas de calor comerciais self-contained com dutos são montados no teto ou no exterior, em escritórios, lojas, restaurantes. Múltiplas unidades contendo um ou mais compressores são frequentemente usadas para condicionar o espaço fechado de shopping centers, lojas, escolas ou outras instituições comerciais de tamanho médio.

Estes equipamentos são oferecidos com capacidades variando de 7 kW a mais de 700 kW e têm cargas específicas de refrigerante de cerca de 0,3 a 0,5 kg por kW de capacidade de refrigeração. A maioria desses sistemas usava o HCFC-22. Nos países não A-5 o R-410A é principalmente usado e em menor grau o R-407C, que é usado com mais frequência em regiões com temperaturas ambientais mais altas, sendo que equipamentos com R-744 são produzidas em alguns países do norte da Europa. Atualmente, o mercado anual é de cerca de 1 milhão de unidades (Gloël et al, 2014; JRAIA, 2015), com cerca de um terço no artigo 5 e dois terços em países que não são do artigo 5. A população instalada estimada é de cerca de 20 milhões.

FIGURA 2-7 Unidade de condicionamento de ar self-contained comercial com duto



3. OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS

A seguir é apresentado um resumo dos refrigerantes mais viáveis para substituição de HCFC-22 em novos aparelhos de ar condicionado, conforme discutido no relatório do UNEP RTOC de 2018.

Refrigerantes HFC puros (componente único) foram investigados como substitutos do HCFC-22 e o HFC-134a era o único HFC puro usado comercialmente em sistemas de ar condicionado, mas em extensão limitada. Atualmente os aparelhos de ar condicionado estão disponíveis com os refrigerantes puros HC-290 e o HFC-32. Surgiram nos últimos anos várias misturas de HFC como substitutos do HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. Várias composições de HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFO-1234yf e HFO-1234ze estão sendo oferecidas como substitutos não SDO do HCFC-22. As duas misturas de HFC mais usadas para substituir o HCFC-22 são o R-407C e o R-410A. No entanto, tanto o R-407C quanto o R-410A têm GWP's próximos aos do HCFC-22 e, portanto, são considerados muito altos para uso a longo prazo, sob a Emenda Kigali.

Considerando as várias alternativas do R-410A com GWP médio e baixo, a maioria delas apresenta algum nível de inflamabilidade. Alternativas com capacidade e pressão comparáveis ao HCFC-22 e com um GWP menor que cerca de 600 tendem a ser inflamáveis, enquanto aquelas com um GWP maior tendem a não ser. Medidas apropriadas devem ser aplicadas para atenuar o risco, tais como:

- Minimizar a quantidade de refrigerante que pode vazar nos espaços ocupados ou remover o refrigerante do espaço ocupado;
- Garantir que a probabilidade de ignição seja bastante reduzida por meio da avaliação de riscos;
- Observar os requisitos estabelecidos pelas regulamentações nacionais e/ou padrões de segurança apropriados (onde existirem).

Atualmente, as normas de segurança estão continuamente em desenvolvimento e aprimoramento. Uma visão geral mais abrangente das normas de segurança aplicáveis e desenvolvimentos recentes no campo da segurança de refrigerantes inflamáveis é detalhada no relatório da Decisão XXVIII/4 “Padrões de segurança para refrigerantes inflamáveis de baixo potencial de aquecimento global (GWP)” (UNEP, 2017)

No relatório do UNEP RTOC (UNEP, 2018), a partir da análise de estudos sobre desempenho de refrigerantes alternativos, foi verificado que há uma grande variedade de resultados considerando diferentes unidades e condições, concluindo-se, desta forma, que a influência do projeto de sistema específico é mais determinante no desempenho do que o refrigerante. A seguir são comentadas as várias alternativas, considerando tanto os refrigerantes de alto como baixo GWP.

3.1 HFC-134A

Embora o HFC-134a seja um potencial substituto do HCFC-22 em sistemas com condensação a ar em determinadas categorias de produtos, ele não foi amplamente utilizado porque os fabricantes conseguiram desenvolver sistemas de ar condicionado resfriado a ar com custo substancialmente mais baixo com outros refrigerantes. Embora não seja, em geral, uma alternativa econômica, tem sido amplamente utilizada em regiões que experimentam altas temperaturas ambientes para uma variedade de tipos diferentes de sistemas ar-ar.

3.2 R-407C

Devido às suas propriedades, o R-407C requer pequenas modificações nos sistemas HCFC-22 existentes e foi usado como refrigerante de transição em equipamentos originalmente projetados para o HCFC-22. No entanto, desde cerca de 2004, muitos dos sistemas R-407C foram redesenhados para o R-410A para obter reduções de tamanho e custo. Uma exceção é quando as condições padrão são altas temperaturas ambientes, como acima de 40-55°C.

3.3 R-410A

O R-410A é uma alternativa para substituir o HCFC 22 em novos equipamentos e devido às suas propriedades termodinâmicas, o design das unidades R-410A pode ser mais compacto do que as unidades HCFC-22 que substituem. Os condicionadores de ar com R-410A são atualmente disponíveis comercialmente em todo o mundo. Uma parcela significativa dos aparelhos de ar condicionado utiliza o R-410A. As pressões operacionais mais altas do R-410A (cerca de 50-60% maiores que o HCFC-22) acarretaram alterações no projeto das unidades, envolvendo paredes mais espessas nas carcaças do compressor e nos vasos de pressão (acumuladores de líquido). Além disso, as considerações para os requisitos de lubrificante são as mesmas para o R-407C; lubrificantes POE (poliol éster) ou PVE (polivinil éter) devem ser usados.

Devido às preocupações com o GWP, o R-410A está se tornando uma alternativa menos viável para o HCFC-22 a longo prazo, embora atualmente continue sendo a primeira escolha para novos equi-

pamentos de ar condicionado. Agora existe um movimento para substituição do R-410A. Outra preocupação é a sua baixa temperatura crítica que pode resultar em degradação do desempenho em altas temperaturas de condensação. Embora tenha sido demonstrado que os sistemas R-410A operam em temperaturas ambientes de até 52 °C, o desempenho (capacidade e eficiência) dos condicionadores de ar R-410A diminui mais rapidamente do que os sistemas HCFC-22 em altas temperaturas ambientes (acima de 40 °C). Existem inúmeros estudos examinando o desempenho do R-410A e, particularmente, com relação à alteração de desempenho com o aumento da temperatura ambiente. A maioria dos resultados indica uma degradação de 5% a 20% no desempenho em relação ao HCFC-22 em temperaturas mais altas (UNEP, 2015).

3.4 HFC-32

O HFC-32 é considerado um substituto do HCFC-22 e R-410A devido ao seu GWP médio, capacidade e eficiência semelhantes. Devido à menor densidade, a carga específica de refrigerante (por kW de capacidade de refrigeração) é cerca de 10 a 20% menor que a do R-410A (Piao et al., 2012, Yajima et al., 2000). Os sistemas com R-410A podem ser re-projetados para o HFC-32 com modificações e com medidas de segurança adicionais. Dada a sua inflamabilidade, de classe 2L; são necessárias alterações de design, instalação e manutenção para que seja utilizado com segurança. Outro fator que deve ser considerado para os refrigerantes inflamáveis são os requisitos de recuperação, reciclagem e regeneração durante a manutenção e no final da vida útil do produto para proteger aqueles que fazem manutenção ou reciclam o produto. Os atuais lubrificantes POE e PVE usados com o R-410A têm miscibilidade insuficiente com o HFC-32 (Ota e Araki, 2010), mas alguns lubrificantes POE com pouca miscibilidade com o R-410A são usados.

Há muitos estudos publicados sobre o desempenho relativo do HFC-32 e R-410A, conforme relatado em UNEP, 2015. No geral, o COP varia de -3% a + 10% em comparação com o R-410A, enquanto a capacidade está entre -1% e + 6%. Vários estudos compararam o desempenho em condições de ambiente de altas temperaturas e foram obtidos resultados de COP variando de -10% a + 10% em relação ao HCFC-22 (UNEP, 2015).

A temperatura de descarga do compressor pode ser de 5 K a 30 K maior que o R-410A ou o HCFC-22. No entanto, isso pode ser controlado usando tecnologia de injeção de líquido ou controle de sucção úmida, implicando, no entanto, em uma penalidade de custo e / ou desempenho no ar condicionado. Outra opção é ajustando a viscosidade do óleo (Piao et al., 2012), embora isso afete a confiabilidade.

Nos sistemas VRF, verificou-se que o HFC-32 possui capacidade de resfriamento e COP de resfriamento 10% mais altos, em comparação com o R-410A; e no modo de aquecimento, as melhorias foram da ordem de 5% e 8%, respectivamente. Pham e Monnier (2016) apresentaram resultados comparando o R-410A e o HFC-32 e em toda a faixa de condições testadas, o HFC-32 forneceu uma capacidade de resfriamento 3-7% mais alta e o COP variou entre -3% e + 1% em relação ao R-410A. Alabdulkarem et al. (2015) realizaram uma série de medições para determinar o desempenho sazonal de um sistema

de condicionamento de ar-bomba de calor reversível. Comparado à linha de base do R-410A, o HFC-32 apresentou um COP de resfriamento sazonal 9% menor, mas uma melhoria de 3% na eficiência de aquecimento sazonal. Wang e Amrane (2016) apresentam resultados de vários relatórios realizados sob a fase II do programa AREP (Programa de Avaliação de Refrigerantes Alternativos com Baixo GWP)³ da AHRI. Das seis unidades “soft optimized” testadas com HFC-32, uma alcançou a mesma capacidade que o R-410A, mas com valor de COP 5% maior, quatro exibiram o mesmo COP dentro de $\pm 2\%$, mas com 5-10% maior capacidade, uma mostrou COP cerca de 7% maior e 10% mais capacidade, e uma unidade teve capacidade reduzida em 5% e uma queda de 10% na COP. Abdelaziz et al. (2015) relatam uma série abrangente de medições em ar condicionado tipo split com carga otimizada e sob condições de teste “normais” e de alta temperatura ambiente. Comparado ao R-410A, o HFC-32 proporcionou uma melhoria de 1 a 4% no COP e uma capacidade de 2 a 5% maior em condições “normais” e um COP de 5 a 6% maior e uma capacidade de 11 a 13% maior em condições de temperatura alta e extrema.

O Projeto PRAHA⁴ (2016) testou unidades construídas especificamente por fabricantes em países de alta temperatura ambiente. Os testes realizados nas temperaturas de 46°C e 50°C apresentaram resultados de COP para o HFC-32 semelhantes ao R-410A e com capacidade de resfriamento até 15% maior.

Atualmente, os aparelhos de ar condicionado que utilizam HFC-32 são produzidos e comercializados em vários países localizados na Ásia, Europa e África. Os produtos estão sendo comercializados na Austrália e no Oriente Médio, entre outras regiões.

3.5 HFC-161

O refrigerante HFC-161 também está sendo avaliado como um substituto para o HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. Possui propriedades termodinâmicas semelhantes às do HCFC-22 e é inflamável e, portanto, os sistemas devem ser projetados, construídos e instalados em conformidade, bem como levado em conta a devida consideração aos requisitos de recuperação, reciclagem e regeneração durante a manutenção e no final da vida útil. Um obstáculo potencial existe porque a classificação de toxicidade ainda não foi atribuída de acordo com as normas relevantes.

Vários estudos que examinaram o desempenho do HFC-161, em comparação com o HCFC-22, mostram a redução da capacidade do HFC-161 em torno de 5% e do COP em cerca de 5% a 15% superior ao HCFC-22.

3.6 HFO-1234YF

Como o HFO-1234yf possui uma capacidade de refrigeração volumétrica relativamente baixa, é improvável que seja amplamente utilizado como substituto do HCFC-22.

³ O Instituto de Ar Condicionado, Aquecimento e Refrigeração (*Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute -AHRI*) desenvolveu um programa de pesquisa cooperativa para identificar e avaliar refrigerantes alternativos de baixo GWP para condicionadores de ar, bombas de calor, desumidificadores, resfriadores, aquecedores de água, máquinas de fazer gelo e equipamentos de refrigeração. www.ahrinet.org/AREP.

⁴ *Promoting low-GWP refrigerants for air-conditioning sectors in high-ambient temperature countries (PRAHA)*. Projeto desenvolvido por UNEP e UNIDO com o objetivo de avaliar refrigerantes para utilização em condições de altas temperaturas ambiente, <https://www.unenvironment.org/pt-br/node/1589>

3.7 HC-290

Os sistemas HC estão comercialmente disponíveis em aplicações de ar condicionado de baixa carga, como mini split, janela e condicionadores de ar portáteis e, mais recentemente, em sistemas split e rooftop com dutos. O HC-290 é o refrigerante hidrocarboneto usado com mais frequência em aplicações de ar condicionado. Quando usado para substituir o HCFC-22, o HC-290 possui características de desempenho que tendem a produzir maior eficiência energética e capacidade de refrigeração e aquecimento um pouco menor. Resultados de testes em aparelhos de ar condicionado tipo janela e split com HC-290 relatam valores COP variando de cerca de -4% a + 20% e capacidade de resfriamento variando de -10% a + 10% (UNEP, 2015). Para condições de alta temperatura ambiente os resultados mostram capacidade de cerca de -4% e eficiência de -3% a + 3%, em relação ao HCFC-22. Abdelaziz et al (2015) relataram uma série abrangente de medições em ar condicionado split com carga otimizada e sob condições de teste “normais” e de alta temperatura ambiente. Comparado ao HCFC-22, o HC-290 proporcionou uma melhoria de 7 a 11% no COP e uma capacidade de 5 a 8% mais baixa em condições “normais” e uma redução de 7 a 8% na COP e uma redução de 9 a 10% na capacidade em altas temperaturas e condições extremas.

Como o HC-290 possui menor densidade e maior calor latente, a carga de refrigerante é cerca de 45% do HCFC-22; tipicamente em torno de 0,05 a 0,15 kg/por kW de capacidade de refrigeração nominal. Além disso, o HC-290 reduz as temperaturas de descarga do compressor e melhora a transferência de calor devido às propriedades termofísicas favoráveis.

A principal dificuldade do HC-290 é sua inflamabilidade classe 3, que cria preocupações de segurança na aplicação, instalação e manutenção de campo. As normas europeias e internacionais limitam a carga interna do HC 290. Tais limitações de tamanho de carga podem restringir o uso do HC-290 a sistemas de menor capacidade; para ampliar a faixa de capacidade, podem ser aplicadas técnicas de redução de carga. Tecnologias de redução de carga e seleção correta de óleo podem ser usadas para minimizar a quantidade de refrigerante, o que pode aumentar a faixa de capacidade. Da mesma forma, estratégias de controle podem ser integradas para restringir a quantidade de refrigerante vazando para o espaço ocupado, o que pode impedir que até 80% da carga seja liberada (Colbourne et al., 2013).

Os testes de vazamento, ignição e incêndio demonstraram que, mesmo com vazamentos catastróficos de refrigerante, apenas fontes de ignição presentes nas imediações da unidade interna têm a possibilidade de inflamar um vazamento de refrigerante e as consequências são insuficientes para danificar portas ou janelas (Zhang et al., 2013). Resultados semelhantes foram relatados por Li (2014a). As análises de risco sobre o uso de HCs em aparelhos de ar condicionado sugerem que, quando os requisitos dos padrões de segurança são atendidos, a probabilidade de ignição durante a operação normal é extremamente baixa (Colbourne e Suen, 2004). Um estudo recente demonstrou que o risco de inflamabilidade associado aos aparelhos de ar condicionado split é cerca de 100 vezes menor do que nos refrigeradores domésticos HC-600a (Colbourne e Suen, 2015). As situações que levam ao maior risco são vazamentos repentinos, manuseio de refrigerante e atividades de manutenção; portanto, as práticas de instalação e serviço devem ser modificadas para evitar a exposição de ocupantes e técnicos de campo aos riscos adicionais associados a refrigerantes inflamáveis.

Outro fator que deve ser considerado com refrigerantes inflamáveis são os requisitos de recuperação, reciclagem e regeneração durante a manutenção e no final da vida útil do produto para proteger aqueles que fazem manutenção ou reciclam o produto. As práticas atuais de recuperação e reciclagem dependem amplamente de regulamentos nacionais ou regionais. Por exemplo, na Europa, a legislação sobre resíduos implica que os HCs devem ser recuperados, enquanto em muitos países A5, a ventilação de HCs pode ser considerada uma opção aceitável, mas só deve ser realizada mediante avaliação de risco.

Alguns dos principais fabricantes chineses e indianos dispõem de produtos HC-290 disponíveis comercialmente desde 2012 e os sistemas estão disponíveis na Europa e na Austrália há vários anos. Até o momento, embora a produção seja limitada, a conversão da capacidade de produção de HCFC-22 para HC-290 de aproximadamente dez milhões de unidades por ano foi concluída na China (Zhou, 2014; Shecco, 2018) e os fabricantes publicaram um cronograma formal para aumentar números de produção de sistemas Split com HC-290 a partir de 2018 (Li, 2018). A fabricação na China de certos tipos de ar condicionado com HC-290 é extensa, principalmente voltada para o mercado europeu. Também estão sendo lançadas na América do Sul unidades de dutos e rooftop de pequena capacidade.

3.8 HC-1270

O HC-1270 possui características favoráveis do ponto de vista das propriedades termodinâmicas e de transporte. É um refrigerante inflamável de classe 3. Seu desempenho foi avaliado, onde a capacidade de resfriamento é até 10% maior que o HCFC-22 e COP é até 4% maior. Mais discussões sobre o HC-1270 estão em UNEP, 2015.

3.9 R-744

O R-744 tem uma temperatura crítica baixa, o que resulta em perdas significativas de eficiência quando é utilizado nas temperaturas típicas de ambientes internos e externos de aplicações de ar condicionado sem ajustar o sistema de refrigeração e adotar determinadas tecnologias.

Os sistemas de ar condicionado com R-744 resfriados a ar estão disponíveis em capacidades de cerca de 3 a 300 kW. Resultados experimentais mostram que os sistemas R-744 podem competir em eficiência energética com os sistemas R-410A de alta eficiência para climas moderados nos modos de resfriamento e aquecimento; no entanto, são necessárias melhorias para aumentar significativamente a capacidade, a eficiência e reduzir os requisitos de pico de energia elétrica durante o modo de resfriamento em condições ambientais elevadas (Jakobsen et al., 2007; Okamoto, et al., 2016).

Desenvolvimentos ainda estão sendo realizados para melhorar o desempenho dos sistemas R744. Por exemplo, Lee et al (2014) demonstraram que melhorias próximas de 10% podem ser alcançadas com ejetores otimizados.

Além do Relatório de Avaliação RTOC anterior de 2014, não houve grandes desenvolvimentos relatados. Mais discussões sobre o R-744 estão em UNEP, 2015.

3.10 Novos refrigerantes misturas para aparelhos de ar condicionado

Existem várias novas misturas emergentes para uso potencial em ar condicionado, incluindo: R-444B, R-446A, R-447A, R-447B, R-452B, R-454A, R-454B, R-455A, R-459A e R-511A. Todos possuem características de pressão de saturação de vapor e capacidade volumétrica de refrigeração que abrangem aproximadamente o intervalo entre o HCFC-22 e o R-410A e são potencialmente viáveis para uso em muitos tipos de sistemas de ar condicionado. Todos têm inflamabilidade de classe 2L (exceto o R-511A, que é um refrigerante A3 inflamável) e, portanto, têm tamanhos de carga máximos limitados. Como em todos os refrigerantes inflamáveis, os sistemas devem ser projetados, construídos e instalados levando em consideração sua inflamabilidade, bem como os requisitos para recuperação, reciclagem e regeneração de refrigerante durante a manutenção e ao final da vida útil do produto. Para todas essas misturas, as implicações de custo devem ser comparáveis às do HCFC-22 e R-410A, embora provavelmente um pouco maiores devido aos atuais preços mais altos do refrigerante. Atualmente, fabricantes e institutos de pesquisa de vários países estão testando essas várias misturas.

A seguir são apresentados dados experimentais do desempenho desses refrigerantes:

3.10.1 R-444B

O R-444B possui eficiência comparável à do HCFC-22 e a densidade do líquido indica que a carga deve ser cerca de 10 a 15% menor que o HCFC-22. Os resultados preliminares dos testes indicam que o R-444B mostra capacidade e eficiência semelhantes às do HCFC-22 (Sethi et al, 2014) e espera-se um desempenho semelhante aos sistemas com HCFC-22 em altas temperaturas ambientes; o desempenho do ciclo teórico indica que a capacidade e o COP são cerca de 5% e 3% inferiores, respectivamente, em relação ao HCFC-22 (UNEP, 2015). Os testes em um ar-condicionado split (com tubo capilar modificado e circuito do evaporador para levar em conta o glide de temperatura) alcançaram capacidade e COP idênticos ao HCFC-22 em ambientes de 46°C e 52°C (Sethi et al, 2014). A temperatura de descarga também é a mesma do HCFC-22.

3.10.2 R-447B

Zou et al. (2016) relataram medições em unidades reversíveis com R-447B comparadas com o R-410A em várias condições. Para temperaturas externas “normais”, a capacidade com o R-447B foi reduzida em cerca de 2-5%, mas apresentou melhorias no COP de 4-6% no modo de resfriamento, enquanto no modo de aquecimento a capacidade foi de cerca de 7% abaixo do R-410A e COP cerca de 2% maior. Em condições de alta temperatura ambiente, a capacidade de resfriamento foi quase a mesma do R-410A, embora o COP tenha aumentado em até 10%. Shen et al (2017) realizaram medições com vários refrigerantes para caracterizar o desempenho de um sistema rooftop com o R-447B em relação ao R-410A. Sob condições “normais”, o COP e a capacidade foram 3% maiores e 4% inferiores ao R-410A, respectivamente, enquanto em condições de alta temperatura ambiente o COP atingiu valores 8% acima do R-410A, com capacidade igual à do R-410A.

3.10.3 R-452B

Nos sistemas VRF, verificou-se que o R-452B apresentou capacidade de resfriamento cerca de 2% maior) e COP de resfriamento 8% maior, comparado ao R-410A e no modo de aquecimento, a capacidade foi reduzida em 3% com o aumento do COP de 2%. (Naito et al., 2016). Hughes (2016) também comparou o R-452B com o R-410A em sistemas do tipo VRF, para os quais as medições mostraram que a capacidade de resfriamento e o COP estavam dentro de $\pm 2\%$ em diversas condições. Zou et al (2016) relataram medições do R-452B contra o R-410A em sistemas reversíveis em várias condições. Para temperaturas externas “normais”, o R-452B apresentou uma capacidade reduzida em cerca de 1-3% e um aumento de COP de 2-5% para refrigeração e aquecimento. Em condições de alta temperatura ambiente, houve melhora na capacidade e no COP de 3% e 5%, respectivamente. Pham e Monnier (2016) apresentaram resultados comparando o R-410A e o R-452B, em toda faixa de testes, o R-452B forneceu uma capacidade de resfriamento 4-6% menor e COP de -1% e + 1% em relação ao R-410A. Shen et al (2017) compararam o desempenho de um sistema rooftop com o R-452B em relação ao R-410A. Para condições “normais” e de alta temperatura ambiente, o COP do R-452B foi cerca de 3-4% mais alto e as capacidades foram quase iguais. Abdelaziz et al (2015) testaram aparelhos de ar condicionado split com otimização de carga em condições ambientais “normais” e alta temperatura ambiente. Comparado ao R-410A, o R-452B proporcionou uma melhoria de 2 a 3% no COP e uma redução de 3 a 4% da capacidade em condições “normais” e COP 3% maior e capacidade igual em condições de temperatura alta e extrema.

3.10.4 R-454A

Shen et al. (2017) realizaram medições com vários refrigerantes para caracterizar o desempenho de um sistema rooftop com o R-454A em relação ao HCFC-22. Para condições “normais” e de alta temperatura ambiente, o COP e a capacidade tiveram valores 15% abaixo e aproximadamente iguais ao HCFC-22, respectivamente. Abdelaziz et al. (2015) relatam uma série abrangente de medições em ar condicionado de split único com carga otimizada e sob condições de teste “normais” e de alta temperatura ambiente. Comparado ao HCFC-22, o R-454A teve uma diminuição de 12% no COP e uma capacidade 3% menor em condições “normais” e em condições de temperatura quente e extrema o COP foi reduzido em 11% e a capacidade foi 3% menor.

3.10.5 R-454B

Nos sistemas VRF, verificou-se que o R-454B apresentou capacidade de resfriamento cerca de 5% menor e COP de resfriamento 2% maior, comparado ao R-410A e no modo de aquecimento, o desempenho foi reduzido em 5% e 8 %, respectivamente. Hughes (2016) comparou o R-454B com o R-410A em sistemas do tipo VRF, para os quais as medições mostraram que a capacidade de refrigeração estava dentro de $\pm 2\%$ em uma variedade de condições padrão, enquanto o COP do R-454B foi até cerca de 5% maior que o R-410A. Wang e Amrane (2016) apresentam resultados de uma série de relatórios realizados no âmbito da fase II do programa AREH de baixo GWP da AHRI. Quatro unidades “soft optimized” (somente com o redimensionamento do tubo capilar, sem a troca de compressor e trocadores de calor) foram testadas com o R-454B, sendo que três apresentaram COP semelhante ao R-410A, mas com capacidade cerca de 5% menor, enquanto que a quarta unidade atingiu a mesma capacidade do R-410A,

mas com COP 5% maior. Sob condições de alta temperatura ambiente, todas as unidades produziram um COP superior ao do R-410A, variando de 1% a 7% e com três unidades com capacidade abaixo entre 1% e 3% do R-410A e uma com capacidade 3% maior.

3.10.6 R-459A

Wang e Amrane (2016) apresentam resultados de vários relatórios realizados sob a fase II do programa AREH de baixo GWP da AHRI. Duas unidades “soft optimized” foram testadas com o R-459A, e ambas apresentaram a mesma capacidade reduzida de 8% enquanto uma apresentou o mesmo COP do R-410A e outra cerca de 4% maior. Quando testados em condições de alta temperatura ambiente as unidades mostraram uma melhoria notável no desempenho, fornecendo COP 7% e 12% acima do R-410A e capacidade dentro de -3% e + 3%.

O uso de refrigerantes com baixo GWP tem sido o foco de vários relatórios do PNUMA TEAP e RTOC Assessment Reports. As evidências atuais sugerem que é improvável que uma solução para o impacto do aquecimento global do RAC venha de um novo refrigerante ainda não descoberto no contexto da atual tecnologia de compressão de vapor. Uma recente revisão técnica especializada abrangente de todos os produtos químicos com características potenciais de refrigerante mostrou que poucos (<6) fluidos puros de baixo GWP, têm as propriedades químicas, ambientais, termodinâmicas e de segurança necessárias para um refrigerante a ser utilizado em sistemas de compressão de vapor, a escolha futura provavelmente se limitará aos refrigerantes com baixo GWP atualmente disponíveis e suas misturas.

4. USO DE REFRIGERANTES INFLAMÁVEIS

4.1 Situação Global

Até agora, a produção e vendas de unidades de ar condicionado com HC-290 ainda é baixa em comparação com os volumes globais do mercado dessas unidades. A capacidade de fabricar unidades HC-290 está limitada à China e à Índia. Na Índia, o fabricante local Godrej está produzindo principalmente para o mercado doméstico - com aproximadamente 650.000 unidades vendidas até julho de 2019. Vários fabricantes chineses transformaram suas linhas de produção no passado, entre eles Midea, Haier, TCL, Gree, Hisense, Changhong, AUX e Yair. Um grande número de condicionadores de ar portáteis está sendo produzido com o HC-290.

A China já converteu 21 linhas de produção de equipamentos de ar condicionado para HC-290, com capacidade de produção de 4,5 milhões de unidades por ano. Três linhas de produção de compressores para condicionadores de ar também foram convertidas para HC-290, com uma capacidade de produção de 5,4 milhões de compressores por ano. A China está no processo de conversão de 20 outras linhas de produção de condicionadores de ar e quatro outras linhas de produção de compressores para HC-290 como parte do segundo estágio do HPMP da China até 2020 (hydrocarbons21, 2019).

Outros países, como por exemplo o Egito (8 linhas de produção), e Paquistão etc. estão prestes a converter as linhas de produção nos seus planos HPMPs do Protocolo de Montreal.

Segundo GIZ, 2019, considerando que os principais componentes para montar unidades de ar condicionado split com HC-290 são idênticos à produção de Split com HCFC-22 ou R410A a conversão das linhas pode ser realizada com relativamente pouco investimento.

4.2 Segurança no uso de Refrigerantes Inflamáveis

O termo “inflamável” significa “substância com capacidade para desenvolver uma reação de oxidação exotérmica”. Atmosfera explosiva, nas diretivas ATEX⁵ é a definição de uma “mistura com o ar, sob condições atmosféricas” com substâncias inflamáveis sob a forma de gases, vapores, névoas ou pós, na qual, após a ignição, a combustão se espalha por toda a mistura não queimada”.

Considerando a legislação da União Europeia, as substâncias inflamáveis são classificadas pela Diretiva 67/548/CE e podem ser identificadas pelo rótulo obrigatório colocado no recipiente que contém a substância. A Diretiva 67/548 é uma importante diretiva que pode ser utilizada para o uso de refrigerantes inflamáveis na produção de equipamentos de ar condicionado. As Diretivas da União Europeia relacionadas com o uso de substâncias inflamáveis são chamadas de “Diretivas ATEX”

A seguir são descritos de forma simplificada e resumida os principais aspectos relacionados ao uso de substâncias inflamáveis, considerando a Diretiva 67/548, e que são apresentados detalhadamente no documento “Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos hidrocarbonetos” (GIZ, 2015).

Assim, cada vez que um produto ou substância identificado como inflamável entra no ciclo de produção, as diretrizes da ATEX devem ser consideradas. Em muitos casos, as diretrizes da ATEX podem ser cumpridas por meio da aplicação dos vários padrões europeus que lhes foram harmonizados.

Não importa se um produto ou substância é “mais ou menos inflamável” ou se apenas uma pequena porcentagem da substância é usada ou se é misturada com outras substâncias, em qualquer caso, o ATEX deve ser seguido.

4.2.1 Classificação de áreas perigosas

As áreas perigosas são classificadas, conforme Diretiva 99/92/CE, pelo tipo de gás inflamável, vapor e/ou névoa presente. As áreas são divididas em três classes **Zona 0 - Alto risco**, **Zona 1 - Médio risco**, **Zona 2 - Baixo risco**; que são definidas de acordo com as seguintes características:

Zona 0: Área na qual uma atmosfera explosiva, consistindo em uma mistura de ar e substância inflamável na forma de gás, vapor ou névoa, está presente por longos períodos de tempo ou frequentemente.

Zona 1: Área na qual é provável que ocorra ocasionalmente a formação de uma atmosfera explosiva, consistindo em uma mistura de ar e substância inflamável na forma de gás, vapor ou névoa.

Zona 2: Área na qual, durante a atividade normal, não ocorrerá a formação de uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura de ar e substância inflamável na forma de gás, vapor ou névoa. Se isso ocorrer, por exemplo, devido a mau funcionamento ou dano, a duração será apenas por um curto período de tempo.

⁵ A diretiva ATEX consiste em duas diretrizes da UE que descrevem quais equipamentos e espaço de trabalho são permitidos em um ambiente com uma atmosfera explosiva. A ATEX deriva seu nome do título francês da diretiva 94/9 / EC: *Appareils destinés à être utilisés at ATmosphères EXplosives*. <https://mesindustrial.com.br/o-que-e-o-certificado-atex/>

Após a identificação das áreas perigosas, o risco de explosão deve ser avaliado.

Para identificar rapidamente áreas perigosas, é importante descobrir onde as substâncias são usadas. Geralmente, eles podem ser encontrados nas seguintes áreas da instalação:

- Armazenamento;
- Área de bombeamento;
- Tubulação;
- Dutos de ventilação;
- Departamento de injeção;
- Departamento de controle e teste;
- Armazenamento do produto acabado;
- Áreas de reparo

4.2.2 Medidas de segurança contra explosões

Devem ser sempre tomadas medidas de segurança contra explosões se houver atmosferas explosivas e fontes de ignição presentes.

As medidas podem ser de dois tipos: técnicas e organizacionais:

a) As Medidas técnicas contra explosões podem ser divididas em

a.1. Medidas técnicas para evitar explosões⁶. Medidas de prevenção ajudam a evitar a formação de atmosferas explosivas. A formação pode ser evitada pelos seguintes procedimentos:

- Substituir substâncias inflamáveis por outras substâncias;
- Manter substâncias inflamáveis abaixo do limite inferior de explosão (LEL);
- Manter substâncias inflamáveis abaixo da temperatura do ponto de inflamação;
- Limitar as áreas onde as substâncias podem entrar em contato com o ar (oxigênio);
- Evitar fontes de ignição;
- Para evitar a ignição de uma atmosfera explosiva, é necessário identificar as fontes de ignição presentes e adaptar as medidas de proteção necessárias a tal ponto que nenhuma ignição possa ocorrer. O uso de materiais permitidos pela Diretiva 94/9/CE, que significa materiais adequados para o tipo de zona perigosa em que estão instalados, garantirá que esse material não contenha fontes de ignição.

a.2. Medidas técnicas de proteção contra explosões. As medidas técnicas de proteção limitam os efeitos da explosão para que a explosão não represente nenhum perigo. As medidas de proteção podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

- “Sufocar” a explosão: por ações adequadas, criando uma atmosfera inerte ou livre de oxigênio;
- Descarga da explosão: Com o uso de equipamentos específicos, os produtos da combustão são descarregados ao ar no ambiente externo.

⁶ Na UE, é obrigatório que os empregadores adotem medidas de segurança que impeçam a formação de atmosferas explosivas perigosas. Essas medidas de segurança são prioritárias antes de outras medidas.

b) As medidas organizacionais compreendem:

b.1. Qualificação do pessoal

– Os trabalhadores designados para trabalhar em áreas classificadas devem ter treinamento e experiência adequados em proteção contra explosões. Isso também se aplica a trabalhadores de empresas subcontratadas.

b.2. Treinamento adequado em proteção contra explosão. Os trabalhadores devem participar de treinamento adequado, contendo:

- Informações sobre riscos de explosão;
- Descrição das áreas de trabalho onde estão presentes riscos de explosão;
- Medidas preventivas de segurança aplicadas e funcionamento das medidas de segurança;
- Uso correto do equipamento de trabalho;
- Informações, instruções e conhecimentos para executar “em segurança” o trabalho;
- Informações sobre áreas de segurança;
- Lista de equipamentos de segurança;
- Equipamento de proteção móvel a serem utilizados em áreas classificadas;
- Equipamento de proteção individual a ser usado durante o trabalho em áreas classificadas

b.3. Cuidados durante as operações de manutenção

b.4. Sinalização de áreas de risco de explosão

b.5. Controle e vigilância

b.6. Instruções operacionais. As instruções operacionais devem conter:

- Instruções para o usuário;
- Normas de comportamento;
- Uma lista de equipamentos. Equipamento de proteção móvel em áreas classificadas. Equipamento de proteção individual a ser usado durante o trabalho em áreas classificadas.

b.7. Cuidado específico durante a manutenção da planta. Durante as operações de manutenção, o risco de acidentes aumenta, principalmente os relacionados a explosões. Uma atenção particular durante as operações de manutenção é, portanto, de extrema importância. Nas situações em que empresas externas são chamadas para executar operações de manutenção, torna-se ainda mais importante verificar os seguintes parâmetros:

- Existência de atmosferas explosivas que possam ter ignição causada pelos trabalhos de manutenção (por exemplo, soldagem, corte, etc.);
- Reativação das medidas de proteção quando o trabalho de manutenção é concluído;
- Verificação se o trabalho de manutenção não danificou ou causou mau funcionamento das medidas de segurança. Por exemplo, restabeleça a funcionalidade de detector de gás e/ou limpar os detectores de gás com solvente líquido, se necessário.

b.8. Sinalização da área de risco de explosão. As áreas de risco de explosão devem ser indicadas por sinais de alerta. Os sinais de alerta devem ser acompanhados de informações como:

- Tipo de substância inflamável em uso;
- Tipo de área classificada;
- Uma vez estabelecida a área de risco de explosão, é aconselhável marcar os limites de área no chão por uma linha tracejada pintada em amarelo e preto com o sinal “EX”.



b.9. Autorização de trabalho. Sempre que um trabalho extraordinário, como manutenção, deve ser realizado, é importante emitir as autorizações de trabalho necessárias. O trabalho mais comum que provoca acidentes (incêndio ou explosão) é a soldagem.

b.10. Controle e vigilância. É importante verificar os equipamentos instalados nas áreas com risco de explosão:

- Antes da partida;
- Em situações de mau funcionamento;
- Durante manutenção agendada regularmente.

A FIGURA 4-1 e a FIGURA 4-2 apresentam um resumo dos procedimentos para avaliação das condições de risco e medidas a serem adotadas.

FIGURA 4-1 Procedimento para avaliação de risco de explosão (adaptada de GIZ, 2012)

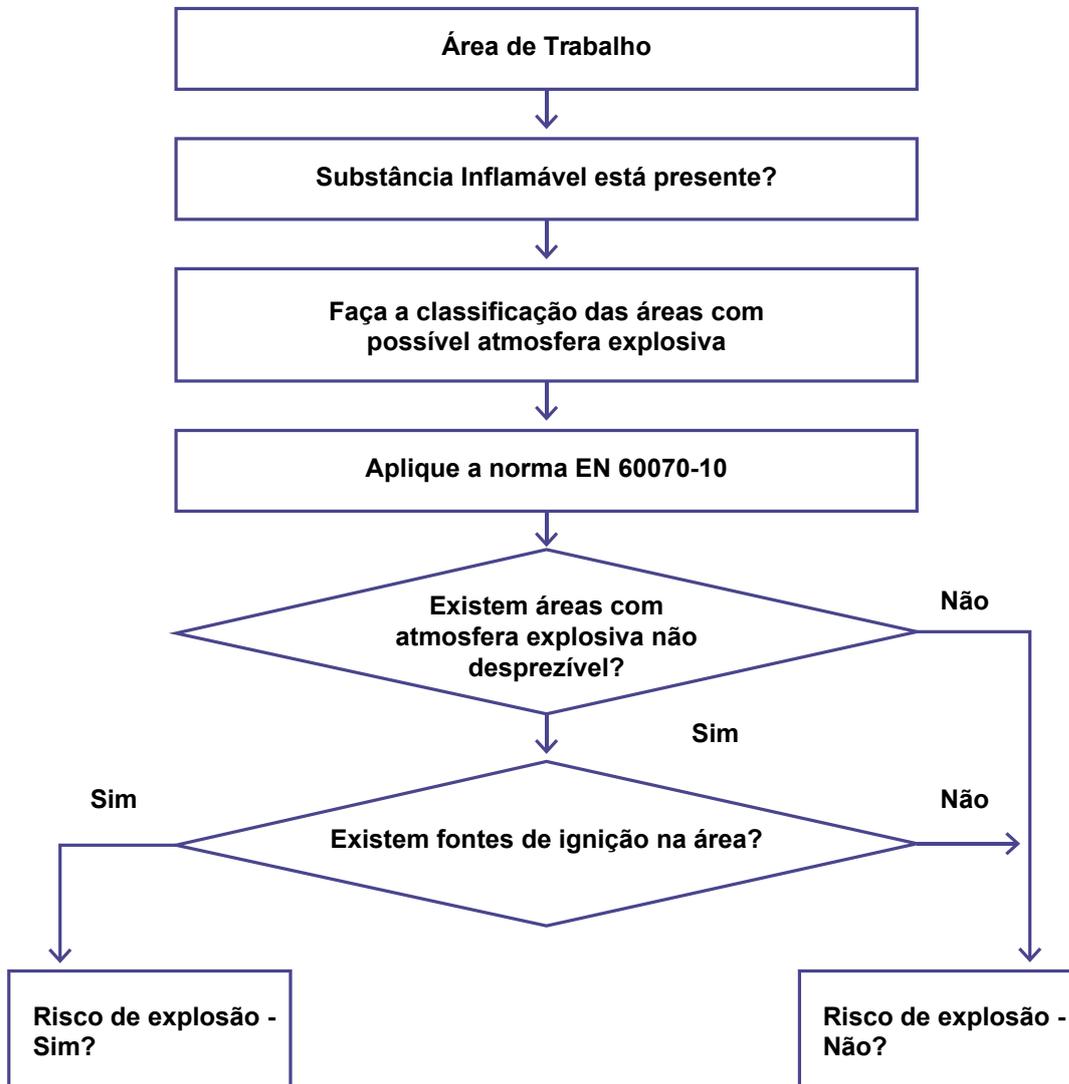
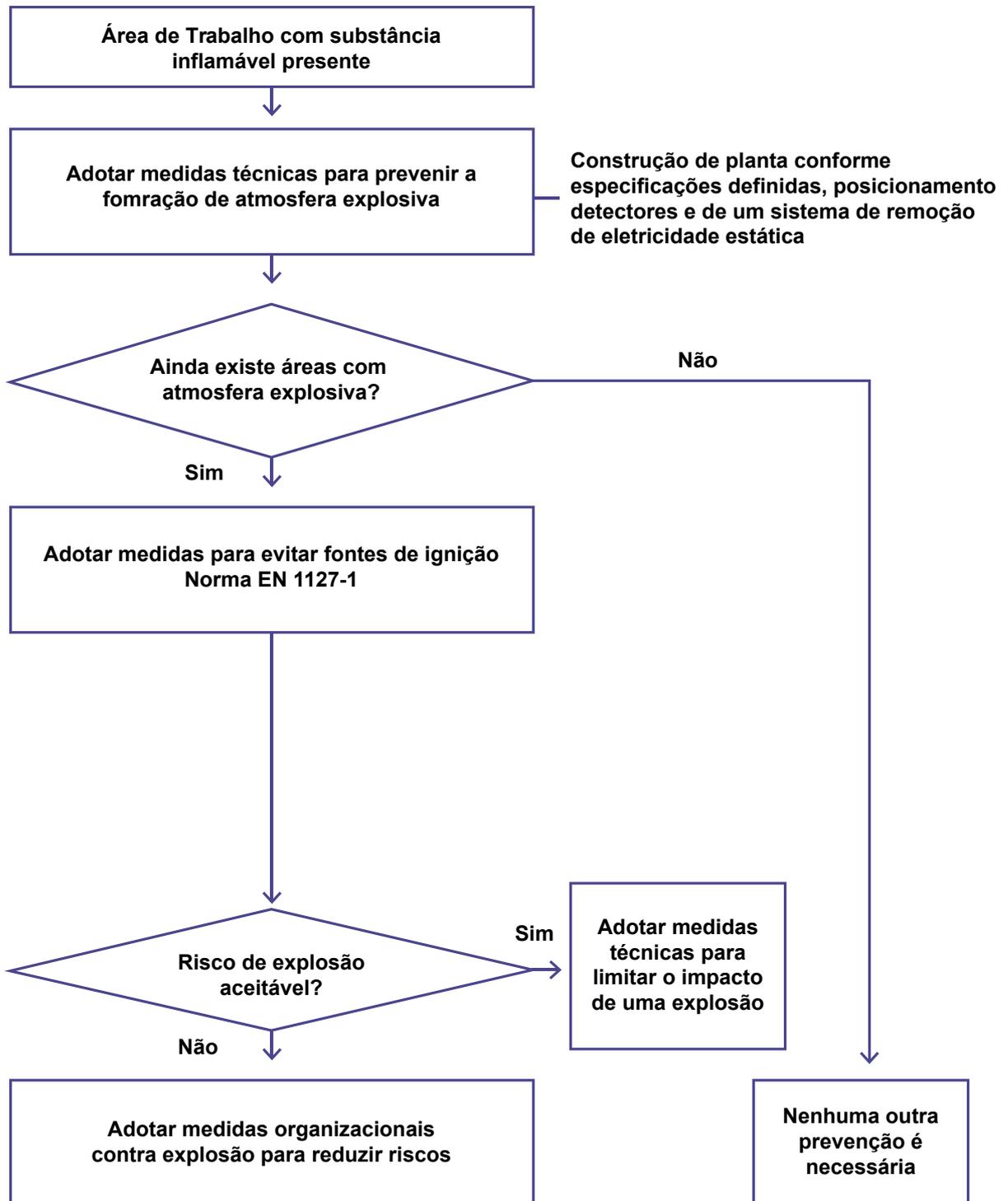


FIGURA 4-2 Medidas de proteção técnica e organizacional contra explosão - adaptada de GIZ, 2012.



4.3 Diretiva ATEX

A diretiva ATEX consiste em duas diretrizes da UE que descrevem quais equipamentos e espaço de trabalho são permitidos em um ambiente com uma atmosfera explosiva. A ATEX deriva seu nome do título francês da diretiva 94/9/EC: *Appareils destinés à être utilisés at Atmosphères Explosives*.

Em relação à diretiva ATEX 99/92/EC, o requisito é que os empregadores classifiquem áreas em que atmosferas explosivas perigosas possam ocorrer em zonas.

A classificação dada a uma zona específica, e seu tamanho e localização, depende da probabilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva e de sua persistência.

As áreas classificadas em zonas (0, 1, 2 para névoa de vapor de gás e, 20, 21, 22 para poeira) devem ser protegidas contra fontes eficazes de ignição.

Os equipamentos e sistemas de proteção destinados a serem utilizados em áreas com zonas devem atender aos requisitos da diretiva.

As zonas 0 e 20 requerem equipamentos marcados com categoria 1, as zonas 1 e 21 exigem equipamentos marcados com categoria 2 e as zonas 2 e 22 exigem equipamentos marcados com categoria 3. As zonas 0 e 20 são as zonas com maior risco de presença de uma atmosfera explosiva.

O objetivo da diretiva 94/9/CE define que é permitir o livre comércio de equipamentos e sistemas de proteção 'ATEX' na UE, eliminando a necessidade de testes e documentação separados para cada estado membro.

Os regulamentos se aplicam a todos os equipamentos destinados ao uso em atmosferas explosivas, elétricas ou mecânicas, incluindo sistemas de proteção.

Existem duas categorias de equipamento 'I' para mineração e 'II' para indústrias manufatureiras.

Os fabricantes que aplicam suas disposições e afixam a marcação CE e a marcação Ex podem vender seus equipamentos em qualquer lugar da União Europeia, sem mais requisitos com relação aos riscos cobertos.

A diretiva abrange uma ampla gama de equipamentos, incluindo potencialmente equipamentos usados em plataformas offshore fixas, em plantas petroquímicas, minas, moinhos de farinha e outras áreas onde uma atmosfera potencialmente explosiva pode estar presente.

A diretiva também abrange componentes essenciais para o uso seguro e dispositivos de segurança que contribuem diretamente para o uso seguro do equipamento no escopo. Esses últimos dispositivos podem estar fora do ambiente potencialmente explosivo.

4.4 Medidas de Segurança para uso de HC-290 na produção de Equipamentos de Ar Condicionado

O documento “R290 Split Air Conditioners Resource Guide” (GIZ, 2019) descreve as medidas de segurança no manuseio de refrigerante inflamável na produção de condicionadores de ar tipo Split. As principais mudanças estão relacionadas à incorporação e reforço das medidas de segurança nas instalações.

Áreas em que o HC-290 é armazenado, carregado ou manipulado demandam estratégias específicas de mitigação de riscos. As medidas de segurança incluem um bom sistema de ventilação, detecção de gás e alarme, sinais de alerta, além de um desligamento completo e automático em caso de emergência. As principais áreas da linha de produção HC-290 devem ser equipadas com sistemas de monitoramento em tempo real e configuradas com alarmes de diferentes níveis. O treinamento apropriado do pessoal para aumentar a conscientização sobre o risco e instruí-lo sobre como evitar situações perigosas é um complemento essencial junto com o equipamento de hardware. Além disso, é necessário realizar avaliações em todas as áreas da linha de produção para identificar e evitar riscos de ignição causados por cargas eletrostáticas.

É recomendada em resumo a instalação dos seguintes equipamentos de segurança (GIZ Proklima, 2012):

- Sensores de gás e sistemas de alarme;
- Equipamento elétrico classificado como seguro para uso em áreas de segurança (por ex., nas áreas de manuseio de refrigerante);
- Sistema de ventilação nas áreas de manuseio de refrigerante.

As áreas da planta nas quais medidas específicas de segurança precisam ser implantadas são:

- Armazenagem de refrigerante;
- Sistema de carga de refrigerante;
- Vedação ultrassônica do tubo de processo;
- Detecção de vazamentos após carga de refrigerante;
- Câmara de teste de desempenho do produto e laboratório;
- Área de reparo do produto.

Exemplo: Conversão de linha de produção de split AC com HCFC-22 para HC-290 – Godrej, Índia.

Em 2012, Godrej converteu uma de suas instalações de produção para montar unidades externas (condensadoras) para ACs split com HC-290 com o suporte da GIZ Proklima. A área foi equipada com os seguintes equipamentos:

- Estação de carregamento de gás HC-290 e câmara de teste de desempenho, incluindo dutos de ventilação com duas opções de velocidade, bem como um mecanismo de alarme de gás com bloqueio completo de corte de energia;
- Sistema de recuperação de gás refrigerante na área de reparo de produtos com intertravamento de dutos e alarme de gás;
- Caixas de junção elétricas à prova de fogo nas áreas de carregamento de refrigerante;
- Aterramento equipotencial de todos os equipamentos foi realizado.

5. DISPONIBILIDADE DE COMPONENTES PARA FLUIDO COM BAIXO GWP

Os relatórios do Teap, “Decision XXIX/10 Task Force Report on Issues Related to Energy Efficiency while Phasing Down Hydrofluorocarbons” e “ Decision XXX/5 Task Force Final Report on Cost and Availability of Low-Gwp Technologies/Equipment that Maintain/Enhance Energy Efficiency” (UNEP, 2018; UNEP,2019), apresentam informações sobre a disponibilidade de componentes para equipamentos de ar condicionado de pequeno porte considerando seu impacto na eficiência energética.

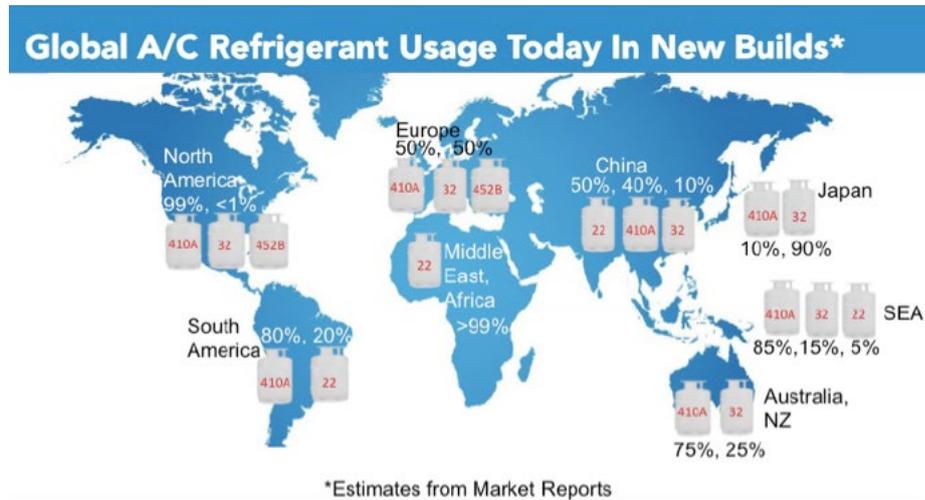
O relatório “Mapping the Supply Chain for Room Air Conditioning Compressors” do Laboratório Nacional de Energia Renovável (Nicholson e Booten, 2019) apresenta informações globais detalhadas sobre produção de compressores.

O fator mais importante no desenvolvimento de qualquer novo produto é a disponibilidade de componentes. A adoção de novos refrigerantes de médio e baixo GWP exigirá um novo design específico para muitos componentes.

5.1 Disponibilidade de refrigerantes

Novos refrigerantes com classes de inflamabilidade A2L e A3 criam alguns desafios e exigem que os países estabeleçam regulamentos locais. O HFC-32 e o HC-290 podem ser obtidos de vários fornecedores em todo o mundo. A demanda por HC-290 tem sido mais ou menos estável e é coberta pela produção atual. O mesmo se aplica ao HFC-32, embora tenha havido um aumento na demanda ultimamente. A demanda por ambos os refrigerantes, no entanto, permanece pequena em comparação com o R-410A. A FIGURA 5-1 apresenta dados estimados sobre o uso global de refrigerantes em ar condicionado.

FIGURA 5-1 Uso global de refrigerante em novos equipamentos AC unitários.
(© ASHRAE, www.ashrae.org, ASHRAE Webcast, abril de 2019)



Como a produção de AC usando refrigerantes de médio e baixo GWP está crescendo na Ásia, especialmente na China, a disponibilidade a longo prazo desses refrigerantes provavelmente não será um problema, uma vez que o aumento na produção de refrigerante normalmente seguirá o aumento na demanda de equipamentos.

O Protocolo de Montreal e suas emendas estabeleceram um cronograma para a substituição de refrigerante em vários mercados. A substituição dos refrigerantes atuais da linha de base exige a consideração do seguinte:

- 1) **Desempenho igual ou melhorado:** garantir que os refrigerantes de reposição possam fornecer desempenho termodinâmico e de transferência de calor aceitável;
- 2) **Compatibilidade com outros componentes do sistema:** avaliar os refrigerantes de reposição serem usados como substitutos ou se ainda é necessária mais pesquisa (por exemplo, em misturas);
- 3) **Segurança:** determinar se os refrigerantes alternativos podem ser usados com segurança (diretamente ou com engenharia adicional). Isso é mais relevante para refrigerantes inflamáveis (A2L e A3);
- 4) **Emissões ao longo da vida do equipamento:** a emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal concentrou-se principalmente no desenvolvimento de um cronograma para reduzir gradualmente os HFCs de alto aquecimento global para evitar sua contribuição direta de até 0,5 °C do aquecimento global total até 2100. No entanto, o benefício da redução progressiva do HFC em termos de emissões totais será diminuído ou anulado se a EE for reduzida (ou seja, emissões do consumo de energia);

5) Setor de manutenção: garantir que um número adequado de técnicos seja qualificado para qualquer programa de substituição e melhorar as práticas de instalação e manutenção para a redução de emissões diretas e indiretas;

6) Capacitação: garantir a existência de uma estrutura nacional para apoiar a transição para refrigerantes alternativos;

7) Custo: o custo da transição do refrigerante pode ser dividido em três categorias principais, como segue:

a) Custo de conversão ou o custo associado à conversão das linhas de produção: educar a força de serviço e desenvolver a infraestrutura necessária para usar novos refrigerantes (por exemplo, atualização de padrões de equipamentos, pesquisa e desenvolvimento etc.)

b) Custo do equipamento: este é o custo associado à modificação do equipamento RACHP para permitir o uso de refrigerantes de reposição

c) Custo operacional (segurança, confiabilidade + manutenção + eficiência energética ao longo da vida), ou seja, a diferença de custo devido à operação do RAC com refrigerantes de reposição, enquanto manutenção de EE for igual ou melhor.

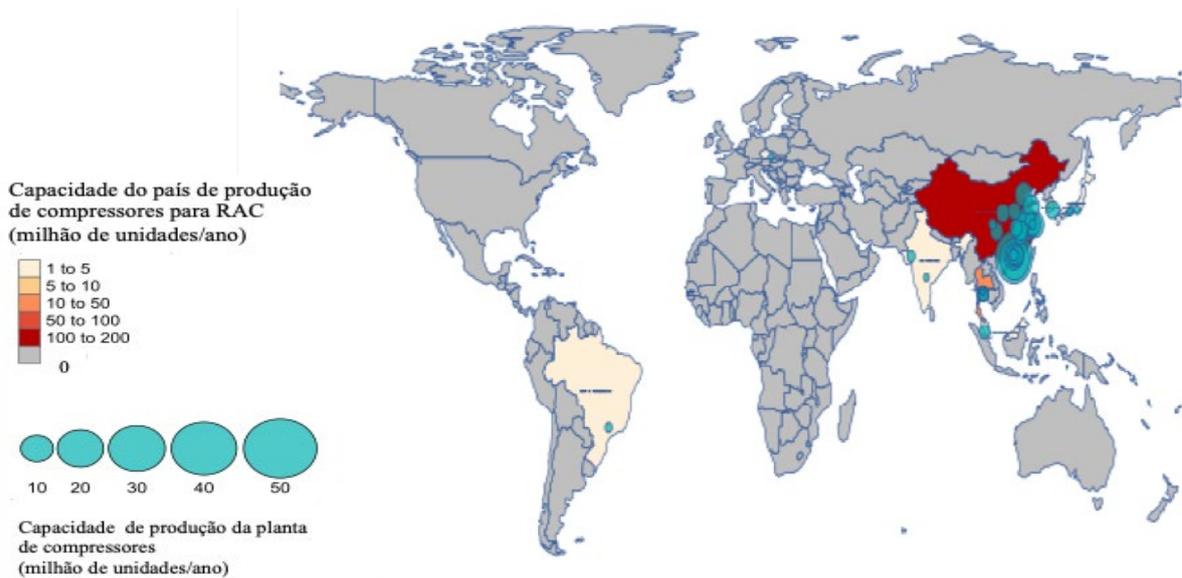
5.2 Disponibilidade de compressores

Equipamentos de ar condicionado tipo split usam principalmente compressores do tipo rotativo. A forma de controle tradicional de compressores rotativos é a “velocidade fixa”, o que significa que ele tem apenas dois modos: “ligado” ou “desligado”. O compressor é ligado para o resfriamento do ambiente condicionado e desliga-se assim que o ambiente atinge a temperatura desejada. Os compressores de “velocidade variável” são acionados por inversor e podem operar em mais de uma velocidade para fornecer de maneira mais eficiente e confortável a quantidade de resfriamento necessária e manter a temperatura desejada. As unidades de velocidade variável requerem sistemas de controle eletrônico, que podem aumentar os custos de fabricação.

Os compressores acionados por inversor foram desenvolvidos pela Toshiba para o uso de condicionadores de ar ambiente no final dos anos 80.

Atualmente, quase toda a produção de compressores rotativos está localizada na Ásia e concentrada na China, como mostra a FIGURA 5-2. A fabricação de compressores fora da China em ordem decrescente de capacidade a partir de 2018 inclui Tailândia, Coreia do Sul, Malásia, Japão, Índia, Brasil e República Tcheca.

**FIGURA 5-2 Capacidade global do compressor rotativo RAC em setembro de 2018
(Nicholson e Booten, 2019)**



A China é de longe o maior produtor mundial de compressores para AC de pequeno porte, com uma capacidade anual estimada em quase 200 milhões de unidades por ano. Em 2018, os quatro maiores fabricantes de compressores da China juntos responderam por mais de 60% da capacidade global de produção de compressores rotativos (Nicholson e Booten, 2019).

As maiores empresas de fabricação de compressores da China incluem GMCC, Gree, Highly e Rechi. Os principais fabricantes de compressores de ar condicionado com sede na China incluem a Guangdong Meizhi Compressor Company (GMCC), Gree, Shanghai Hitachi Electrical Company, Rechi, Qing'an, Chunlan, Chigo e Galanz. Outras empresas multinacionais com operações de fabricação de compressores na China incluem Panasonic, LG, Mitsubishi, Samsung e Daikin.

Conforme relatado em UNEP, 2019, os catálogos e websites das empresas fabricantes informam que os compressores rotativos que usam refrigerantes com alto GWP, HCFC-22 e R-410A, representaram a maioria dos modelos disponíveis em todo o mundo em 2018. Por outro lado, muitas empresas, principalmente na Ásia, oferecem agora compressores de velocidade fixa e variável que usam refrigerantes de médio e baixo GWP, HFC-32 e HC-290 (Nicholson e Booten, 2019).

Nenhum dos modelos de compressor de velocidade variável identificados usa o HCFC-22. Na China, 42% dos 167 milhões de compressores rotativos produzidos em 2017 eram do tipo de velocidade variável. No início de 2012, eram apenas 30% dos 103 milhões (Nicholson e Booten, 2019). Mais de 80% dos compressores produzidos na China não são exportados e são usados na fabricação doméstica de AC e posteriormente exportados como produtos finais ou vendidos a consumidores na China (Nicholson e Booten, 2019).

Aproximadamente 30% dos compressores rotativos produzidos na China em 2017 foram projetados para operar com o refrigerante HCFC-22. Embora a quantidade de unidades de HCFC-22 tenha permanecido aproximadamente constante, nos últimos anos a porcentagem de unidades de HCFC-22 diminuiu, à medida que a produção de unidades usando o R-410A aumentou (FIGURA 5 3), para se tornar dominante em compressores rotativos produzidos na China (Nicholson e Booten, 2019).

FIGURA 5-3 Produção chinesa de compressores rotativos de velocidade fixa e variável, 2012-2017
(Nicholson e Booten, 2019)

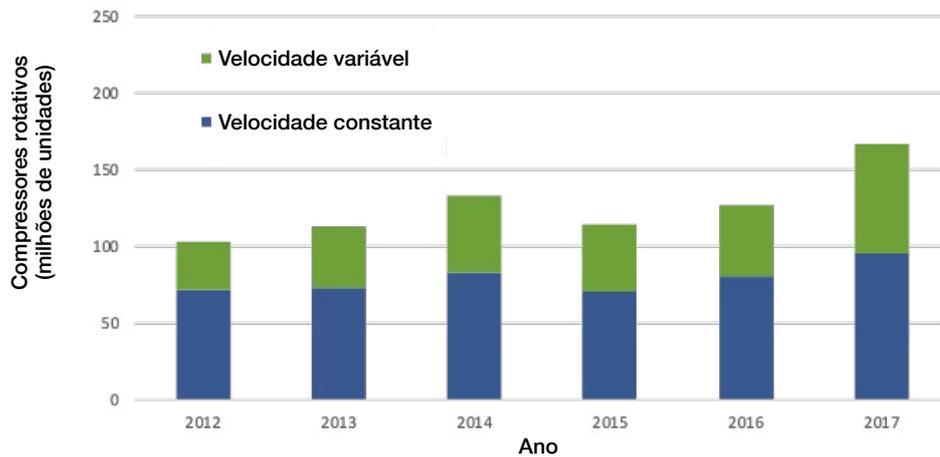
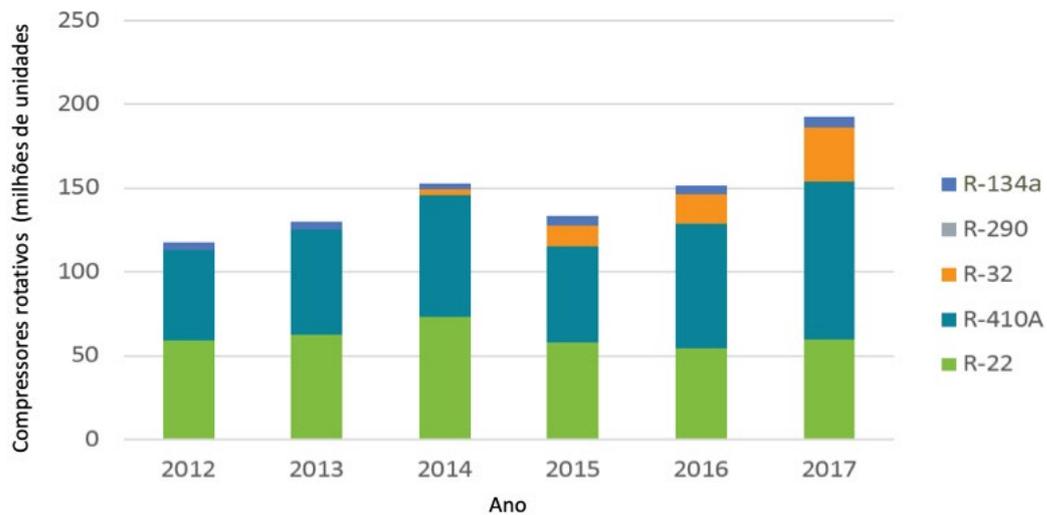


FIGURA 5-4 Produção chinesa de compressores rotativos por refrigerante, 2012-2017
(Nicholson e Booten, 2019).



A partir de 2018, o R-410A tornou-se o refrigerante usado na maior proporção de compressores rotativos produzidos na China. Compressores para refrigerantes de GWP médio e baixo (HFC-32 e HC-290) são produzidos, principalmente na China.

Como pode ser visto na FIGURA 5-4, a produção de compressores HC-290 ainda não é significativa em comparação com os outros refrigerantes.

Alguns países do Oriente Médio, especialmente com condições de HAT, continuam a usar compressores alternativos e scroll em parte de sua produção. Apenas alguns compressores rotativos são usados para aparelhos de ar condicionado split. Os compressores que operam em condições de HAT têm requisitos de projeto específicos (por exemplo, torque de partida mais alto devido à pressão mais alta durante o ciclo “on-off”; e motor adequado para essas condições).

A transição de compressores de velocidade fixa para velocidade variável aumentou bastante nos últimos cinco anos para atender aos requisitos de normas de mínima eficiência energética (MEPs), embora em alguns países ainda seja considerado apenas os valores de eficiência de carga total, em vez dos valores sazonais de eficiência.

Em 2015, a Daikin lançou 93 patentes relacionadas à tecnologia de ar condicionado do inversor HFC-32 para serem usadas livremente por qualquer fabricante em todo o mundo. Essas patentes estavam disponíveis em mercados emergentes antes deste lançamento, e o objetivo de abrir patentes para todos os fabricantes era promover a adoção adicional do HFC-32 como uma alternativa de baixo GWP aos refrigerantes convencionais de ar condicionado HCFC-22 e R-410A. A Ingersoll Rand (fabricante da marca Trane) divulgou patentes relacionadas ao refrigerante R-452B, outro substituto do R-410A, em 2016.

China, Indonésia, Tailândia e Vietnã, além de outros países, empreenderam ou estão atualmente realizando projetos de conversão de linhas de manufatura de ar condicionado no âmbito do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal. O objetivo desses projetos é mitigar substâncias que destroem a camada de ozônio e com alto GWP nessas regiões em desenvolvimento, usando compressores de próxima geração com baixo GWP na fabricação de aparelhos de ar condicionado. Até o momento, os projetos apresentaram alguns sucessos e desafios na realização de uma adoção mais ampla dessa tecnologia. Os projetos de conversão na Tailândia e na Indonésia destacaram uma preocupação com a disponibilidade de compressores HFC-32 de maior capacidade, especialmente para uso em aplicações comerciais. A disponibilidade de compressores usando o refrigerante inflamável R-290 também foi apontada como uma preocupação, embora um aumento recente na produção e exportação chinesa deles possa ser um indicador precoce da crescente adoção do R-290.

No Brasil, uma política conhecida como Processo Produtivo Básico tem um grande impacto na produção de compressores e condicionadores de ar. A política fornece incentivos fiscais para empresas que fabricam produtos na região Norte do Brasil usando uma certa porcentagem de peças adquiridas no Brasil. A maioria dos fabricantes de unidades de ar-condicionado no Brasil utiliza, em alguns de seus modelos, compressores da Tecumseh, o único fabricante local de compressores, para atender aos requisitos do Processo Produtivo Básico. A Tecumseh fornece modelos de velocidade fixa que usam refrige-

rante com maior GWP. Toda a produção é destinada aos mercados locais; as exportações são mínimas. O mercado brasileiro não cresceu no ritmo de outras regiões em desenvolvimento, como a Índia, devido a uma recente crise econômica (2014–2016).

5.3 Óleos lubrificantes do compressor

Novos lubrificantes para compressores estão sendo desenvolvidos para serem compatíveis com refrigerantes sintéticos com baixo GWP. Certos óleos convencionais de poliéster (POE) e éter polivinílico (PVE) usados para refrigerantes HFC apresentam miscibilidade insuficiente com alguns refrigerantes como o HFC-32.

Lubrificantes para equipamentos de refrigeração eficientes é uma área importante de pesquisa e desenvolvimento na transição para o potencial de aquecimento global baixo (GWP) de refrigerantes. As formulações de óleo lubrificante desenvolvidas para uso em compressores com gerações anteriores de HFCs eram incompatíveis com o R-32, um dos refrigerantes alternativos com baixo GWP. Desde então, os óleos compatíveis com melhores propriedades de miscibilidade foram desenvolvidos e patenteados para uso em aparelhos de ar-condicionado.

Ao longo das últimas décadas, fabricantes de lubrificantes desenvolveram formulações usando tipos específicos de óleos como polioléster (POE) ou polivinil éter (PVE). O POE é um lubrificante monomérico usado em compressores não HFC e HFC, enquanto o PVE é um lubrificante polimérico projetado especialmente para sistemas HFC, onde pode exibir desempenho superior ao POE em alguns casos. Os catálogos e manuais de serviço RAC indicam que a maioria, se não todas, as principais empresas fabricantes de RAC usam lubrificante PVE em pelo menos alguns de seus compressores rotativos.

5.4 Disponibilidade de trocadores de calor

Na maioria dos casos, os trocadores de calor continuam sendo do tipo “aleta e tubo” feitos de cobre ou alumínio. No entanto, muitas empresas estão mudando para usar trocadores de calor com diâmetro de tubo menor e microcanais, que já são usados em unidades Split existentes. Os diâmetros de tubos do trocador de calor mais comumente usados para refrigerantes HCFC-22 e R-410A são: 3/8 pol. (9,525 mm), 1/4 pol. (6,35 mm) e ~1/4 pol (7 mm.). Para os novos refrigerantes, algumas empresas estão usando tubos de 5 mm de diâmetro. Esses componentes reduzem a carga de refrigerante e são importantes ao permitir que as unidades que utilizam fluidos refrigerantes inflamáveis obedeçam aos padrões de segurança. Contribuem também para maior eficiência energética do equipamento. Eles estão amplamente disponíveis.

5.5 Disponibilidade de ventiladores

Cada unidade split contém dois ventiladores (um na unidade externa e um na unidade interna). As tecnologias de ventiladores estão amplamente disponíveis. Não há requisitos especiais para o uso de ventiladores eficientes para refrigerantes de médio e baixo GWP.

5.6 Disponibilidade de acessórios do circuito de refrigeração

Os componentes, acessórios, para o circuito de refrigeração usado nas unidades AC split incluem o dispositivo de expansão, válvulas de líquido e gás, acumulador de sucção, receptor de líquido, separador de óleo (se necessário) e todos os acessórios instalados nas tubulações da unidade, no lado do gás ou líquido. Todos esses componentes e acessórios estão disponíveis para aplicações de refrigerante com alto GWP e podem ser usados para aplicações com GWP médio e baixo.

5.7 Resumo da disponibilidade de componentes e impacto na eficiência energética

A TABELA 5-1 apresenta um resumo da disponibilidade de componentes para equipamentos de ar condicionado usando fluidos refrigerantes de baixo GWP, considerando seu impacto na eficiência energética.

TABELA 5-1 Disponibilidade de componentes e impacto na eficiência energética

Componente	Aplicável ao circuito ref	Disponível hoje?	Atualmente em uso?	Observações	Componentes necessários	Melhoria potencial máxima	Custo incremental para a unidade RAC
Compressores							
Alta eficiência	X	S	S	Principalmente compressor rotativo			
Inverter*	X	S	S	Principalmente usado para compressor for rotativo		20% - 30%	20%
Compressão em dois estágios	X	S	L	Disponibilidade muito limitada		10%	10% – 20%
Controladores de eficiência do motor		S	L	Padrão		10%	10% – 20%
Motores para ventiladores							
Motores EC (comutado eletronicamente) dos ventiladores		S	S	Reduz energia, carga de calor	Controlador	7% - 15%	15% - 25%
Velocidade variável/fixada-		S	S				
Pás de ventilador otimizadas		S	S				
Ventilador tangencial		S	S	Apenas para unidade interna			
Ventilador axial		S	S	Apenas para unidade externa			
Dispositivos de Expansão							
Válvulas de expansão eletrônica	X	S	L		Valv. Exp. Eletrônica e controlador	15% - 20%	15%
Orifício fixo	X	S	L		RAC aquecimento	Eficiência menor	Negativo
Tubo capilar	X	S	S			Modo aquecimento	Negativo
Trocadores de Calor							
Condensador microcanal	S	S	S	Apenas condensador		15%	Negativo
Evaporador microcanal	N	N	N				Custo menor comparado com o tubo aletado
Tubulação de menor diâmetro para o condensador	X	S	L		Valv. Exp. Eletrônica e controlador	15% -20%	15%
Tubulação de menor diâmetro para o evaporador	X	S	L		RAC aquecimento	Eficiência menor	Negativo
Tubo capilar	X	S	S			Modo aquecimento	Negativo
Controles							
Controladores de demanda		S	S		Padrão		Padrão
Redução de pressão de condensação	X	S	S		Variador de velocidade ventilador do condensador	2 – 3% / K	Vários

Legenda: S-sim; N-não, L-limitado

* É importante observar que o uso de compressores de velocidade variável de maior eficiência pode exigir o uso de reguladores de tensão para combater a corrente elétrica instável, o que pode aumentar o custo unitário em até 8%.

6. A QUESTÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética e o consumo de energia são uma consideração importante para todos os equipamentos de refrigeração e ar condicionado. Dado que o ar condicionado é muito utilizado em muitos dos países mais populosos e espera-se que continue a crescer substancialmente em muitos países A5 à medida que a riqueza e as temperaturas globais subirem. Davis e Gertler (2015) estimam que a fração de famílias com ar-condicionado aumentará de 13% para mais de 70% até 2100, correspondendo a um aumento de cerca de 83% no consumo residencial de eletricidade. Consequentemente, aumentará a demanda nacional de eletricidade, com implicações na confiabilidade do fornecimento e nas emissões de CO₂. Em muitos países e regiões, o uso do ar condicionado coincide com o pico da demanda de eletricidade.

O reconhecimento desse cenário levou a maioria dos países a implementar alguma forma de eficiência mínima obrigatória ou voluntária e/ou regras de rotulagem. Os aparelhos de ar condicionado menores são mais amplamente regulamentados que os sistemas maiores. Essas medidas incluem eficiências de plena carga e eficiências sazonais. Em vários países, COPs sazonais mínimos variam de cerca de 3 a 6 e são continuamente aumentados ao longo dos anos. Teoricamente, a eficiência do sistema pode exceder em muitos desses valores mínimos, mas, em última análise, a escolha de valores mínimos de eficiência representa um equilíbrio entre o custo de capital dos sistemas, os custos do ciclo de vida, os custos de fornecimento de eletricidade e os benefícios ambientais.

Existem inúmeras técnicas disponíveis para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia. Isso inclui compressores de velocidade variável, melhorias no projeto dos trocadores de calor, uso de válvulas de expansão eletrônicas (EEVs), sistemas avançados de controle, melhorias no projeto do compressor, integração do resfriamento evaporativo aos condensadores.

Para sistemas existentes, a eficiência e o consumo de energia podem ser aprimorados quando as práticas de manutenção regulares incluem limpeza de condensadores e filtros laterais, verificação e manu-

tenção dos níveis de carga de refrigerante, substituição de óleo lubrificante degradado, filtros secadores, etc. Na maioria dos casos, pode ser preferível substituir antigos condicionadores de ar ineficientes por novos modelos de maior eficiência.

A eficiência energética e o uso eficiente de energia têm sido fatores importantes para o desenvolvimento de novos produtos em todos os setores do RACHP desde muito antes da questão do ozônio afetar a tecnologia [Kuijpers et al., 2018]. Por exemplo, durante as décadas de 1970 e 1980, o foco em eficiência energética foi motivado pela necessidade de tornar as tecnologias RAC acessíveis a mercados maiores. Com a assinatura do Protocolo de Montreal e a implementação da eliminação progressiva de SDO, a eficiência energética continua sendo uma consideração prioritária no desenvolvimento e na escolha de alternativas SDO e de suma importância na avaliação do potencial impacto climático do setor RAC.

O equipamento RAC contribui com dois tipos distintos de emissão de gases de efeito estufa (GEE):

- a) Emissões diretas, como resultado de vazamentos de refrigerantes. O clorofluorocarboneto (CFC) e muitos refrigerantes HCFC e HFC têm GWPs muito altos, daí a importância de reduzir as emissões diretas.
- b) Emissões indiretas, ligadas ao consumo de energia do equipamento [UNEP, 2017a]. As emissões indiretas relacionadas à energia são dominantes para a maioria dos tipos de equipamentos RACHP.

Cerca de 80% das emissões globais anuais de RAC GEE são indiretas e apenas 20% são diretas, provenientes de vazamentos de refrigerante. Deve-se notar que a proporção entre emissões indiretas e diretas varia em diferentes setores do mercado de RAC. Também varia de acordo com quando e por quanto tempo o equipamento é usado ao longo do ano e é fortemente influenciado pelo nível de emissões de CO₂ da fonte de eletricidade. Para alguns tipos de equipamentos, como grandes sistemas de refrigeração comercial instalados em campo, as emissões diretas podem chegar a 40% do total de emissões. Por outro lado, as emissões diretas dos sistemas selados de fábrica podem ser inferiores a 1%. É importante reconhecer que as emissões indiretas do consumo de energia são sempre substanciais e devem ser tomadas medidas para minimizar a energia necessária para fornecer o resfriamento / aquecimento desejado. A indústria de RAC forneceu ao mercado produtos cada vez mais eficientes em termos energéticos, impulsionados por forças do mercado e por regulamentos, e esse esforço é provável que continue durante a implementação da Emenda Kigali.

A Emenda Kigali ao Protocolo de Montreal focou principalmente no desenvolvimento de um cronograma para reduzir os HFCs de alto aquecimento global para evitar uma contribuição direta de até 0,5°C do total aquecimento global até 2100. No entanto, os benefícios da redução de emissões de refrigerantes com alto GWP poderiam ser anulados pelo uso de equipamentos com maior consumo de energia. O uso de equipamentos com refrigerantes de menor GWP e maior eficiência energética aumentará a redução total de emissões de gases de efeito estufa, tanto de fontes diretas quanto indiretas.

Os conceitos básicos do desempenho energético de RAC são fornecidos no Anexo III Eficiência energética (EE) relacionada com o COP ou EER em RAC é, basicamente, a relação entre a capacidade de refrigeração e aquecimento proporcionado pelo equipamento e o seu consumo de potência, em geral elétrica. Pode ser a eficiência energética de um único equipamento (por exemplo, refrigerador doméstico, ar condicionado split, etc.) ou de um sistema (por exemplo, um prédio com um sistema de ar condi-

cionado com “água gelada”, onde a eficiência do sistema também inclui bombas, ventiladores e torres de resfriamento). No setor de RAC, várias métricas diferentes são usadas para avaliar a EE.

6.1 Conceitos Básicos

Coefficiente de desempenho (COP): é definido como a razão entre a capacidade de refrigeração e a potência consumida pelo sistema e é uma medida da eficiência energética de um sistema de refrigeração. O COP também é usado para bombas de calor e, nesse caso, é definido como a razão entre a capacidade de aquecimento e a energia consumida pelo sistema. O COP depende do ciclo de trabalho e dos níveis de temperatura (temperatura de evaporação/condensação), bem como das propriedades do refrigerante e do projeto do sistema. O COP é adimensional porque a entrada de potência e a capacidade de refrigeração/aquecimento são medidas em [watts; (W)].

Índice de eficiência energética (EER): é definido como a razão entre a energia de resfriamento de saída (em unidades térmicas britânicas, BTU) e da energia de entrada elétrica (em Watt-hora). O EER também pode ser definido como a razão entre a capacidade de refrigeração e a potência de entrada. Quando ambos são medidos na mesma unidade (Watts), ele tem a mesma definição (e valor) que o COP para um sistema de resfriamento. O EER é atualmente usado para distinguir entre os COPs no modo de resfriamento e no modo de aquecimento de uma bomba de calor reversível. Nesse caso, o EER (razão entre a capacidade de refrigeração e a entrada de energia) representa a eficiência energética do sistema operado no modo de refrigeração e o COP (razão entre a capacidade de aquecimento e a entrada de energia) representa a eficiência energética do mesmo sistema operado no modo de aquecimento.

Índice de Eficiência Energética Sazonal (SEER): é uma medida da eficiência do desempenho de um sistema durante um período com variação na temperatura externa. É a razão entre a energia total (calor) removida, resfriamento, e a quantidade total de energia consumida durante o mesmo período. O SEER é geralmente apresentado como a razão entre a energia de resfriamento de saída (em BTU) e a energia de entrada elétrica (em Watt-hora). Se o resfriamento e a energia de entrada forem medidos usando a mesma unidade, o SEER não terá dimensão.

6.2 Oportunidades Tecnológicas

O melhor equipamento RAC atual está operando em cerca de 50-60% da eficiência energética máxima teórica. Nas próximas décadas, espera-se que a inovação tecnológica melhore o desempenho para aproximadamente 70-80% do limite teórico. Atualmente, ultrapassar 70-80% provou ser proibitivamente caro e muito difícil de alcançar em equipamentos comerciais (ver Anexo III).

6.2.1 Refrigerantes

Quando o equipamento RACHP existente pode ser convertido para o uso de refrigerantes com baixo GWP, sem alterar significativamente o projeto, a tecnologia ou os componentes (“reposição imediata ou quase imediata”), a escolha do refrigerante tem um impacto na eficiência energética desse equipamento.

Nesse caso, é possível obter uma melhora modesta na eficiência energética (da ordem de 5-10%), dependendo das propriedades termofísicas do refrigerante de baixo GWP escolhido.

Com relação às misturas de refrigerante de baixo GWP, em princípio, elas podem ser importantes na otimização do desempenho do sistema, no equilíbrio entre o coeficiente de desempenho (COP), capacidade volumétrica, inflamabilidade e GWP.

A seleção de refrigerante é uma troca entre benefícios ambientais, segurança, eficiência do ciclo termodinâmico, projeto e confiabilidade do sistema e custo. É muito importante reconhecer que o impacto da escolha de refrigerante na eficiência energética das unidades é geralmente relativamente pequeno - geralmente variando de +/- 5 a 10%. Os projetistas devem selecionar cuidadosamente o melhor refrigerante sob uma perspectiva de eficiência, mas também devem abordar a ampla gama de outros problemas de design. Também é importante observar que as tecnologias que resultam em oportunidades de melhoria de eficiência disponíveis para refrigerantes com alto GWP também podem ser aplicáveis a refrigerantes com baixo GWP.

A aplicabilidade de vários novos refrigerantes foi objeto de vários estudos e avaliações recentes e foram relatados no capítulo 3 deste documento.

A análise termodinâmica simplificada demonstra o impacto relativo de diferentes refrigerantes para a EE da unidade, o que pode ajudar os projetistas a criar uma “lista curta” de opções [McLinden et al., 2017]. Para uma determinada aplicação, haverá um número limitado de refrigerantes que provavelmente ficarão na faixa de $\pm 5\%$ do (s) refrigerante (s) de base em termos de desempenho energético. Uma análise termodinâmica fornece um ponto de partida útil, mas é essencial considerar o desempenho no “mundo real”, baseado na maneira como o refrigerante interage com os vários componentes do sistema, em particular o compressor e os trocadores de calor. Isso pode ser ilustrado com a comparação do HCFC-22 e R-410A para uso em pequenos aparelhos de ar-condicionado. Uma análise termodinâmica mostra vantagens de eficiência para o HCFC-22, mas o equipamento mais eficiente atualmente disponível no mercado usa o R-410A. Isso reflete o fato de que os fabricantes de equipamentos interromperam a pesquisa e desenvolvimento (P&D) para melhorar os equipamentos do HCFC-22 após o início da eliminação do HCFC sob o Protocolo de Montreal. O equipamento moderno R-410A possui diversas inovações de eficiência não disponíveis no HCFC-22, aumentando a eficiência do mundo real do R-410A. Uma análise termodinâmica do HFC-32 mostra que ele possui uma vantagem de cerca de 5% em relação ao R-410A para pequenos aparelhos de ar condicionado de edifícios.

Em comparação com o HCFC-22, uma análise do ciclo termodinâmico do propano (HC-290) mostra a perda do coeficiente de desempenho (COP) variando de -2% a 0%, dependendo da temperatura de evaporação. No entanto, a capacidade volumétrica do HC-290 é consistentemente menor que o HCFC-22 em aproximadamente 14%. O teste de queda do HC-290 em equipamentos HCFC-22 mostrou que a melhoria do COP em 7% e redução da capacidade em 8% em comparação com o HCFC-22 em condições padrão de classificação [Abdelaziz et al. 2015]. Isso é atribuído principalmente às melhores propriedades de transporte aprimoradas do HC-290 versus o HCFC-22. Com a otimização, as alternativas do HCFC-22, como o R-290, podem igualar ou exceder o desempenho das unidades existentes do HCFC-22, com aumento de eficiência de até 10% [Shen et al, 2017].

6.2.2 Componentes

O equipamento RACHP de compressão de vapor consiste em vários componentes primários (por exemplo, evaporador, condensador, compressor, válvula de expansão, refrigerante) e componentes secundários (por exemplo, ventiladores, filtros secadores, acumuladores, etc).

A maior parte da melhoria potencial em eficiência energética virá do design geral do equipamento, e não do refrigerante usado. Essas grandes melhorias na eficiência energética vêm com a instalação de componentes e sistemas de controle avançados nos equipamentos. A EE aprimorada de novos equipamentos pode atuar de forma sinérgica com outras medidas visando reduzir o consumo de energia, como a redução da carga de resfriamento/aquecimento por meio de um melhor isolamento, um melhor projeto de construção e a adoção de melhores procedimentos para instalação e manutenção, a fim de reduzir vazamentos e melhorar o desempenho.

A grande parcela da melhoria na eficiência energética nos sistemas RACHP pode ser alcançada por meio da otimização e uso de componentes novos e avançados, particularmente compressor, trocador de calor e controles.

O maior potencial de aprimoramento de eficiência energética vem de melhorias no projeto e nos componentes totais do sistema, que podem gerar melhorias de eficiência (em comparação com o design de linha de base) que podem variar de 10% a 70%.

De forma geral, as seguintes oportunidades técnicas devem ser consideradas para reduzir o uso de energia em equipamentos de AC:

- Otimização do compressor (controle de velocidade);
- Otimização dos trocadores de calor;
- Adoção de controle e monitoramento dos sistemas;
- Uso de sensores de movimento para detecção de ocupação;
- Otimização da temperatura do ambiente climatizado;
- Redução das necessidades gerais de resfriamento/aquecimento do ambiente climatizado do edifício.

Novos equipamentos em todos os subsetores são compatíveis e podem ser usados em paralelo com a introdução de refrigerantes com baixo GWP

6.2.3 Design da unidade

O projetista deve selecionar trocadores de calor com a menor diferença prática de temperatura para otimizar a temperatura de evaporação (que deve ser a mais alta possível) e a temperatura de condensação (a mais baixa possível). Trocadores de calor com um design de tubo e aleta com tubos de menor diâmetro foram introduzidos. Isso visa melhorar a taxa de transferência de calor e a eficiência energética, embora o projetista também deva considerar o impacto de quedas de pressão mais altas. Isso pode reduzir o volume interno do trocador de calor, possibilitando a redução da quantidade necessária de refrigerante. Os trocadores de calor microcanais (MCHX) também foram desenvolvidos e oferecem outra opção de design.

A eficiência energética do compressor tem um impacto direto no uso de energia dos equipamentos RACHP. O compressor usado precisa ser otimizado para o refrigerante selecionado e a faixa esperada de condições operacionais (em termos de temperatura de evaporação e condensação). Pode haver uma diferença de até 20% na eficiência entre dois compressores de tamanho e custo semelhantes. Uma boa seleção pode proporcionar uma boa melhoria de eficiência com pouco ou nenhum custo extra.

Muitos sistemas usam ventiladores para circular o ar que está sendo resfriado. Tradicionalmente, esses eram dispositivos de velocidade fixa projetados para se adequar à carga nominal do projeto. O ventilador cria uma carga de calor extra que deve ser removida pelo sistema de refrigeração. Em carga parcial, essas cargas auxiliares podem se tornar uma parte desproporcionalmente grande do consumo total de energia. Ao usar VSDs, os ventiladores podem ter velocidade, carga térmica e consumo de energia reduzidos com carga parcial.

6.2.4 Instalação

A qualidade da instalação dos ACs é um elemento importante e necessário para garantir a eficiência energética e evitar vazamentos de refrigerante. Se um sistema for instalado incorretamente, independentemente da sua classificação, ele nunca funcionará da maneira como foi projetado e não terá a vida útil esperada.

A instalação incorreta pode levar a altas contas de energia elétrica, má circulação de ar condicionado e problemas de manutenção. Muitos estudos comprovaram que os aparelhos de ar condicionado instalados incorretamente reduzem sua capacidade e eficiência em mais de vinte por cento. De fato, a instalação adequada do sistema de ar condicionado é um dos principais elementos necessários para a operação econômica e eficiente do sistema.

É necessário aprimorar as competências dos instaladores para garantir que os aparelhos de ar condicionado split sejam instalados corretamente.

6.3 Legislação Brasileira sobre consumo de energia em equipamentos de ar condicionado

Informações sobre os aspectos básicos do consumo de energia em equipamentos de ar condicionado e como este consumo é medido são apresentadas no Programa Brasileiro de Etiquetagem⁷. “O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a eficiência energética, o ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes. Ele também estimula a competitividade da indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes. No caso da eficiência energética, a classificação vai da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), onde se entende que os mais eficientes utilizam melhor a energia”.

A Lei de Eficiência Energética foi aprovada em 2001, e a partir dessa lei o governo brasileiro

⁷ <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>;
https://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php

estabeleceu índices mínimos de eficiência energética, para determinados produtos e equipamentos, refletidos nos programas de etiquetagem e proibindo a comercialização de modelos com baixa eficiência energética⁸. Os índices mínimos de aparelhos de ar condicionado foram introduzidos no Brasil em 2007.

De acordo com Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), instituições e laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) realizam ensaios de determinação da capacidade de refrigeração e da eficiência energética em condicionadores de ar, que é coordenado e executado pelo Instituto e ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Dos ensaios realizados no laboratório resultam as informações sobre eficiência energética que constam na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) afixada aos produtos que atendem aos requisitos exigidos pelo Inmetro. Os produtos mais bem classificados, classe A, são elegíveis para receber o Selo Procel⁹.

Os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar passaram por duas revisões, em 2011 e 2018. O nível mínimo de eficiência energética exigido para os produtos do tipo split, passará de 2,60 W/W para 3,02 W/W. O anexo IV apresenta a Portaria que estabelece novos índices de eficiência energética para condicionadores de ar.

⁸ http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf

⁹ http://www.cepel.br/pt_br/sala-de-imprensa/noticias/cepel-avalia-novos-niveis-minimos-de-coeficiente-de-eficiencia-energetica-de-condicionadores-de-ar.htm

7. OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES

Devido ao processo de eliminação progressiva dos HCFCs, existe a necessidade de atender a população instalada de produtos, até o final de sua vida útil. Isso é mais evidente nos países do Artigo 5 devido ao fato dos sistemas serem mais frequentemente reparados para prolongar sua vida útil e dessa forma o equipamento existente tem um ciclo de vida mais longo. Por outro lado, a substituição de equipamentos com HCFC-22 existentes antes do final de sua vida útil apresenta problemas nesses países, devido à falta de recursos econômicos para a substituição do equipamento por um novo.

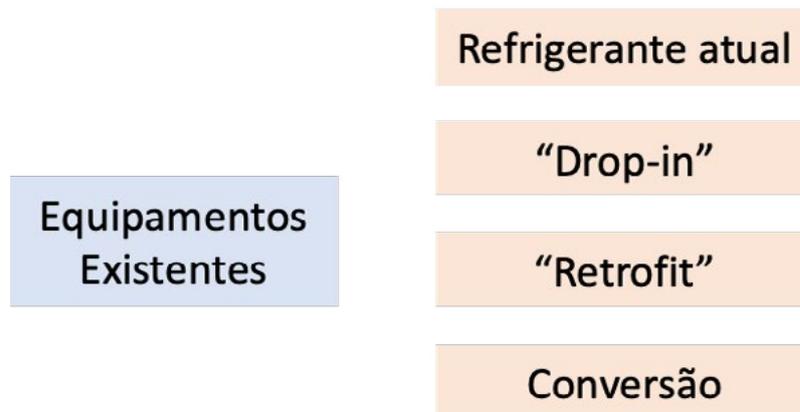
Consequentemente, as opções de substituição do HCFC-22 nos equipamentos existentes, juntamente com a conservação do refrigerante HCFC-22, por meio de contenção, recuperação, reciclagem e/ou regeneração, precisam ser consideradas e podem vir a desempenhar um papel relevante nos países Artigo 5.

Em países não-Artigo 5, devido aos custos mais altos de mão-de-obra associados ao reparo e devido aos benefícios apresentados por novos equipamentos com maior eficiência e menor custo operacional, a opção de substituição de equipamentos é geralmente mais atraente.

Ao fazer a manutenção de equipamentos de ar condicionado e refrigeração, as seguintes ações podem ser realizadas, considerando o manejo do refrigerante (ver FIGURA 7-1):

- Recuperação do refrigerante e reutilização do mesmo refrigerante;
- Troca do refrigerante por um refrigerante “drop-in”;
- Adaptação do equipamento – “retrofit” (troca de refrigerante e componentes do sistema);
- Conversão do equipamento para uso de refrigerante inflamável.

FIGURA 7-1 Opções considerando o manuseio de refrigerante, durante a manutenção do equipamento



É comum o uso do termo “drop-in” quando há apenas uma substituição de refrigerante. Certos autores preferem usar a denominação “apenas substituição de refrigerante”, pois não existem alternativas com propriedades termofísicas, de segurança e químicas idênticas às do HCFC-22 ou do refrigerante existente.

O retrofit e o uso das opções de refrigerante “drop-in” precisam ser consideradas se a disponibilidade de HCFC-22 e/ou os custos se tornarem proibitivos e não houver um sistema eficiente para reutilizar o refrigerante por meio de práticas de recuperação e regeneração. Dessa forma, os refrigerantes para substituição e “retrofit” podem ajudar a reduzir a demanda por HCFC-22.

Devido à Emenda Kigali, que reforçou o movimento para o uso de refrigerantes com baixo GWP, no caso de substituição e modernização de sistemas de HCFC-22, o GWP do novo também deve ser considerado, pois muitas misturas têm um GWP maior que HCFC-22.

Conforme apresentado em UNEP RTOC, 2018, há uma introdução quase contínua de novos refrigerantes de alto, médio e baixo GWP para uso em condicionadores de ar ar-ar e bombas de calor, mas poucos correspondem ou excedem o desempenho do HCFC-22.

Neste capítulo, são discutidas as opções que envolvem a troca do refrigerante HCFC-22.

7.1 Critérios para Seleção de Refrigerante Alternativo

Os refrigerantes alternativos ao HCFC-22 devem ter algumas características desejáveis. O sistema com novo refrigerante deve ter uma eficiência semelhante ou superior à apresentada pelo sistema com HCFC-22. O refrigerante alternativo deve ter uma boa característica de miscibilidade do óleo lubrificante. Ele deve ter zero PDO e GWP menor que o do HCFC-22. Deve estar disponível no mercado e o custo não deve ser muito alto. Deve ser preferencialmente não-tóxico e não inflamável. Deve ser compatível com todos os materiais utilizados no sistema de ar condicionado. A estabilidade de um refrigerante está

ligada à maneira como ele se comporta na presença de outras substâncias, particularmente dentro do sistema de refrigeração. É importante que o refrigerante não reaja ou atue como um solvente com qualquer um dos materiais do sistema. Isso inclui tubos e outros componentes, óleos de compressor e aditivos associados. Isso também deve ser considerado em relação às pequenas quantidades de contaminantes, como umidade e ar.

A Capacidade volumétrica de refrigeração deve ser semelhante na faixa das temperaturas normais de operação do evaporador e condensador. Não deve exceder a pressão de condensação na temperatura máxima do condensador. Deve ter o menor “glide” de temperatura possível.

Há vários outros parâmetros que precisam ser considerados. No entanto, em termos práticos, é improvável que agora qualquer um dos refrigerantes disponíveis no mercado atenda a todos os critérios acima; portanto, pode-se esperar algum comprometimento no processo de seleção.

7.1.1 Refrigerante “drop-in”

Quando se utiliza um refrigerante “drop-in”, o refrigerante HCFC-22 é substituído por um refrigerante alternativo, (“service refrigerant”), mas sem alterar os componentes do equipamento ou o lubrificante usado no equipamento original. Uma desvantagem dessa opção de substituição do HCFC-22 é que geralmente resulta em menor capacidade de refrigeração e/ou eficiência (COP) em comparação com o HCFC-22, devido às diferentes pressões operacionais, temperaturas e potência do compressor exigidas.

Atualmente, existem vários refrigerantes introduzidos para substituir o HCFC-22 em operações de reparo e manutenção. Eles geralmente combinam dois ou mais refrigerantes HFC com uma pequena quantidade de HC (ou certos refrigerantes HFC, como o HFC-227ea), que são adicionados à mistura para permitir que o refrigerante trabalhe com o alquilbenzeno à base de óleo mineral naftênico e alquilbenzeno, lubrificantes historicamente usados em quase todos os sistemas de ar condicionado e refrigeração com HCFC-22. Assim, esses refrigerantes tentam reproduzir o desempenho do HCFC-22. No entanto, eles raramente desempenham tão bem quanto o HCFC-22; apresentando menor capacidade, eficiência ou ambos.

Além dos impactos no desempenho e na eficiência, as misturas podem não ter o mesmo comportamento com relação ao retorno do óleo. Os HCs são adicionados para permitir o retorno do óleo, mas pode não ser tão eficaz e os problemas podem resultar em capacidades mais baixas. Alguns exemplos de misturas de reposição disponíveis comercialmente para o HCFC-22 incluem R-417A, R-417B, R-422A, R-422B, R-422C, R-422D, R-424A, R-425A, R-428A, R-434A, R-438A e R-442A. Fabricantes de compressores (Bitzer, 2018) realizam avaliações das opções de refrigerante e fornecem recomendações sobre as quais eles acreditam que são adequadas para uso, ou alertam explicitamente sobre problemas com o uso de certas alternativas.

7.1.2 Refrigerante para “retrofit”

O “retrofit” (reforma) de equipamento que utiliza HCFC-22 ocorre quando o refrigerante, HCFC-22, é substituído, e a substituição envolve não apenas a troca do refrigerante, mas também componentes

do sistema, como lubrificante, filtro secador (se necessário) e, em certos casos, modificações mais extensas que podem incluir a substituição do compressor, lubrificante, secador, dispositivo de expansão e purga e lavagem do sistema para remover todo o lubrificante residual do sistema.

Esta operação pode ser substancialmente mais cara do que o uso de refrigerante existente, utilização de um refrigerante “drop-in” sem alterações adicionais ou mesmo a substituição da unidade. Provavelmente não é rentável se o compressor ou os trocadores de calor tiverem que ser substituídos.

Várias misturas de HFC propostas para alternativas ao HCFC-22 em aparelhos de ar condicionado também são consideradas como refrigerantes de “retrofit” adequados para sistemas de HCFC-22; exemplos de tais misturas de HFC incluem R-407A, R-407B, R-407C, R-407D, R-407E, R-421A, R-421B e R-427A.

Embora muitas das misturas propostas raramente sejam usadas, o R-407C demonstrou ser um refrigerante de adaptação aceitável e teve uso generalizado em algumas regiões. Vários estudos relatando testes comparando HCFC-22 e refrigerantes alternativos (principalmente R-407C) foram resumidos em UNEP, 2015. Os resultados apresentam uma queda no COP e na capacidade de resfriamento da ordem de 5% a 10%.

A desvantagem do uso de misturas de deslizamento (“glide”) moderado a alto é a necessidade de remover e substituir toda a carga durante a manutenção para evitar uma mudança substancial na composição. Para misturas com “glide” moderado (<10 K), testes em laboratório e em campo indicam que equipamentos podem ser reparados sem a necessidade de substituir toda a carga de refrigerante, com um impacto mínimo no desempenho.

O fluido para “retrofit” pode ser escolhido considerando diversos aspectos, tais como:

- Eficiência semelhante;
- Mudanças nos componentes do sistema;
- Custo inicial;
- Potencial de aquecimento global;
- Capacidade de refrigeração;
- Temperatura de evaporação.

7.1.3 Conversão para fluidos inflamáveis

Na conversão para fluidos inflamáveis o refrigerante existente é substituído por outro sem necessariamente ter que considerar os componentes e o lubrificante do circuito de refrigeração, mas como o refrigerante substituído é inflamável, fontes potenciais de ignição, tem que ser controladas. No entanto, como esse é um processo complexo e pode levar a riscos imprevistos de segurança, normalmente não é recomendado. Novamente, essa mudança no refrigerante pode afetar a capacidade e/ou a eficiência, as pressões operacionais, as temperaturas, a lubrificação, etc., nos equipamentos HCFC.

Refrigerantes HC, como HC-290, HC-1270 e misturas, incluindo estes, bem como HC-170 e R-E170 (por exemplo, R-433A, R-433B, R-433C, R-441A e R-443A) estão sendo usados para substi-

tuição do HCFC-22 em algumas regiões, geralmente em pequenos sistemas (como unidades de ar condicionado de janela e unidades split). Alguns países estão incluindo essa abordagem em suas estratégias de eliminação progressiva do HCFC, enquanto a prática não é legal em outros países. Embora esses refrigerantes possam fornecer capacidade e eficiência próximos ao HCFC-22, essa prática pode criar um risco de segurança significativo devido à inflamabilidade desses refrigerantes. Em geral, os HCs não são recomendados para uso em sistemas que não foram projetados para o seu uso. Se a conversão para uso de refrigerantes HCs for considerada, os padrões e códigos de práticas de segurança aplicáveis devem ser rigorosamente seguidos. O Manual da GIZ para Segurança de Hidrocarbonetos (GIZ, 2012) é uma fonte de informações sobre a utilização desses refrigerantes.

Além dos HCs, existem também outras misturas com inflamabilidade da classe A3 como o R-E170 (éter dimetílico) e o HFC-152a. Estudos anteriores foram descritos em UNEP, 2015, que geralmente relatavam melhorias no desempenho de até 10%.

A atividade de conversão de equipamentos com HCFC-22 para refrigerantes inflamáveis não tem sido extensivamente realizada em países em desenvolvimento. É muito provável que os casos existentes tenham sido desenvolvidos considerando aspectos econômicos, devido ao custo das operações de recarga do HCFC-22 ou projetos de demonstrações de alternativas ambientalmente adequadas. Nos anos mais recentes, algumas empresas têm oferecido misturas de refrigerantes hidrocarbonetos como alternativa aos sistemas com HCFC-22 e “chillers” têm sido convertidos. Informa-se que há uma melhora na eficiência energética, mas não há dados organizados disponíveis sobre os resultados e o número de conversões realizadas.

A conversão de um equipamento para usar refrigerantes hidrocarboneto exige uma análise cuidadosa das implicações, avaliando-se os riscos e benefícios; e só deverá ocorrer se o produto final atender aos padrões de segurança e aos regulamentos nacionais.

7.2 Opções de Refrigerantes Sintéticos “drop-in e “retrofit”

Existem muitos refrigerantes alternativos desenvolvidos para a substituição do HCFC-22 pelos fabricantes de produtos químicos nos últimos anos. A seguir, são apresentadas as principais características dos refrigerantes para reposição e reequipamento disponíveis comercialmente.

7.2.1 R427A

Este refrigerante é oferecido para a adaptação de muitas aplicações do R-22, incluindo ar condicionado, bombas de calor e refrigeração de baixa e média temperatura. Alternativa oferecida para a conversão dos sistemas HCFC-22 existentes, sendo uma mistura de HFC com componentes básicos HFC-32/HFC-125/HFC-143a/HFC-134a. Apesar da composição da mistura baseada em refrigerantes HFC puros, o fabricante afirma que é possível um procedimento de conversão simplificado. Conseqüentemente, ao converter de HCFC-22 para HFC-427A, basta uma substituição da carga de óleo original por óleo de

éster e, em alguns casos, nenhuma troca de lubrificante é necessária. Sequências de lavagem adicionais não são necessárias, pois proporções de até 15% de óleo mineral e/ou alquilbenzeno não têm efeito significativo na circulação de óleo no sistema. O R-427A é aprovado por vários fabricantes de compressores.

De acordo com o(s) fabricante(s), o R-427A apresenta:

- Capacidade de refrigeração comparável ao R-22;
- Pressões quase idênticas às do R-22;
- Temperaturas de descarga mais baixas;
- Compatível com óleo mineral;
- Não é necessário substituir a válvula de expansão termostática.

7.2.2 R-407C

O R-407C não é um substituto “drop-in”, é um refrigerante de adaptação. De acordo com o (s) fabricante (s), é tão eficiente em termos de energia quanto o HCFC-22. O R-407C é um refrigerante à base de HFC (HFC-32/125/134a) que normalmente utiliza lubrificantes sintéticos. É necessária uma mudança no lubrificante POE ou a adição de algum POE ao sistema para o retorno adequado do óleo. O “glide” de temperatura é uma desvantagem para aplicações usuais que requerem um design de sistema apropriado e podem ter uma influência negativa na eficiência dos trocadores de calor.

Recentemente compressores HCFC-22 têm sido produzidos com óleos sintéticos, permitindo que os refrigerantes HFC puros, principalmente o R-407C, sejam usados como substitutos diretos.

Algumas características adicionais são:

- Requer no mínimo 20% de POE para sistemas de acoplamento fechado;
- A pressão é um pouco maior que o HCFC-22;
- A compatibilidade do material e as condições das vedações e juntas existentes devem ser levadas em consideração;
- É recomendável trocar os “o-rings”, vedantes e outros elastômeros usados no sistema;
- A válvula de expansão pode precisar de pequenos ajustes;
- A capacidade do R-407C é de 4% a 5% menor que o HCFC-22;
- Temperatura de descarga mais baixa que o HCFC-22.

7.2.3 R-422D

O R-422D é considerado um substituto “quase imediato”. As principais características são:

- Não requer troca de óleo ou válvula de expansão termostática na maioria das instalações;
- Apresenta menor capacidade e eficiência, mas temperaturas de descarga mais baixas;
- Pode ser usado com lubrificantes AB, MO, POE quando linhas de conexão curtas são usadas;
- Os projetos do sistema variam e a adição de POE pode ser necessária para garantir o retorno adequado do óleo;
- O fluxo mássico de 422D é maior que o do R-22;
- A avaliação do dispositivo de expansão é recomendada;
- A carga do R-422D é 4% - 5% menor que o HCFC-22.

7.2.4 R-438A

De acordo com o fabricante, o R-438A, um refrigerante HFC, foi projetado para substituir o HCFC-22 nos sistemas de ar condicionado residencial e comercial existentes e nos sistemas de refrigeração de temperatura média e baixa. Ele apresenta desempenho do sistema semelhante ao do HCFC-22. As principais características são:

- Em muitos casos, opera com o mesmo óleo mineral ou lubrificante alquilbenzeno;
- Pequenas modificações no equipamento (por exemplo, substituição da vedação) ou ajustes no dispositivo de expansão podem ser necessários em algumas aplicações;
- Capacidade de refrigeração e eficiência energética semelhantes às do HCFC -22 na maioria dos sistemas;
- Usa aproximadamente a mesma carga que o HCFC-22.

7.2.5 R-453A

O R-453A é à base de HFC e HC, é uma mistura de seis partes de HFC-125, HFC-32, HFC-134a, HFC-227ea, butano e isopentano (HFC-32/125/134a/227ea; HC-600/601a).

Butano e isopentano são hidrocarbonetos incorporados na mistura para melhorar o retorno do óleo ao compressor. De acordo com o fabricante, o R-453A é uma mistura de refrigerantes de substituição direta, “drop-in”, para HCFC-22. Ele pode ser usado para substituir o HCFC-22 em aplicações de ar condicionado e refrigeração nas faixas de temperatura em que o HCFC-22 é comumente utilizado. As principais características são:

- Compatível com lubrificantes tradicionais e sintéticos;
- Substituto imediato do HCFC-22 em sistemas que contêm um orifício fixo ou uma válvula de expansão;
- Compatível com todos os materiais comumente usados em sistemas de refrigeração previamente carregados com HCFC-22.

O R-453A é classificado como refrigerante A1, apesar de ser composto de hidrocarbonetos, devido ao fato de que a fração butano e isopentano é responsável por apenas 1,2% da mistura.

7.3 Opções para conversão para o Uso de Refrigerantes Inflamáveis Hidrocarbonetos

7.3.1 HC-290 (propano)

O HC-290 (propano) pode ser usado como refrigerante substituto. Sendo um composto orgânico (hidrocarboneto), não possui potencial de destruição de ozônio e um efeito de aquecimento global direto desprezível. Devido às suas excelentes propriedades termo físicas, a eficiência é boa na maioria das condições, inclusive em climas com temperaturas ambiente elevadas, além de ter baixas temperaturas de descarga. É o refrigerante HC usado com mais frequência em aplicações de ar condicionado/bomba

de calor. Os níveis de pressão e capacidade de refrigeração são semelhantes ao HCFC-22. Não há problemas específicos com materiais, incluindo cobre, de modo que os compressores semi-herméticos e herméticos podem ser utilizados. Os óleos minerais comuns dos sistemas HCFC podem ser usados como lubrificante em uma ampla gama de aplicações. Os ésteres de polioli (POE) e poli-alfa-olefinas (PAO) oferecem propriedades ainda mais favoráveis. (Bitzer, 2018).

Instalações de refrigeração com HC-290 estão em operação em todo o mundo há muitos anos, principalmente na área industrial - é um refrigerante “comprovado”. Enquanto isso, o HC-290 também é usado em sistemas compactos menores, com baixas cargas de refrigerante, como aparelhos de ar condicionado residenciais e bombas de calor. Além disso, uma tendência crescente pode ser observada em seu uso com sistemas de refrigeração comercial e chillers.

O propano é oferecido também como uma mistura com Isobutano (HC-600a) ou etano (HC-170), a fim de proporcionar um desempenho semelhante aos refrigerantes halocarbonados.

A desvantagem dos hidrocarbonetos é sua alta inflamabilidade, portanto eles são classificados como refrigerantes do “A3”. Com base nas quantidades de carga de refrigerante comumente usadas em sistemas comerciais, o design do sistema e a análise de risco devem estar de acordo com os regulamentos de proteção contra explosão.

7.3.2 Propileno (HC-1270)

O propileno (propeno) pode ser utilizado como substituto do HCFC-22 ou HFC. Devido à sua capacidade volumétrica de refrigeração mais alta e temperatura de ebulição mais baixa (em comparação com o HC-290), as aplicações em sistemas de temperatura média e baixa são de particular interesse. Por outro lado, níveis mais altos de pressão (> 20%) e temperaturas de descarga devem ser levados em consideração, restringindo assim a possível faixa de aplicação.

A compatibilidade com materiais é comparável ao propano, assim como lubrificantes adequados. O propileno também é facilmente inflamável e pertence ao grupo de segurança A3.

A experiência adquirida com o uso do propano pode ser amplamente aplicada ao propileno. No entanto, as dimensões dos componentes precisam ser alteradas devido à maior capacidade de refrigeração volumétrica. O deslocamento do compressor é correspondentemente menor, assim como os fluxos de volume de sucção e alta pressão. Devido à maior densidade de vapor, a vazão de massa é quase a mesma do HC-290. Como a densidade do líquido é quase idêntica, o mesmo se aplica ao volume de líquido em circulação.

Como no caso do HC-290, um trocador de calor interno entre as linhas de sucção e de líquido é vantajoso. No entanto, devido à temperatura mais alta do gás de descarga do HC-1270, são parcialmente necessárias restrições a altas taxas de pressão.

Devido às medidas especiais de segurança ao usar o HC-1270, a conversão de sistemas existentes é limitada a sistemas que podem ser modificados para atender às normas de segurança correspondentes com um esforço aceitável.

7.4 Resumo das Principais Propriedades de Refrigerantes Alternativos ao HCFC-22 para Equipamentos Existentes

A TABELA 7-1 apresenta informações básicas sobre as principais alternativas atuais de substituição de HCFC-22 em sistemas existentes.

TABELA 7-1 Propriedades de Refrigerantes Alternativos ao HCFC-22 para Equipamentos Existentes

	GWP*	"Glide"	Inflamável?	Óleo**	Carga ***	Temperatura de descarga***	Observações ***
HCFC-22	1760	0.0	Não (A1)	OM e POE	100,0 %	100,0 %	
Alternativas Sintéticas							
R-407C	1624	7.2	Não (A1)	POE	93,7 %	89,2 %	Alto "glide" e deve ter troca de óleo. Necessário limpeza ("flush") do sistema.
R-427A	1828	6.8	Não (A1)	POE	92,9 %	85,4 %	Desempenho mais próximo ao HCFC-22 com baixas temperaturas de descarga e menor GWP. Troca de óleo recomendada.
R-438A	2059	3.6	Não (A1)	OM** e POE	94,1 %	80,3 %	GWP mais alto, baixa temperatura de descarga, menor capacidade. O fabricante afirma que não é necessária nenhuma troca de óleo.
R-422D	2230	2.3	Não (A1)	OM** e POE	92,7%	74,7 %	GWP alto com COPs e capacidade mais baixos. O fabricante alega que não é necessária troca de óleo.
R-434A	3245	1.3	Não (A1)	MO** e POE	87,9%	74,9 %	GWP muito alto e COPs mais baixos e baixa capacidade.
Conversão para refrigerantes inflamáveis							
HC-290	3	Não	Sim (A3)	OM, POE, e óleos sintéticos ****	40%-50% *****	70% - 85% *****	Refrigerante inflamável. É necessário adotar precauções de segurança.

* IPCC AR5

** O óleo mineral é adequado apenas para algumas aplicações. Às vezes, as trocas de óleo são citadas como "não necessárias", mas é provável que sistemas bem mantidos tenham um desempenho melhor e com maior vida útil se o POE for usado.

*** Actrol-Refrigeration-Comparison-Chart.pdf. <https://www.actrol.com.au/site-assets/Actrol-Refrigeration-Comparison-Chart.pdf>. Avaliado em 27/01/2019

**** Os refrigerantes hidrocarbonetos são totalmente compatíveis com quase todos os lubrificantes comumente usados

***** Estimativas baseadas em pesquisa bibliográfica

8. RECOMENDAÇÕES

Como regra geral, se o sistema estiver funcionando corretamente (com bom desempenho, sem vazamentos), não há necessidade de substituição do refrigerante.

Com relação aos procedimentos de adaptação para o uso de refrigerantes não inflamáveis (como R-407C, R-427A, R-438A, R-422D, R-434A), os fabricantes desses refrigerantes e as empresas de manutenção de refrigeração e ar condicionado publicam diretrizes que descrevem os principais aspectos e etapas recomendados a serem seguidos no processo de adaptação para uso desses refrigerantes.

Uma mudança de refrigerante não inflamável para inflamável deve ser considerada como uma conversão completa do equipamento, exigindo alterações relacionadas à mitigação do risco de inflamabilidade.

A alternativa de conversão para refrigerantes hidrocarbonetos precisa avaliar as capacidades técnicas locais (treinamento / certificação relevante em HC, normas / códigos, acesso a ferramentas relevantes).

A conversão de sistemas deve ser realizada apenas por técnicos bem treinados, treinados com HCs, com equipamento adequado e correto, usando os métodos mais seguros e adequados, considerando que o risco é muito maior durante o serviço/manutenção do que durante a fabricação de unidades com refrigerantes inflamáveis.

Mesmo considerando que as normas de segurança de equipamentos (internacionais e / ou nacionais), relacionados ao uso de refrigerantes inflamáveis, como IEC 60335-2-40 e ISO 5149, não foram projetados para conversão de equipamentos e sim para a sua produção, essas normas precisam ser usadas como referência para o processo de conversão.

Para a conversão de sistemas para o uso de refrigerantes hidrocarbonetos inflamáveis, também existem informações importantes na literatura relacionadas ao uso seguro de refrigerantes inflamáveis, como apresentado em GIZ, 2012 e 2015.

Os regulamentos regionais e nacionais impulsionarão muitos desenvolvimentos que ocorrerão, e aspectos comerciais de disponibilidade, custos, eficiência energética, segurança e manutenção serão importantes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelaziz, O., Shrestha, S., Munk, J., Linkous, R., Goetzler, W., Guernsey, M., Kassuga, T. 2015. Alternative Refrigerant Evaluation for High-Ambient-Temperature Environments: R-22 and R-410A Alternatives for Mini-Split Air Conditioners. ORNL/TM-2015/536

Colbourne, D., Hühren, R., Rajadhyaksha, D., De Souza, L., Sahu, A., Refrigerant leakage control for R-290 in split type refrigeration and air conditioning systems. Proc. IIF-IIR, Compressors: 8th International Conference on Compressors and Coolants, Papiernicka, Slovaki, 2013.

Bitzer, Refrigerant Report 20, 2018

Colbourne, D., Suen, K. O., Appraising the Flammability Hazards of Hydrocarbon Refrigerants using Quantitative Risk Assessment Model. Part II: Model evaluation and analysis. Int. J. Refrig., Vol. 27, 784 – 793, 2004.

Colbourne, D., Suen, K. O., Comparative evaluation of risk of a split air conditioner and refrigerator using hydrocarbon refrigerants. Int. J. Refrig., Vol. 59, pp. 295-303, 2015.

Davis, L. W., Gertler, P. J., Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. PNAS, vol. 112, no. 19, pp. 5962 – 5967, 2015.

Gloël, J, Oppelt, D., Becker, C., Heubes, J., Market trends in selected refrigeration and air conditioning subsectors. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Germany, 2014.

GIZ, Guidelines for the safe use of flammable refrigerants in the production of room air-conditioners. A handbook for engineers, technicians, trainers and policy-makers, 2012

GIZ, Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos hidrocarbonetos - Um manual para engenheiros, técnicos, instrutores e formuladores de políticas, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de

Proteção da Camada de Ozônio, 2015. Disponível em: < <https://mma.gov.br/publicacoes/clima/category/110-protecao-da-camada-de-ozonio.html>>.

GIZ, Conversion of the production of split and window-type air conditioners to hydrocarbon technology. <https://www.giz.de/en/worldwide/16863.html>. Accessed May 18th, 2019.

GIZ, R290 Split Air Conditioners Resource Guide Version 1.0, 2019.

Hughes, J., Low GWP Refrigerants For Air Conditioning And VRF. Proc. JRAIA International Symposium, Kobe, Japan, 2016.

IEA, “The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning”. Available at: <https://webstore.iea.org/the-future-of-cooling>, 2018

IPCC, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2017

Jakobsen, A., Skiple, T., Neksa, P., Wachenfeldt, B. and Skaugen, G., Development of a reversible CO2 residential air conditioning system. Proc. IIF-IIR 22nd Int. Congr. Refrig., Beijing, China, 2007.

JRAIA, World Air Conditioner Demand by Region, 2018. https://www.jraia.or.jp/english/World_AC_Demand.pdf. Accessed November 18th, 2019.

Kuijpers, L., 2016. Dealing with HFCs under the Montreal Protocol while introducing low-GWP alternatives. 12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference. Edinburgh, UK.

Lee, J. S., Kim, M. S., Kim, M. S., Studies on the performance of a CO2 air conditioning system using an ejector as an expansion device. Int. J. Refrig., Vol. 38, pp. 140-152, 2014.

Li, X. Y., Progress on phasing-out of in China room air conditioner sector. Proc. CHEAA International Workshop on Alternative Technologies to HCFC-22 in Room Air-Conditioner Sector, Ningbo, China, 2018.

Li, T. X., Indoor leakage test for safety of R-290 split type room air conditioner. Int. J. Refrig., Vol 40, 380–389, 2014.

McLinden, M. O., Kazakov, A. F., Brown, J. S. & Domanski, P. A. ., Hitting the bounds of chemistry: Limits and tradeoffs for low-GWP refrigerants. 24th Int. Congress of Refrig. Yokohama, Japan, 2015

Nicholson and Booten, Mapping the Supply Chain for Room Air Conditioning Compressors” do Laboratório Nacional de Energia Renovável, 2019.

Okamoto, T., Furu sho, K., Iwata, I., Kumakura, E., Kaji, R. 2016. A study of high efficiency CO2 refrigerant VRF air conditioning system adopting multi-stage compression cycle. International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, 2016, USA.

Ota, R., Araki, K.. Properties of refrigerant/oil mixtures for low GWP refrigerants. Proc. Int. Symposium on Next Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, 2010

Peixoto R. A., Kuijpers L.J.M., Polonara F., Maidment G., Potential Impacts of the Montreal Protocol Kigali Amendment to the Choice of Refrigerant Alternatives, XVI Congresso Brasileiro de Refrigeração e Ar Condicionado, Conbrava, São Paulo, 2017

Pham, H. M., Monnier, K. 2016. Interim and Long-Term Low-GWP Refrigerant Solutions For Air Conditioning. Purdue International Refrigeration and Air Conditioning Conference, USA, 2016.

Shecco, Exclusive interview with representative from the Foreign Economic Cooperation (FECO) of the Ministry of Environmental Protection of China, www.shecco.com, 2018.

Shen, B., Abdelaziz, O., Shrestha, S., Elatar, A., Model-Based Optimizations of Packaged Rooftop Air Conditioners using Low Global Warming Potential Refrigerants. Int. J. Refrig., 2017.

Sethi, A., Yana Motta, S., Becerra, E. V., Spatz, M. W., Low GWP Refrigerants for Air Conditioning Applications. Proc. Int. Refrig. and Air Conditioning Conf. at Purdue, West Lafayette, IN, USA, 2014.

UNEP Teap, Decision XXIX/10 Task Force Report on Issues Related to Energy Efficiency while Phasing Down Hydrofluorocarbons, 2017

UNEP Teap, Decision XXX/5 Task Force Final Report on Cost and Availability of Low-Gwp Technologies/Equipment that Maintain/Enhance Energy Efficiency”, 2018.

UNEP, Decision XXVIII/4 Task Force Report Safety Standards for Flammable Low Global-Warming-Potential (GWP) Refrigerants. Report of the Technology and Economic Assessment Panel, 2017

UNEP. Assessment Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC), 2018. Available at: <http://ozone.unep.org/sites/ozone/files/documents/RTOC-Assessment-Report-2018.pdf>. Accessed 22 November 2019.

UNEP, Assessment Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, RTOC, 2015. Available at: <http://ozone.unep.org/sites/ozone/files/documents/RTOC-Assessment-Report-2014.pdf>. Accessed 22 November 2019.

Velders, G.J.M., Ravishankara A. R., Miller M. K., Molina M. Alcamo J., J., Daniel J. S., Fahey D. W., Montzka S. A., Reimann S., Preserving Montreal Protocol Climate Benefits by Limiting HFCs. Vol 335 Science. Retrieved at: www.sciencemag.org. Published by AAAS, 2012.

- Velders, G.J.M., Andersen S. O., Daniel J. D., Fahey D. W., McFarland M., The importance of the Montreal Protocol in protecting climate. *PNAS* 2007 104 (12) 4771-4772; doi:10.1073/iti.1207104
- Velders G. J. M., Solomon S., Daniel, J. S., 2014. Growth of climate change commitments from HFC banks and emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 4563–4572, 2007.
- Zhou, X. F., HCFC phase out progress report in RAC sector. Proc. Int. Techn. Conf. Alternative Technology to HCFC-22 in Room Air-conditioner Sector, China Household Electrical Equipment Association (CHEAA), Ningbo, China, 2014.
- Zou, Y., Sethi, A., Petersen, M., Pottker, G., Yana Motta, S. F., Low Environmental Impact Refrigerants for AC, Chiller and Refrigeration Applications. Proc. JRAIA International Symposium, Kobe, Japan, 2016.
- Zhang, W., Yang, Z., Li, J., Ren, C-X., Lv, D., Wang, J., Zhang, X., Wu, W., Research on the flammability hazards of an air conditioner using refrigerant R-290. *Int. J. Refrig.*, Vol. 36, Issue 5, 1483-1494, 2013.
- Wang, X., Amrane, K., Alternative Refrigerant Evaluation For High-Ambient Temperature Environments. Proc. JRAIA International Symposium, Kobe, Japan, 2016.

10. ANEXOS

10.1 ANEXO I - SITUAÇÃO ATUAL DOS REFRIGERANTES ALTERNATIVOS SENDO UTILIZADOS E PROPOSTOS PARA SUBSTITUIÇÕES DE HCFCs E HFCs DE ALTO GWP

Tabela I-1 Substâncias puras propostas para substituição de HCFCs e HFCs com alto GWP

Denominação do refrigerante	Proposto para a substituição de	Classe de segurança	Formula química	Massa molecular	Ponto de evaporação (°C)	ATEL/ODL (kg/m ³)	LFL (kg/m ³)	GWP
HFC-32	R-404A, R-410A*	A2L	CH ₂ F ₂	52,0	-52	0,30	0,307	675
HC-290	HCFC-22, R-404A, R-407C	A3	CH ₃ CH ₂ CH ₃	44,1	-42	0,09	0,038	
HC-600a	HFC-134a	A3	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃	58,1	-12	0,059	0,043	
R-717	HCFC-22, R-407C	B2L	NH ₃	17,0	-33	0,000	0,116	
R-744	R-404A, R-410A	A1	CO ₂	44,0	-78°	0,072	NF	1
HCFO-1233zd(E)	HCFC-123	A1	CF ₃ CH=CHCl	130,5	18,1	0	NF	1
HFO-1234yf	HFC-134a	A2L	CF ₃ CF=CH ₂	114,0	-29,4	0,47	0,289	<1
HFO-1234ze(E)	HFC-134a	A2L	CF ₃ CH=CHF	114,0	-19,0	0,28	0,303	<1
HC-1270	HCFC-22, R-407C	A3	CH ₃ CH=CH ₂	42,1	-48	0,001	0,046	
HFO-1336mzz (Z)	HCFC-123	A1	CF ₃ CH=CH-CF ₃	164,1	33,4	0	NF	2
HCC-1130(E)	HCFC-123	B2	CHCl=CHCl	96,9	47,7			<1

Tabela I-2 Refrigerantes constituídos por misturas propostos para substituição de HCFCs e HFCs de alto GWP

Denominação do refrigerante	Nome "fantasia" do refrigerante	Proposto para a substituição de	Classe de segurança	Composição (%)	Ponto de bolha / orvalho ou Ponto Normal de evaporação (°C)	GWP
	XP30	HCFC-123	B1	R-1336mzz(Z)/1130(E) (74,7/25,3)		1,7
—	ARM-41a	HFC-134a	A1	R-134a/1234yf/32 (63/31/6)		860
R-513A	XP10	HFC-134a	A1	R-1234yf/134a	156/ -29,2	570
—	N-13a	HFC-134a	A1	R134a/1234ze(E)/1234yf (42/40/18)		550
R-450A	N-13b	HFC-134a	A1	R-1234ze(E)/134a	-23,4/-22,8	550
R-515A	HDR-115	HFC-134a	A1	R-1234ze(E)/227ea (88/12)	-19,2	400
R-513B		HFC-134a	A1	R-1234yf/134a (58,5/41,5)	-29,9	540
—	D-4Y	HFC-134a	A1	R-1234yf/134a (60/40)		520
—	AC5X	HFC-134a	A1	R-1234ze(E)/134a/32 (53/40/7)		570
—	ARM-42a	HFC-134a	A2L	R-1234yf/152a/134a (82/11/7)		110
R-444A	AC5	HFC-134a	A2L	R-1234ze(E)/32/152a (83/12/5)	-34,3/-24,3	89
R-445A	AC6	HFC-134a	A2L	R-744/134a/1234ze(E) (6/9/85)	-50,3/-23,5	120
—	R290/R600a	HFC-134a	A3	R-600a/290 (60/40)		
R-456A		HFC-134a	A1	R-32/134a/1234ze(E) (6/45/49)	-31,1/ -25,7	630
R-407G		HFC-134a	A1	R-32/125/134a (2,5/2,5/95,0)	-29,1/ -27,2	1300
—	LTR4X	HCFC-22, R-407C	A1	R-1234ze(E)/32/125/134a (31/28/25/16)		1200
R-514A	XP30	HCFC-123	B1	R-1336mzz(Z)/1130(E) (74,7/25,3)	29,0/29,0	2
—	N-20	HCFC-22, R-407C	A1	R134a/1234ze(E)/1234yf/ 32/125 (31,5/30/13,5/12,5/12,5)		890
—	D52Y	HCFC-22, R-407C	A2L	R-1234yf/125/32 (60/25/15)		890
—	L-20	HCFC-22, R-407C	A2L	R-32/1234ze(E)/152a (45/35/20)		330
—	LTR6A	HCFC-22, R-407C	A2L	R-1234ze(E)/32/744 (63/30/7)		200
R-444B	L-20a	HCFC-22, R-407C	A2L	R-32/1234ze(E)/152a (41,5/48,5/10)	-44,6/-34,9	300
—	ARM-32a	HCFC-22, R-404A, R-407C	A1	R-125/32/134a/1234yf (30/25/25/20)		1400
R-442A		HCFC-22, R-404A, R-407C	A1	R32/125/134a/152a/22 7ea (31,0/31,0/30,0/3,0/5,0)	-46,5/ -39,9	1800
R-449B		HCFC-22, R-404A,	A1	R-32/125/1234yf/134a (25,2/24,3/23,2/27,3)	-46,1/-40,2	1300

Refrigerant Designation	Refrigerant development name		Proposed to replace	Safety Class	Composition (%)	Bubble point/ dew or Normal boiling point (°C)	GWP
R-458A	TdX	20	HCFC-22, R-404A R-507A	A1	R32/125/134a/227ea/236fa (20,5/4,0/61,4/13,5/0,6)	-39,8/ -32,4	1600
R-460A			HCFC-22, R-404A	A1	R-32/125/134a/1234ze(E) (12,0/52,0/14,0/22,0)	-44,6/-37,2	2100
R-460B	LTR4X		HCFC-22, R-404A	A1	R-32/125/134a/1234ze(E) (28,0/25,0/20,0/27,0)	-45,2/-37,1	1300
R-449A	DR-33	(XP4	R-404A	A1	R-32/125/1234yf/134a (24,3/24,7/25,3/25,7)	-46,0/-39,9	1300
—	N-40a		R-404A	A1	R-32/125/134a/1234ze(E)/1234yf (25/25/21/20/9)		1200
—	N-40b		R-404A	A1	R-1234yf/32/125/134a (30/25/25/20)		1200
R-452A	DR-34	(XP4	R-404A	A1	R-1234yf/32/125 (30/11/59)	-47,0/-43,2	1900
R-452C	ARM-35		R-404A	A1	R-32/125/1234yf (12,5/61,0/26,5)	-47,8/-44,4	2000
R-448A	N-40c		R-404A	A1	R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26,0/26,0/20,0/21,0/7,0)	-45,9/-39,8	1300
—	R32/R134a		R-404A	A2L	R-32/134a (50/50)		990
—	ARM-31a		R-404A	A2L	R-1234yf/32/134a (51/28/21)		460
—	L-40		R-404A	A2L	R-32/1234ze(E)/1234yf/152a (40/30/20/10)		290
R-454A	DR-7°		R-404A	A2L	R-1234yf/32 (65/35)	-48,4/-41,6	240
R-454C	DR-3		R-404A	A2L	R-1234yf/32 (78,5/21,	-45,8/-38,0	150
R-454A	D2Y-65		R-404A	A2L	R-1234yf/32 (65/35)	-48,4/-41,6	240
R-457A	ARM-20a		R-404A	A2L	R-32/1234yf/152a (18/70/12)		140
—	ARM-30a		R-404A	A2L	R-1234yf/32 (71/29)		200
R-455A	HDR-110		R-404A	A2L	R-32/1234yf/744 (21,5/75,5/3)	-51,6/-39,1	150
—	R32/R134a		R-410A	A2L	R-32/134a (95/5)		710
—	R32/R152a		R-410A	A2L	R-32/152a (95/5)		650
—	DR-5		R-410A	A2L	R-32/1234yf (72,5/27,		490
—	L-41a		R-410A	A2L	R-32/1234yf/1234ze(E) (73/15/12)		490
—	L-41b		R-410A	A2L	R-32/1234ze(E) (73/27)		490
—	ARM-70a		R-410A	A2L	R-32/1234yf/134a (50/40/10)		470
—	HPR1D		R-410A	A2L	R-32/1234ze(E)/744 (60/34/6)		410
—	D2Y-60		R-410A	A2L	R-1234yf/32 (60/40)		270
R-454B	DR-5A		R-410A	A2L	R-32/1234yf (68,9/31,	-50,9/-50,0	470
R-452B	DR-55 (XL55)		R-410A	A2L	R-32/1234yf/125 (67/26/7	-50,9/-50,0	680
R-446A	L-41-1		R-410A	A2L	R-32/1234ze(E)/600 (68,0/29,0/3,0)	-49,4/-44,0	460
R-447A	L-41-2		R-410A	A2L	R-32/125/1234ze(E) (68,0/3,5/28,5)	-49,3/-44,2	570
R-447B	L-41z		R-410A	A2L	R-32/125/1234ze(E) (68,0/8,0/24,0)	-50,3/-46,2	710

10.2 ANEXO II - DADOS DE FABRICANTES DE COMPRESSORES DA CHINA

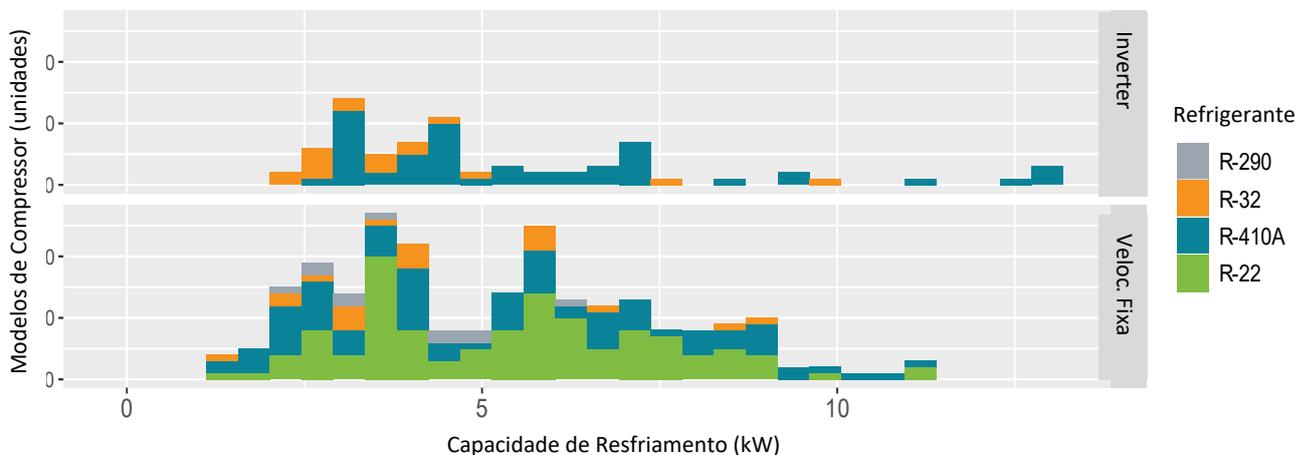
GMCC

A Guangdong Meizhi Compressor Co., Ltd. (GMCC) é uma subsidiária do Midea Group, um dos maiores produtores de aparelhos de ar condicionado do mundo. A GMCC também é o maior fabricante de compressores de ar condicionado do mundo.

Sediada na Zona Industrial Shungfengshan em Shunde, China, a GMCC opera quatro instalações, duas das quais especializadas na fabricação de compressores de ar condicionado. A empresa divulga ter uma capacidade de fabricação de compressores de ar-condicionado de 65 milhões de unidades por ano a partir de 2017.

A GMCC fabrica compressores de velocidade fixa e de velocidade variável, para os refrigerantes HCFC-22 (somente velocidade fixa), R-410A, R-290 e R-32. A figura II-1 apresenta dados sobre a produção de compressores da GMCC.

Figura II-1 Produção de compressores GMCC (Nicholson e Booten, 2019)

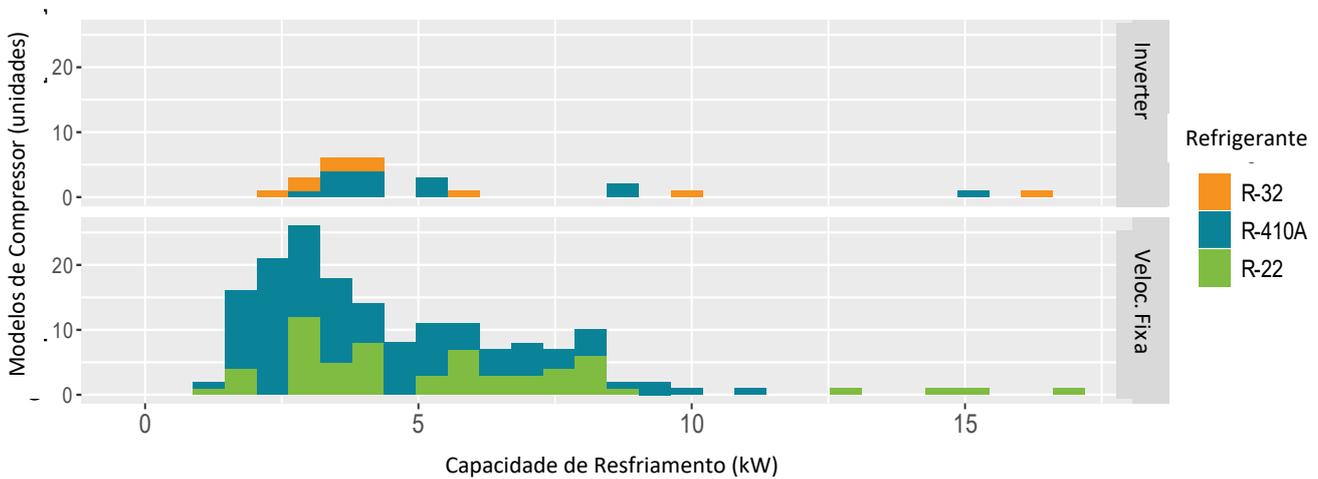


GREE

A Gree Electric Appliances Inc. possui fábricas para fornecer compressores por meio de sua subsidiária, Zhuhai Landa Compressor. A empresa reivindica uma capacidade anual total estimada de 50 milhões de compressores distribuídos em cinco fábricas chinesas. A maior base de produção da Gree, localizada em Zhuhai, tem uma capacidade estimada de 27 milhões de unidades por ano. Outras fábricas incluem as de Heifei (6 milhões), Zhengzhou (4,5 milhões), Wuhan (4,5 milhões) e Chongqing (4,5 milhões). A partir de 2013, duas das três linhas de produção da fábrica de Zhengzhou produziam compressores de velocidade variável e aproximadamente dois terços da capacidade da fábrica de Chongqing produz unidades de velocidade variável.

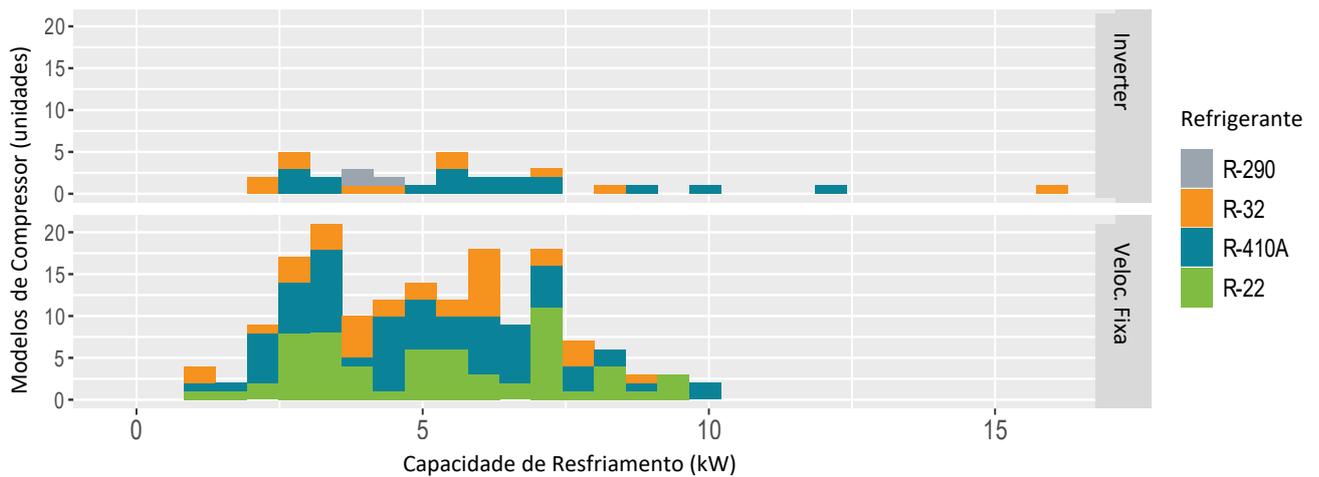
A Gree fabrica compressores de velocidade fixa e de velocidade variável, para os refrigerantes HCFC-22 (somente velocidade fixa), R-410A, R-290 e R-32. A figura II-2 apresenta dados sobre a produção de compressores da Gree. Como a produção de compressores para R-290 é muito pequena ela não aparece na figura.

Figura II-2 Produção de compressores Gree (Nicholson e Booten, 2019) Shanghai Highly Group Co., Ltd.



Fabrica compressores de ar condicionado por meio de sua subsidiária, Shanghai Hitachi Electrical Appliances Co., Ltd, que tem uma capacidade anual total estimada de 20 milhões de compressores rotativos distribuídos em três fábricas chinesas e uma na Índia.

Figura II-3 Produção de compressores Highly (Nicholson e Booten, 2019)



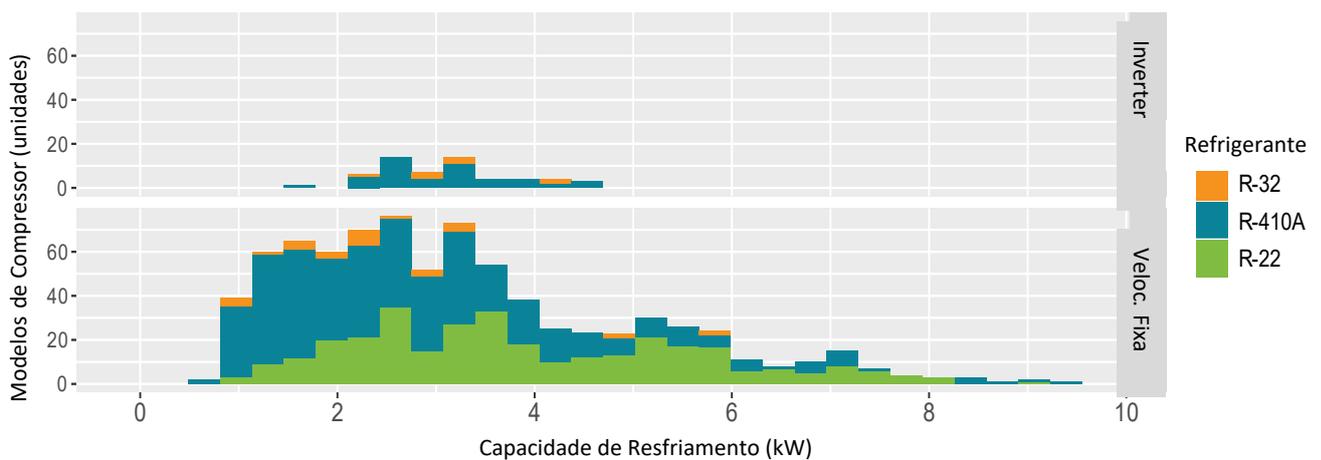
Produz atualmente compressores de velocidade fixa e de velocidade variável, com opções de refrigerante incluindo HCFC-22 (somente velocidade fixa), R-410A, R-290 e R-32. Os modelos de compressores inversores da Highly usam principalmente R-410A e R-32, embora alguns modelos de inversores R-290 estejam disponíveis. A maioria das ofertas de compressores da Highly é do tipo de velocidade fixa e, dentre elas, a maioria são unidades HCFC-22 ou R-410A. No entanto, a Highly também oferece vários tamanhos de modelo de compressor de velocidade fixa R-32 (Figura II-3).

RECHI

A Rechi Precision Co., Ltd. fabrica compressores rotativos em três fábricas na China, com capacidade total estimada em 21 milhões de unidades por ano. A maior fábrica, localizada em Qingdao, possui uma capacidade anual de 9 milhões de compressores por ano, com uma expansão planejada para 12 milhões de unidades por ano em 2019. As outras plantas da Rechi em Jiujiang e Huizhou têm capacidade anual de seis milhões de unidades cada.

A Rechi fabrica compressores de velocidade fixa e de velocidade variável, com opções de refrigerante incluindo HCFC-22 (somente velocidade fixa), R-410A e R-32 (Figura II-4).

Figura II-4 Produção de compressores Reichi (Nicholson e Booten, 2019)



Os modelos são organizados por tipo (velocidade fixa versus inversor), capacidade do compressor em quilowatts (kW) e por tipo de refrigerante (R-22, R-410A e R-32).

10.3 ANEXO III - CONSUMO DE ENERGIA EM EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO

O consumo de energia dos equipamentos RAC depende da quantidade de energia a ser removida, na forma de calor (Q_L), do meio refrigerado (ar, água, etc.), denominada “carga de resfriamento”, a diferença de temperatura entre o meio refrigerado e o meio para onde o calor (Q_H) será liberado (T_L , T_H) e a eficiência do sistema / equipamento RAC.

Para aplicações de bomba de calor (HP), o consumo de energia está relacionado à quantidade de energia a ser entregue ao meio de aquecimento (Q_H , carga de aquecimento), a diferença de temperatura entre a fonte de calor (Q_L) e o meio (ar, água, etc.) para onde o calor será liberado (T_L , T_H) e a eficiência do sistema / equipamento HP.

A Figura III-1 mostra os esquemas dos processos RAC e HP e consumo de energia. A energia elétrica (trabalho) é necessária para comprimir e mover o “refrigerante” na tecnologia dominante do ciclo de compressão de vapor.

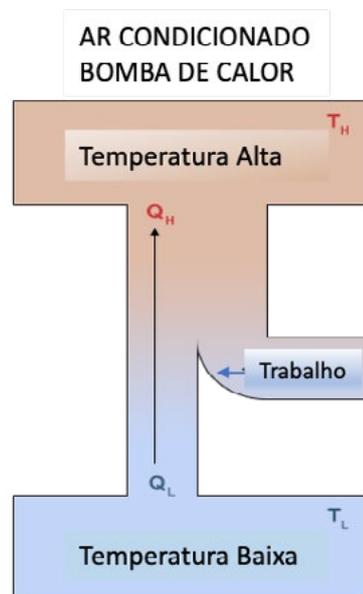


Figura III-1 Fluxos de energia em equipamentos de ar condicionado.

Source: <http://clients.junction-18.com/beep/ashp-02>

O consumo de energia dos equipamentos RACHP para uma determinada diferença de temperatura está diretamente relacionado à carga de aquecimento ou refrigeração que precisa ser fornecida e a eficiência energética do processo de conversão realizado pelos equipamentos e sistemas RAC. As cargas de resfriamento / aquecimento dependem de vários fatores; por exemplo, em sistemas de ar condicionado, características de construção, comportamento humano e temperatura ambiente. As únicas duas maneiras de reduzir o consumo de energia são reduzir a carga de resfriamento (ou aquecimento) e / ou melhorar a eficiência energética do equipamento. Tem havido um esforço crescente de P&D para melhorar a eficiência energética do equipamento RACHP por meio da melhoria de componentes (por exemplo, trocadores de calor, compressores, dispositivos de expansão) e sistemas de controle.

Melhorar o COP (como uma medida do desempenho energético dos equipamentos RACHP), tanto quanto possível economicamente, deve ser o objetivo. Mas quais são as limitações teóricas?

O COP que pode ser alcançado por equipamento RAC real tem um limite superior determinado pelo valor teórico, COP_{Carnot} , que é obtido por uma máquina ideal trabalhando com base no ciclo de Carnot.

O COP_{Carnot} depende apenas das temperaturas mínima e máxima de trabalho. Para equipamentos RAC que operam em um ciclo de compressão de vapor:

$$COP_{Carnot} = TEVAP / (TCOND - TEVAP)$$

Onde:

TEVAP é a temperatura de evaporação, que depende da “temperatura baixa” (TL) da Figura III-1.

TCOND é a temperatura de condensação, que depende da “temperatura alta” (TH) da Figura III-1.

As temperaturas são temperaturas absolutas, medidas em [kelvin].

O ciclo de Carnot ideal possui processos ideais e não possui perdas. Representa o limite do que é teoricamente possível. O COP real é sempre menor que o COP ou limite teórico. O desenvolvimento da tecnologia pode ajudar a aproximar-se do limite teórico, mas nunca o alcançará ou excederá. Quando o limite teórico está sendo alcançado, qualquer melhoria marginal só pode ser obtida com custos significativamente crescentes.

Como aproximação, o equipamento atual funciona em cerca de 50-60% do limite teórico. Nas próximas décadas, espera-se que a inovação tecnológica melhore o desempenho para aproximadamente 70-80% do limite teórico. Atualmente, ultrapassar 70-80% provou ser muito difícil de alcançar em equipamentos comerciais. Portanto, seria caro e sujeito à lei dos retornos decrescentes.

Os COPs reais também são influenciados pela operação de carga parcial e pelas condições de temperatura externa. Durante a carga parcial, os sistemas de modulação de capacidade podem afetar adversamente a eficiência energética. A baixa temperatura externa pode melhorar o desempenho. Com alta temperatura externa, com temperaturas de condensação mais altas, o COP máximo que pode ser alcançado é limitado. Por exemplo, em equipamentos de corrente alternada, a temperatura de evaporação,

TEVAP, deve ser mantida em um nível compatível com o resfriamento e a desumidificação do ar interno, enquanto a temperatura de condensação, TCOND, deve ser mantida em um nível compatível com a “temperatura alta” conforme Figura III-1. Supondo que o ar externo seja usado como dissipador de calor para o ciclo de compressão de vapor, a temperatura de condensação TCOND é geralmente mantida 5-10°C mais alta que a temperatura externa (TOUT).

Tabela III-1. Tendência de variação do COP

T _{OUT} [°C]	T _{COND} [°C]	T _{EVAP} [°C]	Teórico COP _{Carnot}	“Melhor Atual” COP	“Melhor Previsto” COP
30	35	10	11.3	≈6	≈8
35	40	10	9.4	≈5	≈7
40	45	10	8.0	≈4.5	≈6
45	50	10	7.1	≈4	≈5

A tabela III-1 mostra a tendência nos COPs para alguns exemplos típicos de aplicação de AC. O melhor equipamento AC atual está operando em cerca de 50-60% do COP máxima teórica. Espera-se que uma melhoria adicional de aproximadamente 30% na COP seja economicamente viável (“Melhor COP antecipada”) por meio de outras melhorias no design.

Um parâmetro importante que influencia o COP é a maneira como o equipamento AC é usado e controlado. A eficiência energética é reduzida se a temperatura ambiente for muito baixa, ou seja, bem abaixo do limite de conforto. A introdução progressiva de estratégias modernas de controle também pode ajudar a reduzir as perdas de energia, otimizando a operação do equipamento.

Atualmente, o aumento de eficiência energética está relacionado apenas a melhorias na tecnologia de compressão de vapor, ao invés da introdução de novas tecnologias (como Not in Kind). Somente a tecnologia de refrigeração magnética para geladeiras domésticas parece ter o potencial de substituir a tecnologia de compressão de vapor nas próximas décadas. Esse potencial ainda está para ser demonstrado e, no momento, é improvável que as melhorias obtidas com qualquer nova tecnologia excedam os valores do COP mostrados na Tabela III-1.

10.4 ANEXO IV - PORTARIA INTERMINISTERIAL MME/MDIC/MCTIC Nº 2, DE 31.07.2018

OS MINISTROS DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA, DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS E DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES, no uso da atribuição que lhes confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição, tendo em vista o disposto na Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, no Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001, no art. 2º do Decreto no 4.508, de 11 de dezembro de 2002, o que consta nos Processos no 48360.000626/2017-18 e no 999118.000002/2018-97, e considerando que:

O art. 2º da Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, dispõe que o Poder Executivo Federal estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia, fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes;

Compete ao Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, instituído pelo Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001, elaborar Regulamentação Específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, bem como estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;

Foram recebidas as contribuições da sociedade com respeito ao Programa de Metas Para Condicionadores de Ar, por meio de Consulta Pública Eletrônica, Audiência Pública presencial e Consulta Pública Internacional à Organização Mundial do Comércio - OMC; e

A Regulamentação Específica de Condicionadores de Ar, bem como os níveis mínimos de eficiência energética estão contemplados na Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC no 364, de 24 de dezembro de 2007, complementada pela Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC no 323, de 26 de maio de 2011, resolvem:

Art. 1º Aprovar o Programa de Metas para Condicionadores de Ar na forma constante do Anexo à presente Portaria.

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

W. MOREIRA FRANCO MARCOS JORGE DE LIMA GILBERTO KASSAB

Publicada no D.O.U. de 02.08.2018, Seção I, Pág. 62.

ANEXO

PROGRAMA DE METAS PARA CONDICIONADORES DE AR

Art. 1º Este Programa de Metas complementa a Regulamentação Específica de Condicionadores de Ar, atendendo ao disposto no art. 2º, § 2º, da Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001.

Art. 2º Os equipamentos de que trata a presente Regulamentação, mencionados na Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC no 364, de 24 de dezembro de 2007, são Condicionadores de Ar Monobloco, de janela ou parede, de corpo único ou tipo Split System Hi-Wall, Piso-Teto e Cassete, de uma única unidade evaporadora para uma única unidade condensadora, de fabricação nacional ou importados, para comercialização e uso no Brasil.

§ 1º Os equipamentos indicados no caput são destinados à operação em corrente alternada de 60 Hz e tensões nominais de 127 V ou 220 V, ou faixas de tensão que englobem as mesmas.

§ 2º Condicionadores de Ar com condensadores refrigerados a água não são objeto desta Regulamentação.

§ 3º Os Condicionadores de Ar que incluem, além da refrigeração, a capacidade de aquecimento do ambiente são objeto desta Regulamentação.

Art. 3º Ficam estabelecidos, de acordo com o disposto nas Tabelas 1 e 2, os níveis mínimos de eficiência energética dos Condicionadores de Ar, caracterizados nos termos do art. 2º desta Portaria Interministerial.

TABELA 1 - NÍVEIS MÍNIMOS DO COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (W/W) PARA CONDICIONADORES DE AR TIPO JANELA

TABELA 2 - NÍVEL MÍNIMO DO COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (W/W) PARA CONDICIONADORES DE AR TIPO SPLIT

Art. 4º As datas limites para fabricação no País ou importação e comercialização dos Condicionadores de Ar objeto deste Programa de Metas, que não atendam ao disposto nas Tabelas 1 e 2 do art. 3º, estão definidas na Tabela 3.

TABELA 3 - DATAS LIMITE PARA FABRICAÇÃO, IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

Art. 5º O mecanismo de avaliação da conformidade dos níveis mínimos de eficiência energética dos Condicionadores de Ar de que trata este Programa de Metas é aquele utilizado para a etiquetagem realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE.

Art. 6º Até as datas estabelecidas no art. 4º, os referidos Equipamentos ficam sujeitos aos níveis mínimos de eficiência energética estabelecidos pela Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC no 323, de 26 de maio de 2011.

Art. 7º O Inmetro realizará a reclassificação das Faixas de Eficiência Energética do PBE e publicará as novas Faixas de Classificação do PBE para os Condicionadores de Ar até o dia 31 de dezembro de 2018.

Art. 8º Os fabricantes, importadores ou associações que os representem deverão informar ao Ministério de Minas e Energia e ao Inmetro, até 31 de março de cada ano, as quantidades relativas à produção e à comercialização dos equipamentos discriminados por Faixa de Classificação do PBE referentes ao ano anterior.

Parágrafo único. As informações disponibilizadas pelos fabricantes ou importadores serão utilizadas exclusivamente no planejamento e execução de ações do Governo Federal, sendo assegurados o sigilo e a confidencialidade dos dados fornecidos de forma desagregada por fabricante ou importador.

Art. 9º Novos níveis mínimos de eficiência energética serão estabelecidos, para entrada em vigor a cada quatro anos, para os mencionados Condicionadores de Ar, conforme art. 6º da Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC no 323, de 2011.

Parágrafo único. Quando da realização da Consulta Pública para o estabelecimento de novos níveis mínimos de eficiência energética, deverá ser disponibilizado juntamente com a minuta da Portaria Interministerial proposta, um estudo de impacto regulatório, a ser elaborado mediante o cumprimento do disposto no art. 8º por parte de todos os fabricantes e importadores ou associações que os representem.

Art. 10. O Inmetro será o responsável pela fiscalização, acompanhamento e avaliação do cumprimento do disposto neste Programa de Metas, cabendo-lhe levar ao conhecimento do CGIEE as não conformidades verificadas.

Art. 11. O CGIEE será o responsável por promover as deliberações competentes sobre ações governamentais de suporte à implementação deste Programa de Metas, cabendo ao Comitê Técnico de Condicionadores de Ar propor ações complementares no sentido de assegurar o seu cumprimento.

[http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/Portaria Interministerial MME MDIC MCTIC n 2 de 31072018.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/Portaria_Interministerial_MME_MDIC_MCTIC_n_2_de_31072018.html)



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL