



COMUNICAÇÃO NACIONAL DO
BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO
DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE
MUDANÇA DO CLIMA

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



PROJETO BRA/16/G31

**QUARTA COMUNICAÇÃO NACIONAL E RELATÓRIOS DE ATUALIZAÇÃO
BIENAL DO BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS
SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**

**QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES
ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIO DE REFERÊNCIA

**SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS
SUBSETOR GASES SUBSTITUTOS PARA AS SUBSTÂNCIAS
DESTRUIDORAS DA CAMADA DE OZÔNIO (ODS)**

Setembro de 2020

QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

SUBSETOR GASES SUBSTITUTOS PARA AS SUBSTÂNCIAS DESTRUIDORAS DA CAMADA DE OZÔNIO (ODS)

Coordenadora Técnica da Quarta Comunicação Nacional
Danielly Godiva Santana Molleta (PNUD/MCTI)

Supervisor do Quarto Inventário Nacional
Mauro Meirelles de Oliveira Santos (PNUD/MCTI)

Analista Técnica do Quarto Inventário Nacional
Mayra Braga Rocha (PNUD/MCTI)

Coordenador Técnico-Científico do Quarto Inventário Nacional pela Rede Clima
Eduardo Delgado Assad (Embrapa)

Autor
Roberto de Aguiar Peixoto (Consultor)

Aviso

Este documento compreende atualizações das estimativas de emissões com base na aplicação das diretrizes metodológicas de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC no acrônimo em inglês) que servirão de subsídios para elaboração futura do capítulo do “Inventário Nacional de Emissões Antrópicas e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”, parte integrante da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima. Neste trabalho, foram consideradas, na medida do possível, informações oficiais públicas para o período de 1990 a 2016.

Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e outros órgãos governamentais eximem-se da responsabilidade de implementar quaisquer dos resultados, interpretações, recomendações, estimativas ou conclusões contidas neste estudo.

Sumário

	Página
Sumário Executivo _____	13
1 Introdução _____	20
2 Metodologia _____	35
2.1 Indústria eletrônica _____	35
2.2 Fabricação e uso de outros produtos - equipamentos elétricos _____	37
2.3 Refrigeração e ar-condicionado _____	37
2.3.1 Equipamentos de refrigeração doméstica e comercial _____	39
2.3.2 Congeladores (<i>freezers</i>) comerciais _____	40
2.3.3 Vitrinas e câmaras frigoríficas _____	40
2.3.4 Unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros _____	40
2.3.5 Ar-condicionado <i>Split</i> _____	40
2.3.6 Ar-condicionado central (VRF) _____	42
2.3.7 <i>Chillers</i> _____	42
2.3.8 Ar-condicionado de automóveis e veículos comerciais leves _____	42
2.3.9 Ar-condicionado de ônibus _____	45
2.3.10 Caminhões _____	45
2.4 Produção de HCFC-22 _____	47
2.5 Espumas _____	48
2.6 Solventes _____	48
2.7 Aerossóis _____	48
2.8 Extintores de incêndio _____	49
3 Dados _____	50
3.1 Setor Eletroeletrônico _____	50
3.1.1 Dados de atividade _____	50
3.1.2 Fatores de emissão _____	51
3.2 Refrigeração e ar-condicionado _____	52
3.2.1 Dados de atividade _____	52
3.2.2 Fatores de emissão _____	62
3.3 Produção de HCFC-22 _____	62
3.4 Espumas _____	63

3.5	<i>Aerossóis</i>	63
3.6	<i>Extintores de incêndio</i>	64
4	Resultados	65
4.1	<i>Setor de Eletroeletrônico</i>	65
4.2	<i>Setor de Refrigeração e Ar-Condicionado</i>	68
4.2.1	Emissões da refrigeração doméstica	68
4.2.2	Congelador comercial	69
4.2.3	Vitrinas e câmaras frigoríficas	70
4.2.4	Resfriamento de águas, sucos e bebedouros	71
4.2.5	Ar-condicionado Split	72
4.2.6	Ar-condicionado central (VRF)	73
4.2.7	<i>Chillers</i>	74
4.2.8	Ar-condicionado veicular	75
4.3	<i>Produção de HCFC-22</i>	81
4.4	<i>Espumas</i>	82
4.5	<i>Aerossóis (MDIs)</i>	84
4.6	<i>Extintor de incêndios</i>	85
4.7	<i>Emissões potenciais de HFC-152a</i>	86
5	Diferenças em relação ao Terceiro Inventário	87
5.1	<i>Equipamentos elétricos</i>	87
5.2	<i>Setor de Refrigeração e Ar-Condicionado</i>	87
6	Referências Bibliográficas	89
6.1	<i>Sites consultados e outras referências</i>	91
6.2	<i>Contatos pessoais com instituições/empresas:</i>	94
Anexo I - Códigos NCM para as substâncias analisadas		95
Anexo II - Dados de importação e exportação totais para o SF₆		96
Anexo III - Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal		97

Lista de Figuras

Figura 1. Participação dos gases em CO ₂ eq em 2016	14
Figura 2. Emissões de HFC-134a por aplicação	15
Figura 3. Emissões de HFC-125 por aplicação	16
Figura 4. Emissões de HFC-143a por aplicação	17
Figura 5. Emissões de HFC-32 por aplicação	18
Figura 6. Emissões de SF ₆ de equipamentos elétricos (kg)	19
Figura 7. Ciclo dos gases refrigerantes.....	22
Figura 8. Progressão linear para a porcentagem de ar-condicionado Split produzida com R-410A	41
Figura 9. Progressão estimada para a quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado.	45
Figura 10. Progressão linear estimada para a quantidade de caminhões produzidos com ar-condicionado	47
Figura 11. Emissões totais de HFC-23	65
Figura 12. Emissões totais de CF ₄	66
Figura 13. Emissões totais de SF ₆	67
Figura 14. Emissões de HFC-134a na refrigeração doméstica (kg)	68
Figura 15. Emissões de HFC-134a e R-404A em congelador comercial (kg)	69
Figura 16. Emissões de HFC-134a em vitrinas e câmaras frigoríficas (kg)	70
Figura 17. Emissões de HFC-134a em unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros (kg)	71
Figura 18. Emissões de R-410A em ar-condicionado Split (kg).....	72
Figura 19. Emissões de R-410A em ar-condicionado central (VRF) (kg)	73
Figura 20. Emissões de HFC-134a em chillers (kg).....	74
Figura 21. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de automóveis (kg).....	75
Figura 22. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de comerciais leves (kg).....	76
Figura 23. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus urbanos (kg).....	77
Figura 24. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus rodoviários (kg).....	78
Figura 25. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em caminhões (kg)	79
Figura 26. Emissões de HFC-134a e R-404A em caminhões frigoríficos (kg)	80
Figura 27. Emissões de HFC-23 pela produção de HCFC-22 (t).....	81
Figura 28. Emissões de HFC-134a na produção de espumas.....	82
Figura 29. Emissões de HFC-365mfc/227ea na produção de espumas	83
Figura 30. Emissões totais de HFC-365mfc e de HFC-227ea na produção de espumas	83
Figura 31. Emissões de HFC-134a em MDIs.....	84
Figura 32. Emissões de HFC-227ea em sistemas de extinção de incêndios.....	85
Figura 33. Emissões potenciais de HFC-152a	86

Figura 34. *Cálculos de linha-base e de redução gradual da Emenda de Kigali para as Partes. N-A5 (a) e as Partes A5 (b) (UNEP, 2016)..... 100*

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1. Emissões dos gases fluorados no Brasil, de 1990 a 2016.....</i>	14
<i>Tabela 2. Emissões de HFC-134a por aplicação</i>	15
<i>Tabela 3. Emissões de HFC-125 por aplicação.....</i>	16
<i>Tabela 4. Emissões de HFC-143a por aplicação</i>	17
<i>Tabela 5. Emissões de HFC-32 por aplicação</i>	18
<i>Tabela 6. Emissões de SF₆ do setor de Processos Industriais do subsetor de Fabricação e Uso de Outros Produtos</i>	19
<i>Tabela 7. Principais aplicações para HFCs e PFCs substitutos de ODS.....</i>	21
<i>Tabela 8. Fluidos refrigerantes utilizados em cada tipo de equipamento.....</i>	29
<i>Tabela 9. Percentuais considerados de HFCs na produção de equipamentos, na fase de substituição dos CFCs</i>	39
<i>Tabela 10. Proporção de HFC-134a ou HC-600a na fabricação de refrigeradores domésticos</i>	39
<i>Tabela 11. Porcentagem de ar-condicionado Split produzida com R-410A</i>	41
<i>Tabela 12. Tipos de veículo que ingressam no mercado.....</i>	43
<i>Tabela 13. Carga de HFC-134a para cada tipo de veículo em gramas.....</i>	43
<i>Tabela 14. Quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado de acordo com o Terceiro Inventário.....</i>	43
<i>Tabela 15. Dados adicionais obtidos sobre a quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado</i>	44
<i>Tabela 16. Percentuais calculados para a participação de veículos produzidos com ar-condicionado</i>	44
<i>Tabela 17. Dados obtidos para a quantidade de caminhões produzidos com ar-condicionado ...</i>	46
<i>Tabela 18. Percentuais usados para caminhões produzidos com ar-condicionado.....</i>	47
<i>Tabela 19. Porcentagem de HFC-23 utilizado para o cálculo das emissões.....</i>	50
<i>Tabela 20. Resumo dos dados de atividade utilizados no cálculo de emissões do setor de eletrônicos</i>	51
<i>Tabela 21. Dados de atividade utilizados no cálculo de emissões do setor de eletrônicos - HFC-23</i>	51
<i>Tabela 22. Fatores de emissão para o subsetor de Produtos Eletrônicos</i>	51
<i>Tabela 23. Resumo dos dados de atividade de refrigeradores domésticos</i>	52
<i>Tabela 24. Dados de atividade de refrigeradores domésticos</i>	53
<i>Tabela 25. Resumo dos dados de atividade de freezer (congelador) comercial</i>	53
<i>Tabela 26. Dados de atividade de freezer (congelador) comercial</i>	53
<i>Tabela 27. Resumo dos dados de atividade de vitrinas e câmaras frigoríficas</i>	54
<i>Tabela 28. Dados de atividade de vitrinas e câmaras frigoríficas</i>	54
<i>Tabela 29. Resumo dos dados de atividade de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros</i>	54

<i>Tabela 30. Dados de atividade de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 31. Resumo dos dados de atividade de ar-condicionado Split</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 32. Dados de atividade de ar-condicionado Split</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 33. Dados de atividade de ar-condicionado Split</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 34. Resumo dos dados de atividade de ar-condicionado central (VRF).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 35. Dados de atividade de ar-condicionado central (VRF).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 36. Resumo dos dados de atividade de chillers.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 37. Dados de atividade de chillers.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 38. Dados de atividade de ar-condicionado veicular</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 39. Resumo dos dados de atividade de automóveis</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 40. Dados de atividade de automóveis.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 41. Resumo dos dados de atividade de veículos comerciais leves.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 42. Dados de atividade de veículos comerciais leves</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 43. Resumo dos dados de atividade de ônibus</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 44. Dados de atividade de ônibus.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 45. Resumo dos dados de atividade de caminhões</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 46. Dados de atividade de caminhões</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 47. Fatores de emissão para fabricação e manuseio (uso)</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 48. Produção de HCFC-22 no Brasil, de 1990 a 1999</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 49. Porcentagem de HFC-365mfc/227ea no Brasil.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 50. Quantidades de HFC-365mfc/227ea no NCM por ano.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 51. Porcentagem de HFC-134a usada em MDIs</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 52. Porcentagem de HFC-227ea no Brasil (kg)</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 53. Quantidades de HFC-227ea no NCM por ano (kg)</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 54. Emissões totais de HFC-23.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 55. Emissões totais de CF₄.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 56. Emissões totais de SF₆.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 57. Emissões de HFC-134a na refrigeração doméstica</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 58. Emissões de HFC-134a e R-404A em congeladores comerciais</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 59. Emissões de HFC-134a em vitrinas e câmaras frigoríficas</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 60. Emissões de HFC-134a em unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros..</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 61. Emissões de R-410A em ar-condicionado Split.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 62. Emissões de R-410A em ar-condicionado central (VRF)</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 63. Emissões de HFC-134a em chillers</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 64. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de automóveis.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 65. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de comerciais leves.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 66. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus urbanos.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 67. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus rodoviários.....</i>	<i>78</i>

Tabela 68. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em caminhões	79
Tabela 69. Emissões de HFC-134a e R-404A em caminhões frigoríficos	80
Tabela 70. Emissões de HFC-23 pela produção de HCFC-22, no Brasil, de 1990 a 2016	81
Tabela 71. Emissões de HFC-134a na produção de espumas	82
Tabela 72. Emissões de HFC-365mfc/227ea na produção de espumas.....	83
Tabela 73. Emissões de HFC-134a em MDIs.....	84
Tabela 74. Emissões de HFC-227ea em sistemas de extinção de incêndios.....	85
Tabela 75. Emissões de HFC-152a.....	86
Tabela 76. Anexo F do Protocolo de Montreal	98

Siglas

Abrava - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento

C_2F_6 - difluoroacetileno

C_3F_8 - perfluoropropano (PFC-218)

C_4F_6 - hexafluoro-2-butino

C_5F_8 - perfluorociclopentano

c-C₄F₈ - perfluorociclobutano

c-C₄F₈O - perfluorotetra-hidrofurano

CF_4 - tetrafluorometano (PFC-14)

CFC - clorofluorcarboneto

CFs - compostos fluorados

CHF_3 - trifluorometano (HFC-23)

CVD - *chemical vapour deposition* (deposição química em fase vapor)

Eletros - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos

FPD - *flat-panel display* (tela plana)

GEE - gases de efeito estufa

GWP - *global warming potential* (potencial de aquecimento global)

HC - hidrocarboneto

HFC - hidrofluorcarboneto

HFO - hidrofluorolefina

HTF - *heat transfer fluid* (fluido de transferência de calor)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MDI - metered-dose inhaler (nebulímetro)

NCM - Nomenclatura Comum do Mercosul

NF_3 - trifluoredo de nitrogênio

ODS - *ozone depleting substances* (substâncias destruidoras de ozônio)

ODP - *ozone depletion potential* (potencial de destruição do ozônio)

PFC - perfluorocarbonos

PV - painéis fotovoltaicos (*photovoltaic panels*)

RACHP - refrigeração, ar-condicionado e bombas de calor

SDO - substâncias destruidoras de ozônio

SF₆ - hexafluoreto de enxofre

Sindratar - Sindicato da Indústria de Refrigeração, Aquecimento e Tratamento de Ar do Estado da Bahia

TFT - *thin film transistor* (transistor de filme fino)

TR - tonelada de refrigeração

VRF - *variable refrigerant flow* (vazão de refrigerante variável)

Sumário Executivo

Neste relatório são apresentados o diagnóstico e os estudos referentes à estimativa de emissões de GEE no setor de Produção e Consumo de HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃ para o período de 1990 a 2016.

Os HFCs foram introduzidos como alternativas às substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO, ODS em inglês, como será usado neste relatório) e são usados principalmente como fluidos refrigerantes puros e misturas nas várias aplicações do setor de Refrigeração e Ar-Condicionado. No Brasil, além desses usos, o HFC-134a também é utilizado como propelente em inaladores para asma (MDIs na sigla em inglês) e os HFCs 227ea e 365mfc, que apresentam um pequeno uso como agente expansor na produção de espumas e o HFC-227a é utilizado em extintores de incêndio. No passado, houve emissões de HFC-23 como subproduto da produção de HCFC-22. As emissões de HFCs no setor de Refrigeração e Ar-Condicionado foram estimadas utilizando o método *Tier 2a* IPCC 2006.

O HFC-134a é o fluido refrigerante HFC puro mais utilizado no setor de Refrigeração e Ar-Condicionado. Outros refrigerantes, constituídos por misturas de HFCs (HFC-134a, HFC-143a, HFC-125, HFC-32), tais como R-404A, R-410A, R-407C e outros, são também utilizados em menor proporção.

As estimativas para as aplicações de refrigeração e ar-condicionado foram realizadas a partir de informações anuais de produção, importação e exportação de equipamentos para o setor de Refrigeração e Ar-Condicionado, assim como do consumo (importação) de substâncias para os outros setores envolvidos.

As emissões devido ao uso em inaladores, na produção de espumas e sistemas de extinção de incêndios, utilizaram procedimentos desenvolvidos de acordo com os dados de atividade obtidos. Foram realizadas as estimativas das emissões de SF₆ no setor elétrico usando o método *Tier 1* do IPCC 2006.

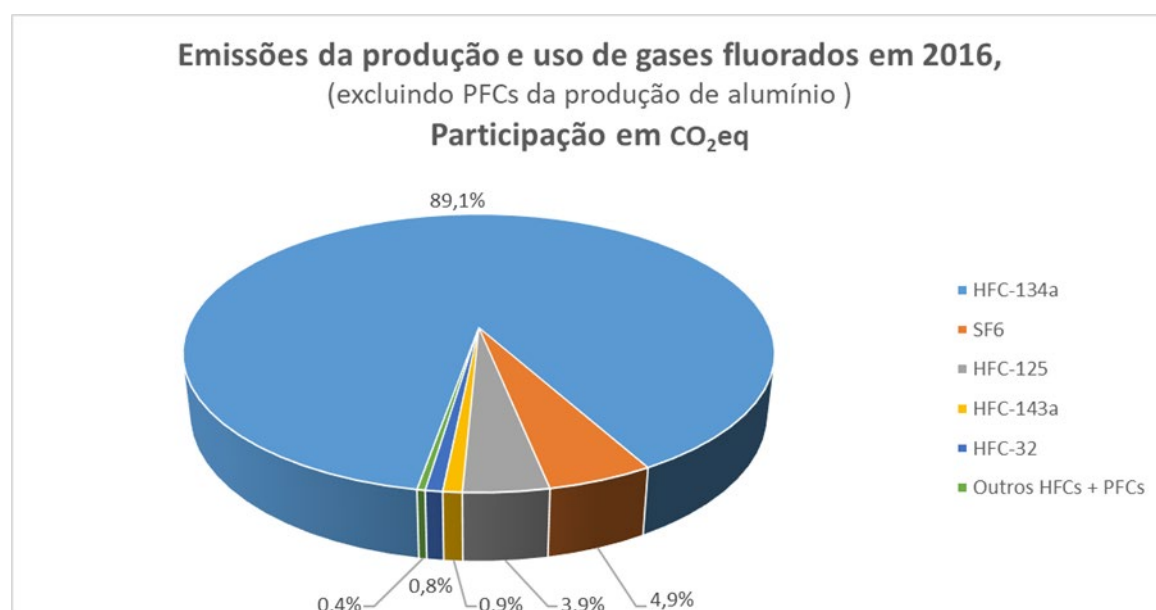
O setor Eletrônico não é um setor-chave nas emissões nacionais de compostos fluorados. Foram estimadas as emissões de CF₄ (PFC-14) e CHF₃ (HFC-23) utilizando o método *Tier 2a* do IPCC 2006.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a estimativa de emissões de GEE no setor de Produção e Consumo de HFCs, PFCs e SF₆ para o período de 1990 a 2016. O consumo de NF₃ foi desprezível e não foi considerado neste Inventário.

Tabela 1. Emissões dos gases fluorados no Brasil, de 1990 a 2016

Gás	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Variação 2005-2016	Variação 2010-2016
	kg						%	
2.B.9.b Indústria química / Produção de fluoroquímicos / Emissões fugitivas								
HFC-23	120.240	153.040	-	-	-	-	ND	ND
2.E Indústria eletrônica								
CF ₄	-	-	-	-	1	6	ND	356
C ₂ F ₆	-	-	-	-	-	-	ND	ND
2.F Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio								
HFC-23	-	-	-	-	7	32	NA	356%
HFC-32	-	-	-	-	-	72.971	NA	NA
HFC-125	-	-	1.362	2.215	4.391	84.824	3729%	1832%
HFC-134a	-	-	380.538	915.554	2.180.935	4.128.896	351%	89%
HFC-143a	-	-	1.609	2.618	5.190	14.008	435%	170%
HFC-152a	-	-	100	174.800	-	-	-100%	NA
HFC-227ea	-	-	-	-	1.410	5.361	NA	280%
HFC-365mfc	-	-	-	-	344	6.071	NA	1665%
2.G Fabricação e uso de outros produtos								
SF ₆	5.430	5.342	6.456	7.964	10.075	12.326	55	22

A Figura 1 mostra a participação dos gases fluorados no ano de 2016 depois de ajustados para CO₂eq usando-se o GWP-SAR.

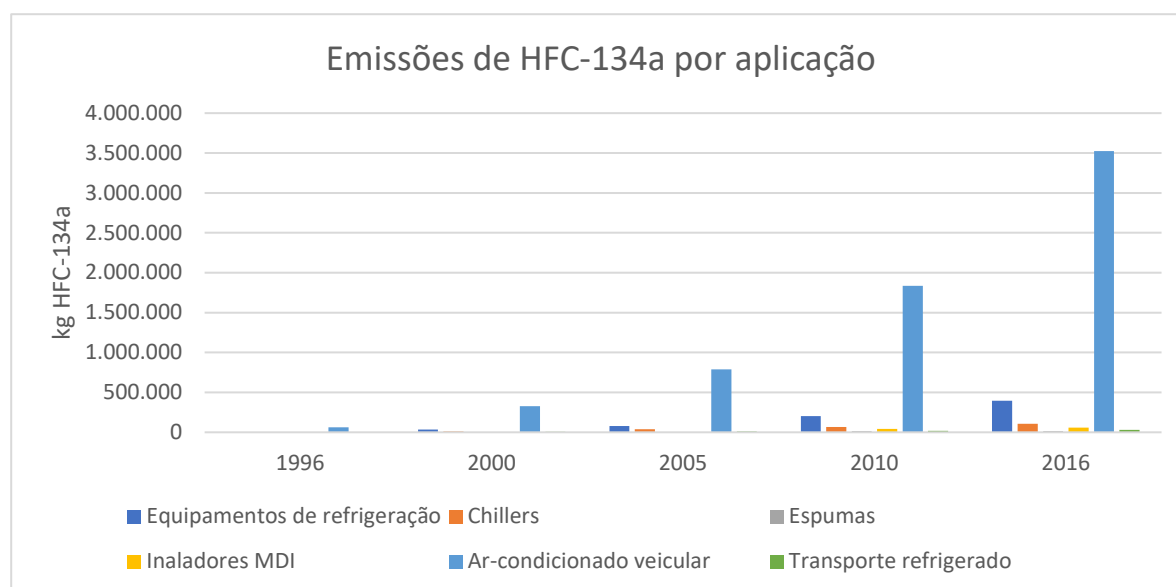
Figura 1. Participação dos gases em CO₂eq em 2016


O principal gás é o HFC-134a, cuja aplicação está apresentada na Tabela 2 e na Figura 2.

Tabela 2. Emissões de HFC-134a por aplicação

Aplicações	1996	2000	2005	2010	2016	Variação 2005 - 2016	Variação 2010 - 2016
	kg HFC-134a					%	
Equipamentos de refrigeração	0	35.752	78.448	203.909	397.982	407%	95%
<i>Chillers</i>	0	11.968	37.806	65.867	107.826	185%	64%
Espumas	0	0	0	15.125	13.500	NA	-11%
Inaladores MDI	0	0	0	41.020	56.847	NA	39%
Ar-condicionado veicular	60.989	328.057	788.405	1.834.982	3.523.633	347%	92%
Transporte refrigerado	758	4.761	10.895	20.032	29.108	167%	45%
Total	61.748	380.538	915.554	2.180.935	4.128.896	351%	89%

Figura 2. Emissões de HFC-134a por aplicação



Outros gases importantes mostrados mais detalhadamente neste resumo são: HFC-125, HFC-143, HFC-32 e o SF₆, apresentados nas Tabelas 3 a 6 e nas Figuras 3 a 6, respectivamente.

Tabela 3. Emissões de HFC-125 por aplicação

Aplicações	1996	2000	2005	2010	2016	Variação 2005 - 2016	Variação 2010 - 2016
	kg HFC-125					%	
Congelador comercial	0	652	587	1.385	7.450	1168%	438%
Ar-condicionado <i>Split</i>	0	0	0	0	67.250	NA	NA
Ar-condicionado central	0	0	0	0	5.721	NA	NA
Caminhão frigorífico	110	710	1.628	3.006	4.403	170%	46%
Total	110	1.362	2.215	4.391	84.824	3729%	1832%

Figura 3. Emissões de HFC-125 por aplicação

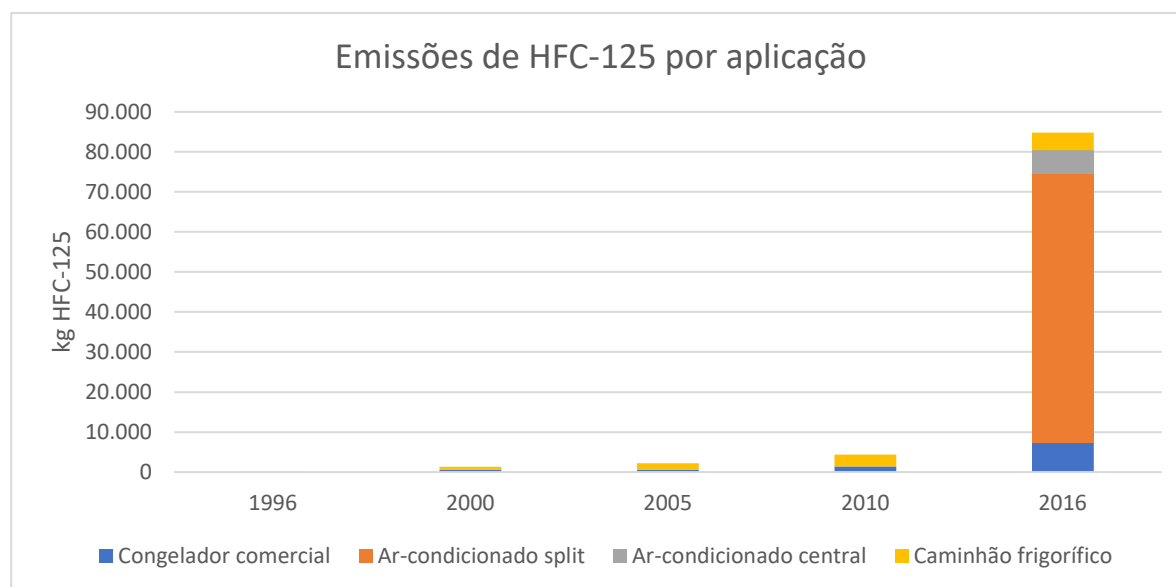


Tabela 4. Emissões de HFC-143a por aplicação

Aplicações	1996	2000	2005	2010	2016	Variação 2005 - 2016	Variação 2010 - 2016
	kg HFC-143a					%	
Congelador comercial	0	771	694	1.637	8.805	1168%	438%
Caminhão frigorífico	130	839	1.924	3.552	5.204	170%	46%
Total	130	1.609	2.618	5.190	14.008	435%	170%

Figura 4. Emissões de HFC-143a por aplicação

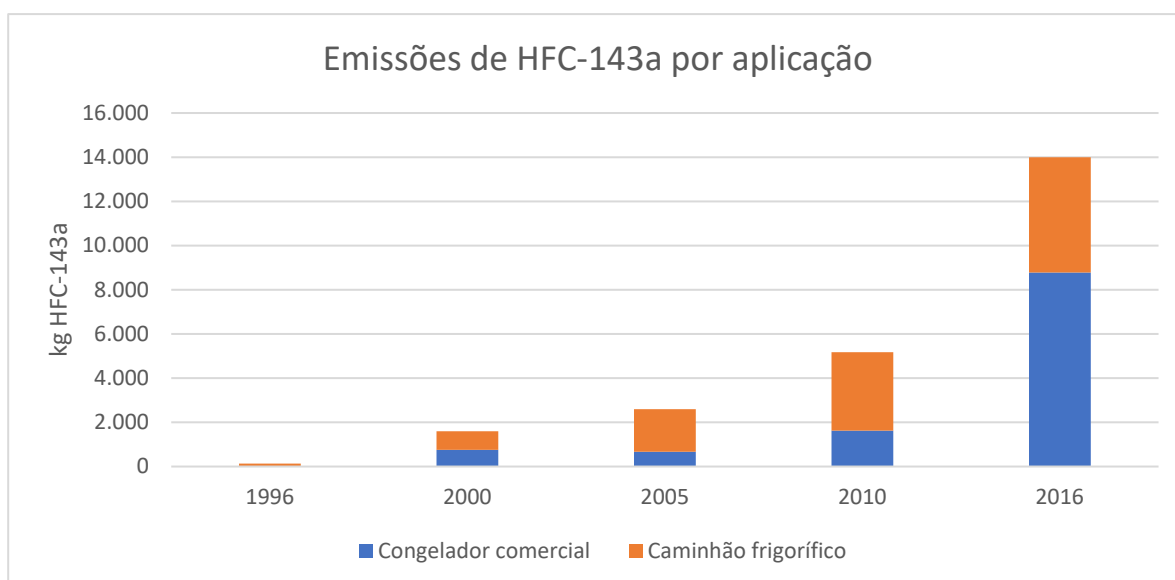


Tabela 5. Emissões de HFC-32 por aplicação

Aplicações	1996	2000	2005	2010	2016
	kg HFC-32				
Ar-condicionado <i>Split</i>	0	0	0	0	67.250
Ar-condicionado central	0	0	0	0	5.721
Total	0	0	0	0	72.971

Figura 5. Emissões de HFC-32 por aplicação

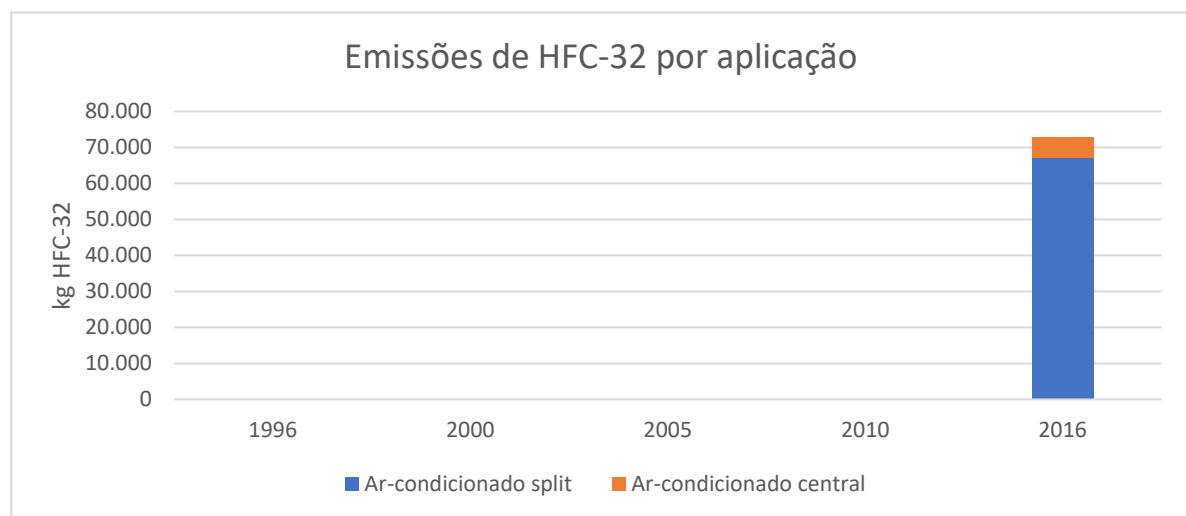
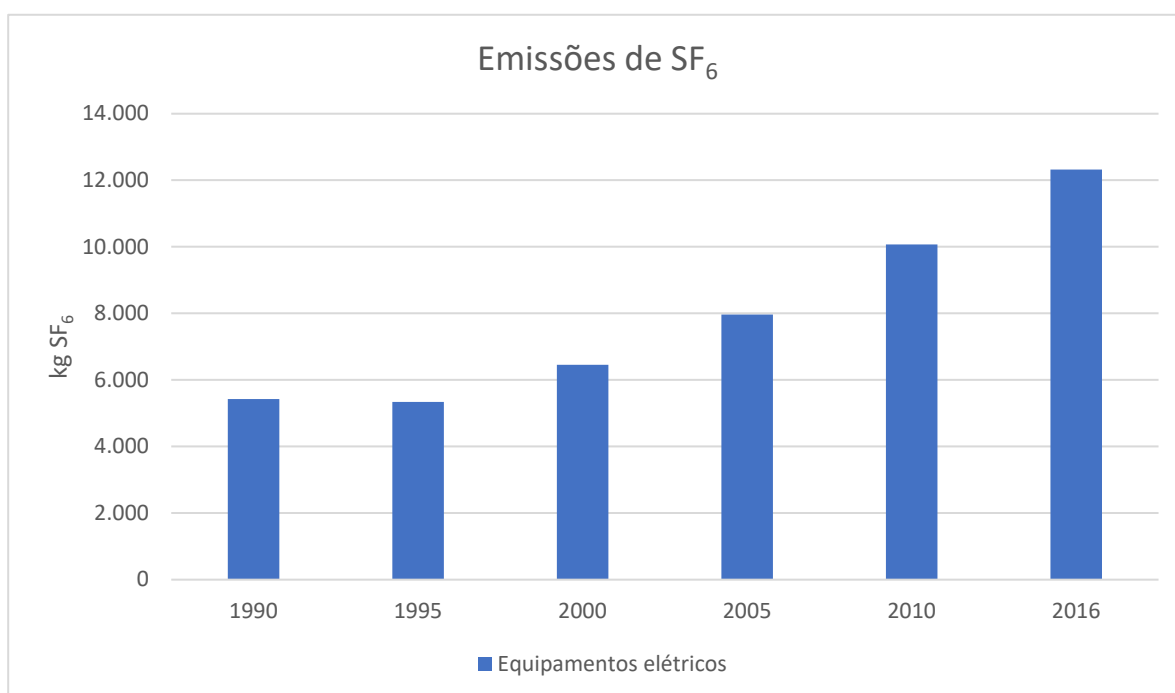


Tabela 6. Emissões de SF₆ do setor de Processos Industriais do subsetor de Fabricação e Uso de Outros Produtos

Aplicações	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Variação 2005 - 2016	Variação 2010 - 2016
	kg SF ₆						%	
Equipamentos elétricos	5.430	5.342	6.456	7.964	10.075	12.326	55%	22%

Figura 6. Emissões de SF₆ de equipamentos elétricos (kg)



1 Introdução

Usos atuais de HFCs e SF₆ incluem refrigeração e condicionamento de ar, extinção de incêndio, aerossol, solventes, produção de espuma e em equipamentos de distribuição elétrica.

Essas substâncias químicas são emitidas instantaneamente ou lentamente por meio de vazamentos que ocorrem ao longo do tempo. Elas têm alto potencial de aquecimento global (GWPs) e tempos de vida atmosféricos longos. O consumo de HFCs tem crescido substancialmente ao longo dos últimos anos devido a sua importância como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio, as ODS.

Os países em desenvolvimento, que não utilizavam HFCs tão intensamente como os países industrializados, vêm apresentando uma elevação significativa do seu consumo devido a essas substâncias serem utilizadas como alternativas aos HCFCs, em processo de eliminação estabelecido pelo Protocolo de Montreal. Por outro lado, esse consumo de HFCs deverá ser reduzido futuramente como consequência das novas regulamentações estabelecidas pelo Protocolo de Montreal, por meio da Emenda de Kigali (apresentada no Anexo III deste relatório). No caso do setor de Refrigeração e Ar-Condicionado (RAC), principal foco deste relatório, devido ao seu consumo mais significativo que o das outras substâncias fluoradas consideradas, os HFCs estão sendo substituídos por outras substâncias de baixo impacto de aquecimento global (caso dos chamados “fluidos naturais”, amônia, hidrocarbonetos e CO₂; e dos HFOs - hidrofluorolefinas).

O maior uso e consequentes emissões de HFCs, que serão estimadas no Quarto Inventário Nacional, são provenientes do setor de Refrigeração e Ar-Condicionado, com destaque para o HFC-134a, utilizado como fluido refrigerante nas aplicações de refrigeração doméstica, comercial e sobretudo em ar-condicionado veicular. A Tabela 7 apresenta os refrigerantes que substituíram as ODS em cada aplicação. A introdução do HFC-134a acontece no setor automotivo a partir de 1996 e, para o restante dos equipamentos, a partir de 1998.

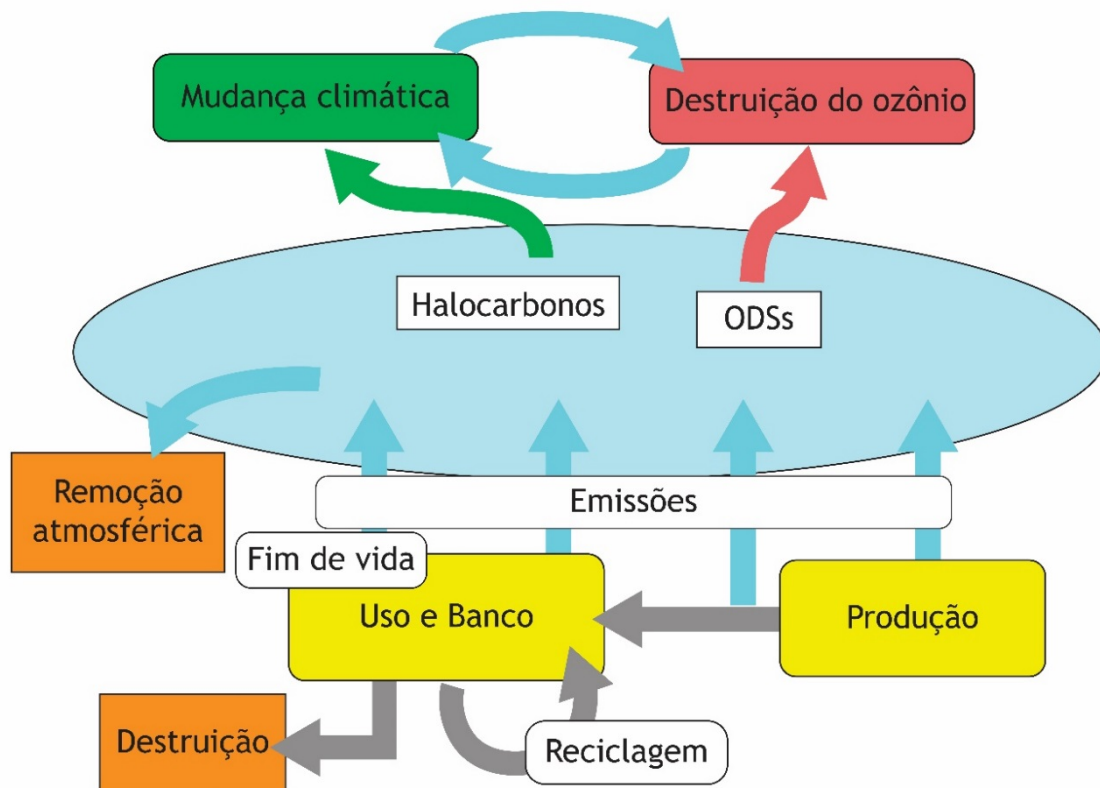
Tabela 7. Principais aplicações para HFCs e PFCs substitutos de ODS

Principais aplicações para HFCs e PFCs substitutos de ODS	
Aplicação	Refrigerantes
Refrigeração e ar-condicionado	HFC-23 HFC-32 HFC-125 HFC-134a HFC-143a HFC-152a HFC-227ea HFC-236fa
Extinção de incêndios	HFC-23 HFC-125 HFC-134a HFC-227ea HFC-236fa PFC-14 PFC-31-10
Propelentes	HFC-134a HFC-152a HFC-227ea
Solventes aerossóis	HFC-245fa HFC-365mfc HFC-43-10mee
Solventes de limpeza	HFC-365mfc HFC-43-10mee PFC-51-14
Espumas	HFC-134a HFC-152a HFC-227ea HFC-245fa HFC-365mfc

Fonte: IPCC 2006

Em muitas aplicações, os substitutos de ODS, como HFCs e PFCs, são utilizados em sistemas fechados, por exemplo refrigeração e ar-condicionado, onde há, no entanto, uma taxa de vazamento, cuja magnitude depende das características do equipamento. Em outras aplicações, essas substâncias são emitidas no uso, caso do propelente de aerossol. Nos casos em que as emissões ocorrem nos primeiros dois anos, elas são geralmente chamadas de emissões imediatas. Exemplos de aplicações que exibem emissões imediatas incluem, além dos aerossóis, solventes e espumas de células abertas. Nos casos em que ocorram atrasos nas emissões, a diferença cumulativa entre o produto químico consumido em uma aplicação e a que já foi liberada constitui um banco da substância, como mostra a **Figura 7**. As aplicações em que os bancos normalmente ocorrem incluem refrigeração e ar-condicionado, proteção contra incêndio e outras.

Figura 7. Ciclo dos gases refrigerantes



Fonte: Peixoto et al. (2017)

Os HFCs tiveram muito desenvolvimento para serem uma alternativa para os ODS, estes últimos controlados pelo Protocolo de Montreal. No entanto os HFCs são gases de efeito estufa e, como tal, passaram a ser controlados na Convenção do Clima. Devido à proximidade com os ODS, em termos de fabricação e uso, os HFCs passaram também a ter certo controle dentro do Protocolo de Montreal, pela Emenda de Kigali, descrita em detalhes no Anexo III. Os HFCs são produtos químicos contendo apenas hidrogênio, carbono e flúor. Antes do Protocolo de Montreal e da eliminação gradual de vários ODS, os únicos HFCs produzidos eram o HFC-152a (um componente da mistura de refrigerante R-500) e o HFC-23 (um refrigerante de baixa temperatura, que é um subproduto da produção de HCFC-22). O HFC-134a entrou em produção em 1991, desde então outros HFCs que já foram introduzidos agora estão sendo utilizados como substitutos dos ODS (PEIXOTO, 2008).

Como o Protocolo de Montreal estabeleceu prazos diferentes para eliminação de CFCs e HCFCs em países industrializados e países em desenvolvimento, a introdução dessas substâncias nos mercados desses dois grupos de países foi diferenciada. Os países em desenvolvimento não utilizam HFCs tão intensamente como os países industrializados. Dessa forma, vários usos dessas substâncias já estão sendo substituídos por outras substâncias de baixo impacto de aquecimento global (caso, em

refrigeração e ar-condicionado, dos chamados “fluidos naturais”, hidrocarbonetos, amônia e CO₂) e das alternativas sintéticas de baixo GWP, HFCs insaturados, também chamados de HFOs (hidrofluorolefinas), que recentemente foram desenvolvidas e algumas já estão em fase de comercialização.

As emissões de HFCs devido à produção de halocarbonos podem ser devidas a fugas existentes durante a produção de HFCs ou a emissão de HFCs produzidos como produtos secundários e que são emitidas para a atmosfera.

O Brasil não produz as substâncias químicas hidrofluorcarbonos (HFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Toda a quantidade utilizada para o consumo nacional é importada. Uma pequena parte das quantidades importadas é exportada. Não existe um controle da importação dessas substâncias como o que é realizado para substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, que prevê, para a importação de ODS, a necessidade de inscrição das empresas importadoras no Ibama e a emissão de guias de importação. Em função da Emenda de Kigali, esse procedimento deverá ser adotado. A obtenção dos dados de importação de HFCs e SF₆ será uma atividade mais rápida e a confiabilidade dos dados será maior.

O processo de importação de HFCs é feito por diversas empresas, que depois encaminham os fluidos para distribuidores, lojas de componentes de refrigeração, para o mercado de varejo ou, em alguns casos, diretamente por empresas que atuam no setor de manutenção e assistência técnica de instalações e equipamentos de refrigeração e ar-condicionado, que utilizam o HFC importado para suas atividades de assistência técnica e reparos.

No caso do SF₆, as empresas de gases industriais comercializam esse produto apenas em poucas oportunidades e não estocam grandes quantidades devido ao preço e às enormes dificuldades de importação. Como o SF₆ é muito utilizado no sistema elétrico (isolante dielétrico de transformadores), as empresas desse setor importam diretamente o produto.

A pesquisa das quantidades importadas e exportadas dos vários HFCs e do SF₆ para este Quarto Inventário foi realizada utilizando a plataforma Comex Stat, do antigo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), agora Ministério da Economia, que contém informações sobre importações e exportações cadastradas utilizando a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM).

1.1. Setor Eletroeletrônico

O setor industrial Eletroeletrônico compreende instalações de fabricação de produtos eletrônicos com processos de produção que usam átomos de flúor gerados por plasma e outros fragmentos contendo flúor reativos para gravar filmes finos, câmaras limpas para depositar filmes finos, *wafers* limpos, ou remover material residual. Inclui instalações que fabricam semicondutores (incluindo

diodos emissores de luz), sistemas microeletromecânicos (MEMs), telas de cristal líquido (LCDs) e células fotovoltaicas (PV). Compreende também instalações de fabricação de produtos eletrônicos com processos de deposição de vapor químico ou outros processos de produção que usam N₂O e processos que usam GEE fluorados como fluidos de transferência de calor (HTF) para controlar a temperatura.

Outra característica marcante do setor brasileiro é a dependência da importação de componentes, submontagens e peças, itens com alto valor agregado, além da importação crescente de bens finais, com produção realizada principalmente no exterior. Além disso, o setor tem baixo nível de exportações, com poucas exceções. Assim sendo, o país não é identificado como produtor de bens eletrônicos, mesmo sendo um dos 12 maiores em produção de bens eletrônicos (CNI, 2015).

Destaca-se que as estimativas de emissões de GEE de compostos fluorados realizadas neste estudo são pioneiras, pois não foram realizadas nos Inventários anteriores.

A metodologia utilizada para a estimativa das emissões no setor Eletrônico foi a *Tier 2a* do IPCC 2006. Essa metodologia estima as emissões de cada GEE utilizado e os subprodutos originados no decorrer de seus processos e foi adotada porque é um procedimento que não depende do processo específico utilizado, mas representa uma média do setor. Por isso, é adequada à limitação dos dados de atividade disponíveis. Com exceção da quantidade de CF utilizado no processo, os outros valores da equação são preenchidos usando *defaults* encontrados nas tabelas do capítulo 6 do IPCC 2006.

Os gases CFs (compostos fluorados) incluem CF₄ (PFC-14), C₂F₆ (hexafluoroetano), C₃F₈ (PFC-218), c-C₄F₈ (perfluorociclobutano), c-C₄F₈O (perfluorotetra-hidrofurano), C₄F₆ (hexafluoro-2-butino), C₅F₈ (perfluorociclopentano), CHF₃ (HFC-23), CH₂F₂ (HFC-32) e NF₃ (trifluoreto de nitrogênio). Considerando que o Brasil não produz essas substâncias e que os dados de importação obtidos mostram consumo de HFC-23 e SF₆, serão consideradas as emissões desses gases e dos seus subprodutos. O consumo de NF₃ foi desprezível para os propósitos deste relatório e não será considerado. O consumo de outras substâncias mencionadas anteriormente está presente no Brasil também, no entanto serão desconsideradas devido à impossibilidade de obtenção de informações e números precisos de importação, exportação ou consumo.

Esses CFs são usados em duas etapas importantes da fabricação mundial de componentes eletrônicos:

(i) Materiais que contêm silicone para decapagem por plasma.¹

¹ Decapagem por plasma: é feita por um dispositivo que utiliza plasma para criar os caminhos elétricos necessários dos circuitos semicondutores integrados. Isso é feito por meio de um jato de plasma aplicado precisamente sobre uma pastilha de silício. Quando o plasma e a pastilha entram em contato um com o outro, uma reação química ocorre na superfície da bolacha (*wafers*). Essa reação deposita o dióxido de silício nela,

(ii) Limpeza das paredes das câmaras das ferramentas, que ocorre por um processo de deposição de vapor químico (CVD)², onde o silício se depositou.³

Dispositivos semicondutores são utilizados nos chips de circuitos integrados, que estão presentes em aparelhos elétricos e eletrônicos. Sua fabricação envolve uma sequência de múltiplos processos durante os quais os circuitos eletrônicos são gradualmente colocados sobre uma bolacha (*wafer*) feita de material semicondutor puro. O silício é o material semicondutor mais utilizado hoje em dia. Todo o processo de fabricação do início ao fim leva de seis a oito semanas e é realizado em instalações altamente especializadas.

A maioria das emissões de CFs resulta da sua utilização necessária, devido à baixa eficiência dos químicos utilizados durante a decapagem ou no processo de limpeza. Além disso, uma fração dos compostos fluorados usados, dependendo do processo de produção, pode ser convertida no subproduto CF₄ e, em alguns casos, em C₂F₆, CHF₃ e C₃F₈. A formação de CF₄ também ocorre como subproduto da corrosão ou limpeza de materiais isolantes que contêm carbono pertencente a semicondutores (IPCC, 2006).

Os fabricantes de produtos eletrônicos podem usar CFs também para o controle de temperatura durante determinados processos. Também conhecidos como fluidos de transferência de calor, esses CFs são líquidos à temperatura ambiente e apresentam alta pressão de vaporização. As perdas por evaporação ocorrem durante o resfriamento em testes de semicondutores e na solda de determinados componentes eletrônicos em circuitos impressos. Quando o processo de resfriamento é realizado utilizando sistemas herméticos, os CFs líquidos são contidos nesses circuitos durante toda a vida útil do produto e dessa maneira não há perda por evaporação.

Pesquisas recentes de fabricantes europeus e norte-americanos de painéis fotovoltaicos⁴ indicam que 40% a 50% dos fabricantes usam quantidades relativamente pequenas de CFs, predominantemente o CF₄, durante a gravação de bolachas de silício cristalino (material semicondutor) e C₂F₆ durante a limpeza da câmara após a deposição de filmes de S_iN_x. Vários relatórios elevam as virtudes do uso de CFs como um meio de aumentar a produtividade da manufatura e reduzir os custos das tecnologias baseadas em silício (IPCC, 2006).

criando caminhos elétricos, ou removendo o dióxido de silício já presente, deixando apenas os percursos elétricos (www.mecanicaindustrial.com.br/555-como-ocorre-uma-corrosao-com-plasma).

² CVD (*chemical vapour deposition*) ou deposição química em fase é um processo para construção de filmes sólidos, revestimentos, fibras, componentes monolíticos, entre outros materiais.

³ Os aparelhos de CVD funcionam por reação química de um gás semicondutor em uma pastilha de silicone para criar uma película. No entanto, como não é possível, a princípio, reagir todos os gases do material na pastilha, subprodutos acabam aderindo a diversos locais nas paredes internas do reator. Esses subprodutos têm um impacto negativo sobre a qualidade de películas subsequentes, assim é necessário realizar a manutenção para limpar as paredes internas do reator (Michell Instruments: www.michell.com).

⁴ A tecnologia fotovoltaica é produzida em um processo em que um material semicondutor é adaptado para liberar elétrons (partículas negativamente carregadas que formam a base da eletricidade). O material semicondutor mais comum utilizado atualmente é o silício. Quando a luz do sol atinge o semicondutor, o campo elétrico entre a junção das duas camadas inicia um fluxo de energia, gerando corrente contínua.

O monitoramento contínuo de emissões é atualmente considerado uma forma economicamente inviável de estimar as emissões dessa indústria, que busca, nos processos de manufatura de grandes quantidades, projetos de processos centralizados que minimizem as emissões. As emissões de CFs podem ser afetadas por mudanças nas variáveis de processo (por exemplo: pressão, temperatura, potência de plasma, fluxo de gás CF, tempo de processamento), assim a precisão dos métodos usados para estimar as emissões é afetada por eventuais diferenças entre o processo usado na produção e o processo de linha de base de referência. Além disso, a eficácia do equipamento de controle de emissões de CFs depende do seu funcionamento e manutenção de acordo com as especificações do fabricante: fluxos de gás, ajustes de temperatura inadequados e falha na execução da manutenção exigida terão um impacto negativo no desempenho do aparelho.

1.2. Setor Elétrico

Outra fonte de emissões de gases fluorados no setor de Processos Industriais é devida ao hexafluoreto de enxofre (SF_6) usado para isolamento elétrico e interrupção de corrente em equipamentos empregados na transmissão e distribuição de eletricidade. A maior parte do SF_6 utilizado em equipamentos elétricos é usada em subestações (GIS) e em disjuntores a gás (GCB), embora alguns SF_6 sejam usados em linhas isoladas a gás de alta tensão (GIL), transformadores de instrumentos isolados a gás e outros equipamentos. As aplicações acima mencionadas podem ser divididas em duas categorias de contenção.

A primeira categoria é a de Equipamento Selado para a Vida (*Sealed-for-Life Equipment*, conforme definição apresentada no IPCC 2006), que é definido como equipamento que não requer recarga durante sua vida útil e que geralmente possui menos de 5 kg de gás por unidade funcional (os equipamentos de distribuição normalmente enquadram-se nessa categoria).

A segunda categoria é composta por Sistemas Fechados de Pressão (*Closed Pressure Systems*, conforme definição apresentada no IPCC 2006), que inclui equipamentos que requeiram reabastecimento durante sua vida útil. Este tipo de equipamento geralmente contém entre 5 e várias centenas de kg por unidade funcional (equipamentos de transmissão normalmente se enquadram nessa categoria). Ambas as categorias de equipamentos têm vida útil de mais de 30 a 40 anos.

Para as emissões de SF_6 , os valores estimados foram baseados nos dados de capacidade instalada fornecidos diretamente para a elaboração deste Quarto Inventário. A estimativa de emissões foi realizada usando o *Tier 1* do capítulo 8 do IPCC 2006, considerando o fator de emissão de 2,6%, valor *default* apresentado na Tabela 8.3 (IPCC, 2006) para a região europeia, que é similar a valores de emissões investigados em instalação no Brasil (LIRA et al., 2017).

Na maioria das aplicações do subsetor de fabricação e uso de outros produtos, SF₆, PFCs ou N₂O são deliberadamente incorporados ao produto para explorar uma ou mais propriedades físico-químicas do produto, tais como a alta rigidez dielétrica do SF₆, a estabilidade dos PFCs e o efeito anestésico do N₂O. No entanto, as aplicações para eles têm uma ampla gama de perfis de emissão, desde a liberação imediata e inevitável de todo o produto químico (por exemplo o uso de PFCs como traçadores atmosféricos) até a liberação retardada de produtos utilizados em sistemas herméticos após 40 anos de uso.

Transformadores elétricos de potência isolados a gás (*gas-insulated power transformers GIT*) são os maiores consumidores e o uso mais importante do SF₆ globalmente. Isso contribui significativamente para as emissões mundiais de SF₆, no entanto a importância dessa fonte varia consideravelmente de região para região e de país para país. As emissões desta categoria dependem não apenas das quantidades instaladas (depositadas) ou consumidas de SF₆, mas também dos processos de manuseio aplicados. Atualmente as taxas médias regionais de emissão variam entre menos de 1% e mais de 10%. Em geral as taxas de emissão diminuíram significativamente desde 1995 no mundo (IPCC, 2006).

Ações para a redução de emissões incluem: projetar equipamentos para exigir uma carga menor de SF₆ com menos vazamentos e melhorar os processos e os equipamentos de manuseio para todos os estágios do ciclo de vida.

Algumas emissões de SF₆ ocorrem depois que o produto químico é recuperado. Elas incluem emissões associadas à reciclagem do SF₆ e emissões associadas à destruição do SF₆. Em geral considera-se que as emissões provenientes da reciclagem de SF₆ sejam pequenas - da ordem de menos de 1% da quantidade total fornecida ao processo de reciclagem. Essas emissões podem ser maiores, se os equipamentos e práticas de manuseio adequados não forem usados. Na maioria dos casos, a reciclagem ocorre no local do fabricante ou usuário do equipamento. Em outros casos, a reciclagem pode ocorrer em uma instalação de reciclagem centralizada não associada a um fabricante de produtos químicos. A reciclagem pode ocorrer também nas instalações de um fabricante de produtos químicos. Até 10% do SF₆ enviado para processo de destruição podem ser emitidos. Espera-se que a quantidade de gás no processo de destruição seja pequena comparada àquela reciclada (IPCC, 2006).

Alguns componentes de equipamentos elétricos podem conter 1% ou menos em massa de SF₆ no meio isolante do produto (IPCC, 2006). Em transformadores de resina fundida de média tensão (até 52 kV), o SF₆ é usado para encher microcavidades no isolamento da resina para melhorar a qualidade dielétrica e a durabilidade do produto. Em buchas de alta tensão⁵ (acima de 52 kV), o SF₆ é usado como agente de expansão para a resina de poliuretano e em certas partes do sistema de isolamento

⁵ As buchas de alta tensão são componentes críticos dos transformadores de potência.

para melhorar a qualidade dielétrica e a durabilidade do produto. As emissões de SF₆ resultam unicamente do processo de fundição/sopro para o isolamento do produto.

Os fatores que influenciam as taxas de emissão incluem o projeto do equipamento (que varia dependendo de quando e onde o equipamento foi fabricado), práticas de manuseio de SF₆, disponibilidade de equipamentos de manuseio de última geração, preços SF₆ e regulamentos (por exemplo requisitos de recuperação).

Segundo o IPCC 2006, em termos de emissões absolutas, acredita-se que as emissões de PFC de equipamentos elétricos sejam muito menores do que as emissões de SF₆.

1.3. Produção de HCFC-22

No Brasil, a única produção de HFC relacionou-se ao segundo tipo, ou seja, esteve vinculada à produção de gás HCFC-22, controlado pelo Protocolo de Montreal e que tem como subproduto o HFC-23, gás de efeito estufa incluído neste Inventário. O HFC-23, com fórmula química CHF₃, também é utilizado no setor Eletroeletrônico, conforme descrito no item 1.1. Das duas empresas que produziram o HCFC-22 no Brasil, uma delas encerrou suas atividades nesse setor, no país, em 1994 e a outra em 1999.

1.4. Refrigeração e Ar-Condicionado

Em refrigeração e condicionamento de ar, HFCs são utilizados como alternativas aos fluidos refrigerantes CFCs e HCFCs, cujos consumos foram e estão sendo eliminados, conforme decisões do Protocolo de Montreal. As aplicações de refrigeração, condicionamento de ar e de bomba de calor são o setor com o maior consumo de substâncias usadas como refrigerantes e representam, hoje em dia, um dos setores usuários de energia mais importantes da sociedade. Estima-se que em média, para os países desenvolvidos, o setor de Refrigeração e Ar-Condicionado responda por 10-20% do consumo de eletricidade (UNEP, 2010).

Os fluidos refrigerantes utilizados no passado e atualmente para as várias aplicações de refrigeração e ar-condicionado são apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8. Fluidos refrigerantes utilizados em cada tipo de equipamento

Setor	CFCs	HCFCs	HFCs Puro & Misturas	HCs	CO ₂ Amônia	HFCs insaturados (HFOs) Puro	Misturas com HFCs insaturados (HFOs)
<i>Refrigeração Doméstica</i>	CFC-12		HFC-134a	HC-600a	Amônia	HFC-1234yf	R-450A, R-513A,...
<i>Refrigeração Comercial</i>	CFC-12 R-502	HCFC-22	HFC-134a R-404A R-407A R-407F	HC-600a HC-290	CO ₂ Amônia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, R-448A, R-444B, R-442A, R-455A, R-450A, R-513A, R-448A, R-449B,...
<i>Transporte Refrigerado</i>		HCFC-22	HFC-134a R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	CO ₂	HFC-1234yf	R-450A, R-448A, R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-448A, R-449A R-450A, R-513A,...
<i>Refrigeração Industrial</i>		HCFC-22	HCFC-22 HCFC-123	HC-1270 HC-290	Amônia CO ₂	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
<i>Bombas de calor para aquecimento de água</i>		HCFC-22	HCFO-1233zd(E)	HC-290 HC-600a	CO ₂ 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
<i>Unidades de Ar Condicionado</i>	CFC-12	HCFC-22	HFC-134a HFC-32 R-410A R-407C	HC-290	CO ₂	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A
<i>Chillers</i>	CFC-12 CFC-11	HCFC-22 HCFC-123 HCFO-1233zd(E)	HFC-134a R-404A R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	Amônia CO ₂	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
<i>Ar Condicionado Móvel</i>	CFC-12		HFC-134a R-410A R-407C		CO ₂	HFC-1234yf	R-450A, R-513A

uso histórico
 uso atual em escala comercial
 uso limitado ou potencial

Fonte: Peixoto et al. (2017)

O processo de seleção do refrigerante para um ciclo de compressão de vapor é complexo, envolvendo a investigação de muitos parâmetros, incluindo:

- Propriedades termodinâmicas e de transporte.
- Faixas de temperatura.
- Relações de pressão e temperatura.
- Requisitos para o processo de compressão.
- Compatibilidade com materiais e óleo.
- Aspectos de saúde, segurança e flamabilidade.
- Parâmetros ambientais como ODP, GWP.

Sistemas e equipamentos de refrigeração e ar-condicionado (RAC) podem ser classificados em seis subaplicações ou categorias:

- Refrigeração doméstica.
- Refrigeração comercial incluindo tipos de equipamentos diferentes, de máquinas automáticas de vendas a sistemas centralizados de refrigeração em supermercados e vitrinas refrigeradas.
- Processos industriais incluindo *chillers*, armazenamento frigorificado e bombas de calor usadas nas indústrias de alimentos, petroquímica e outras.
- Transporte refrigerado, incluindo equipamentos e sistemas usados em caminhões refrigerados, contêineres e vagões.
- Ar-condicionado estacionário, incluindo sistemas compactos, bombas de calor e *chillers* para aplicações residenciais e prediais.
- Sistemas de ar-condicionado veiculares, usados em carros de passageiro, cabines de caminhões, ônibus e trens.

1.5. Espumas

A indústria de fabricação de espumas é composta de quatro subsetores: espumas rígidas, flexíveis, moldadas e de poliestireno. Diversas empresas fabricam espumas rígidas, flexíveis, moldadas/pele integral em poliuretano e espumas termoplásticas, para atender os segmentos automotivo,

moveleiro, construção civil, refrigeração e outros. Sua composição está estimada em 1.000 empresas, na grande maioria pequenas empresas de estrutura familiar, que se encontram espalhadas por todo o país (PNUD, 2007).

Apesar de bastante diversificado, o uso de espumas de poliuretano expandido, principalmente em edificações, no Brasil ainda é bastante inferior ao de países mais desenvolvidos, mas vem crescendo consistentemente nos últimos anos, ocupando novos nichos de mercado (MMA, 2010). Isto se deve à menor necessidade de isolamento térmico das edificações, principalmente no inverno, quando, diferentemente dos países no Hemisfério Norte, as temperaturas não são negativas.

Os CFCs e HCFCs foram e são utilizados como agentes de expansão na produção de espumas rígidas e flexíveis, pois são compostos com baixo ponto de ebulição e vaporizam com o calor despreendido durante a reação exotérmica de formação da espuma. Com a entrada em vigor do Protocolo de Montreal, o principal agente de expansão utilizado, o CFC-11, foi substituído majoritariamente pelo HCFC-141b e pelo hidrocarboneto ciclopentano. Devido ao cronograma de eliminação dos HCFCs estabelecido pelo Protocolo de Montreal, para os países em desenvolvimento o uso de HCFC-141b está sendo eliminado, sendo substituído por diversas substâncias, incluindo ciclo/isopentano, cloreto de metileno, dióxido de carbono, ormiato de metila, metilal, hidrofluorolefinas (HFOs) e água. O uso de HFC-365/227 começou a ser introduzido no Brasil no início de 2003, penetrando significativamente no mercado apenas em 2011, e foi considerado neste estudo⁶.

1.6. Solventes

Solventes são indispensáveis para a cadeia produtiva de diversos segmentos industriais e empregados, por exemplo na fabricação de plásticos e resinas, vernizes, tintas, defensivos agrícolas, adesivos, cosméticos e detergentes, entre outros inúmeros produtos, além de serem utilizados para limpeza e esterilização de componentes de equipamentos e produtos.

O Brasil chegou a produzir o tetracloreto de carbono e CFC 113, no entanto as instalações de produção de CFC/HCFC da Hoechst do Brasil Química e Farmacêutica S.A. pararam a produção em 1994, enquanto as da Dupont do Brasil S.A. foram fechadas em agosto de 1999.

Em substituição aos solventes CFCs, eliminados pelas determinações do Protocolo de Montreal, foram desenvolvidos solventes HFCs, contudo sua utilização também se encontra em processo de eliminação. Diversas alternativas foram desenvolvidas e implementadas no mundo e no Brasil. As principais alternativas, conforme descrição de Tanimoto e Soares (2000), são apresentadas a seguir:

⁶ Disponível em: www.quimica.com.br/expansores-espumas-de-poliuretano-buscam-substitutos-para-os-hcfc/3

- Solventes clorados que não atacam a camada de ozônio como o percloroetileno e o tricloroetileno.
- Soluções aquosas (utilizam água como solvente primário). Estas soluções são compostas basicamente de três componentes: os agentes construtores (estabilizadores); os aditivos orgânicos e inorgânicos; e os surfactantes e agentes que promovem humectação, removendo a sujeira da superfície e iniciando o processo de emulsão.
- Soluções semiaquosas.
- Solventes orgânicos como cetonas, álcoois, éteres e ésteres.
- Derivados de petróleo alifáticos e aromáticos como querosene, aguarrás mineral (mistura de hidrocarbonetos constituídos principalmente de 9 a 13 átomos de carbono), gasolina, xilenos e tolueno.

1.7. Aerossóis

Aerossol é a denominação genérica dada a um equipamento que consiste em uma embalagem pressurizada, contendo uma mistura de um produto (desodorante, tinta, inseticida, medicamento, etc.) e um gás propelente. Essa embalagem, ao ser utilizada, forma um spray com o nome técnico de aerossol (dispersão de partículas em um meio).

Os usos dos aerossóis englobam a produção de produtos cosméticos, farmacêuticos, veterinários, domissanitários e industriais. Desde o início da produção de aerossóis, diversos propelentes foram utilizados, tais como CO₂, cloreto de metila, dimetil éter, isobutano, cloreto de vinila, CFCs (eliminados pelo Protocolo de Montreal), etc.

A partir das determinações do Protocolo de Montreal, novos propelentes começaram a ser utilizados, entre eles o GLP (gás liquefeito de petróleo - mistura de hidrocarbonetos, butano, isobutano, propano e outros gases insaturados), dióxido de carbono e nitrogênio. Conforme informações de especialistas do mercado de HFCs, que foram utilizadas no Terceiro Inventário, esses gases são utilizados atualmente em 95% dos aerossóis, o restante usa HFCs (basicamente o HFCs 134a), que foram escolhidos por suas propriedades especiais, principalmente para uso em aerossóis medicinais Inaladores de Dose Medida, MDIs (do inglês, *Metered Dose Inhalers*).

1.8. Produtos Medicinais

O Protocolo de Montreal adotou uma categoria chamada de “usos essenciais” para permitir o uso de ODS em aplicações onde até o momento não havia tecnologia alternativa comercialmente disponível. O uso de CFCs em formulações farmacêuticas e em medicamentos para tratamentos em

forma de aerossol, tais como MDIs, encaixou-se nessa definição, conforme apresentado na Resolução Conama nº 267/2000, e foi isentado da legislação de 1988.

Dessa forma, o consumo de CFCs restante pós-1989 no setor de aerossóis destinou-se à fabricação de inaladores MDI, predominantemente produtos broncodilatadores para o tratamento de asma e doenças pulmonares obstrutivas crônicas (MMA, 2007). Os CFCs usados na produção de MDIs foram os CFC 11 e CFC 12. A substituição de CFCs em MDIs tem sido realizada com a substituição total por HFC 134a a partir de 2011, ou com outras formas de embalagens dosimetradas. Identificou-se o uso de HFC-134a em MDIs a partir de 2006.

1.9. Extintor de incêndio

O setor de Extinção de Incêndios inclui o uso de equipamentos de segurança, chamados extintores de incêndio portáteis, que têm o objetivo de extinguir ou controlar incêndios em situações de emergência. Esses equipamentos são constituídos por cilindros contendo um agente de extinção de incêndio, ou agente extintor, pressurizado e são utilizados no local do incêndio. São usados em edificações, indústrias, aeronaves, embarcações, etc.

Os agentes extintores combatem incêndios usando suas diferentes propriedades, podendo ser mais ou menos eficazes dependendo do material que está em combustão (QUÍMICA E DERIVADOS, 2009). Os extintores de incêndio utilizam os seguintes agentes de extinção de incêndios:

- Água.
- Pó químico: várias composições, sendo as mais comuns do tipo BC - fabricado com 95% de bicarbonato de sódio e 5% de estearato de potássio; de magnésio; e ABC, tendo como principal componente o fosfato monoamônico.
- Dióxido de carbono (CO₂).
- Espuma.
- Compostos halogenados (halons). Os halons são substâncias destruidoras da camada de ozônio, as ODS, e são controlados pelo Protocolo de Montreal.

O Brasil proibiu desde 2001 a produção de novos produtos/equipamentos contendo halons por meio da Resolução Conama nº 267/00. Além disso, as ações de implementação do Protocolo de Montreal para a área de extinção de incêndios tiveram como objetivo a eliminação do halon 1301 e do halon 1211, além da sua substituição por produtos alternativos. Após o abandono dos halons, o setor de Extinção de Incêndio no Brasil passou a usar agentes extintores à base de pó químico. Alguns modelos utilizam HFCs.

Segundo BRASIL (2006), em termos globais, mas considerando-se fundamentalmente os países desenvolvidos, apenas 20% das aplicações de halons foram substituídas por HFCs, basicamente o HFC-227ea (heptafluoropropano). Essas proporções podem ser menores em determinados países, dependendo do tipo de uso e dos riscos a serem protegidos.

2 Metodologia

As metodologias utilizadas para obtenção das estimativas apresentadas neste relatório são as usadas no Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2006). Para o presente trabalho, foi utilizado o volume 3 (*Industrial Processes and Product Use*), capítulos 6 (*Electronics Industry Emissions*) e 8 (*Other Product Manufacture and Use*). A seguir são apresentados os detalhes das metodologias utilizadas.

2.1 Indústria eletrônica

A metodologia utilizada para a obtenção das estimativas de emissões nesse subsetor é a *Tier 2a* do capítulo 6 do IPCC 2006. A estimativa de emissão é obtida com os dados *default* fornecidos pelo IPCC e a quantidade de CF utilizada para a fabricação de cada tipo de produto. As informações quanto à quantidade de CF de cada processo não pode ser obtida. No entanto, com base em dados retirados de outros *Tiers* do IPCC 2006, foi possível determinar quais CFs são utilizados na fabricação de cada tipo de equipamento.

Considerando-se que a indústria de semicondutores começou a operar no país apenas a partir de 2005 e que o gás HFC-23 começou a ser importado a partir de 2007, ele será estimado com os fatores de emissão para semicondutores. Esse uso produz como subproduto uma quantidade pequena de CF₄, também contabilizada neste Inventário. A fabricação de painéis fotovoltaicos no Brasil foi iniciada em 2012 e ainda está em seus estágios iniciais, portanto as emissões associadas são muito pequenas e serão desconsideradas.

Os CFs analisados são utilizados também em outros setores para a fabricação de diversos outros equipamentos eletrônicos, e o total de cada CF importado será utilizado nas equações 1 e 2 para a obtenção dos resultados finais.

Equação 1

Equação para emissão do CF utilizado no processo⁷

$$E_j = (1-h) \cdot FC_j \cdot (1-U_j) \cdot (1-a_j \cdot d_j)$$

Onde:

E_j = emissão do gás, kg

⁷ Equação 6.2, vol. 3, página 6.10

FC_i = consumo total do gás i , (CF_4 , C_3F_8 , CHF_3 , NF_3 , SF_6), kg

h = gás remanescente no contêiner após processo (*heel*), fração

U_i = porcentagem do gás usado no processo (destruído ou transformado)

a_i = fração do gás usado no processo com tecnologias de controle de emissões

d_i = fração do gás destruído pela tecnologia de controle de emissões

Equação 2

Equação para quantidade de CF_4 gerado como subproduto⁸

$$BPE_{CF_4,i} = (1-h) \cdot B_{CF_4,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{CF_4})$$

Onde:

$BPE_{CF_4,i}$ ⁹ = subproduto de CF_4 como emissão do gás usado, kg

$B_{CF_4,i}$ = fator de emissão, kg de CF_4 gerado no processo, kg

d_{CF_4} = fração de CF_4 destruído pela tecnologia de controle de emissão

Ao contrário dos métodos *Tier 3* e *2b*, o método *Tier 2a* não distingue entre produtos, tipos de processos (gravação *versus* limpeza) ou ferramentas individuais. Os fatores de emissão-padrão representam médias ponderadas (com base em avaliações de especialistas), formadas separadamente para cada gás, em todos os processos *etch* e *CVD*.

O método *Tier 2a* usa o fator de emissão de um CF para determinado tipo de processo (*CVD* ou *etch*) em que esse CF seja usado com mais frequência. Esse método reflete uma tendência atual em que os CFs individuais tendem a ser usados predominantemente em tipos de processos específicos (*CVD* ou *etch*) em todos os setores. No entanto, em países com empresas ou fábricas que diferem significativamente do padrão de uso geral do setor (por exemplo, usando um gás principalmente no *etch*, enquanto outros usam principalmente em *CVD*), recomenda-se avaliar o potencial de introduzir erros usando o método *Tier 2a* em vez do método *Tier 2b*.

⁸ Equação 6.3, vol. 3, página 6.10

⁹ A letra B utilizada refere-se a subproduto gerado no processo (*by-product*)

2.2 Fabricação e uso de outros produtos - equipamentos elétricos

As estimativas para as emissões de SF₆, envolvendo o seu uso em equipamentos de energia elétrica, apresentadas no Segundo e no Terceiro Inventário Nacional, foram obtidas em 2009 por meio de pesquisa com as empresas de geração, transmissão e distribuição, referente ao parque instalado de equipamentos utilizando SF₆ até 2008, em termos de sua carga nominal. Atualmente é possível fazer uma comparação até o ano de 2016 por meio dos dados de importação do SF₆.

O Anexo II apresenta dados de importação e exportação para SF₆ obtidos no portal Comex Stat, que estão disponíveis a partir de 1997. Esses dados, no entanto, são apresentados neste relatório como informação adicional, uma vez que para estimativa de emissões de SF₆ foi utilizada a capacidade instalada fornecida pela coordenação do projeto da Quarta Comunicação.

A metodologia utilizada para a estimativa de SF₆ é a *Tier 1*, do capítulo 8 do IPCC 2006, que apresenta a seguinte equação¹⁰:

Equação 3

Emissões totais = emissões na fabricação + emissões na instalação + emissões no uso + emissões na destruição.

De acordo com essa equação e a Tabela 8.3 (IPCC, 2006), foi adotada a taxa de vazamento de 2,6%. As emissões na fabricação foram ignoradas, já que esses equipamentos não são produzidos no Brasil, assim como as emissões de destruição, pois o tempo de vida útil desse é acima de 35 anos, portanto não entra nos dados capturados e computados.

2.3 Refrigeração e ar-condicionado

Para as diversas aplicações de refrigeração e ar-condicionado foi utilizada a metodologia *Tier 2a* do capítulo 7 do IPCC 2006. Esta metodologia foi utilizada devido à disponibilidade dos dados de atividades necessários e por fornecer estimativas mais precisas das emissões.

O método *Tier 2a - bottom-up* é baseado no cálculo de emissões na montagem, operação e disposição final dos equipamentos. Dependendo do equipamento, ou aplicação considerada, podem

¹⁰ Equação 8.1, vol. 3, página 8.8.

ocorrer emissões nessas três fases ou apenas em algumas delas. A equação geral¹¹ está mostrada a seguir.

Equação 4

Emissões totais = emissões na montagem + emissões na operação + emissões na disposição

Emissões na Montagem - incluem as emissões associadas com fabricação de produto, mesmo que os produtos sejam eventualmente exportados.

Emissões na Operação - incluem vazamentos anuais das substâncias químicas e as emissões referentes à manutenção, que ocorrem no conjunto dos equipamentos em uso. Esse cálculo deve incluir todas as unidades no país, independentemente de onde elas foram fabricadas.

Emissões na Disposição - incluem as substâncias químicas liberadas de sistemas sucateados ou em disposição final. Analogamente às emissões na operação, devem incluir todos os equipamentos no país onde eles foram sucateados, independentemente de onde eles foram fabricados. Neste inventário, ainda não foram consideradas as emissões na disposição final dos aparelhos de refrigeração e ar-condicionado, visto se considerar que ainda estão dentro da sua vida útil, desde que se iniciou a produção com HFCs. No entanto, para o setor automotivo, o descarte foi considerado, conforme explicitado mais adiante.

As emissões para a fabricação e manuseio (uso) dos aparelhos foram calculadas com valores *default* do IPCC 2006. Todos os equipamentos, com exceção do ar-condicionado central (VRF) e dos *chillers*, foram calculados por meio da obtenção das seguintes informações: unidades produzidas, importadas e exportadas. Além disso, valores médios e o fluido refrigerante usado foram obtidos com o auxílio de pesquisas e consultas a profissionais da área para a carga inicial em cada tipo de equipamento.

O início da produção de unidades com HFC-134a foi em 1997, considerando a variação de consumo de CFC-12 entre 1996 e 2000. Adotou-se a hipótese de que a diminuição da fabricação de refrigeradores domésticos com refrigerante CFC-12 seria proporcional à diminuição do consumo de CFC-12. Considerou-se também que o início da produção de produtos com HFC-134a foi em 1997, considerando a variação de consumo de CFC-12 entre 1996 e 2000, e que essa diminuição seria igual para os demais produtos de refrigeração. Os valores obtidos com esse método são apresentados na **Tabela 9**.

¹¹ Equação 7.4, vol. 3, página 7.17.

Tabela 9. Percentuais considerados de HFCs na produção de equipamentos, na fase de substituição dos CFCs

Ano	Produtos com CFCs	Produtos com HFCs
	%	
1996	100%	0%
1997	69,7%	30,3%
1998	54,8%	45,2%
1999	60,5%	39,5%
2000	0,3%	99,7%
2001-2016	0%	100%

Fonte: Brasil (2016)

2.3.1 Equipamentos de refrigeração doméstica e comercial

Para os refrigeradores domésticos foram obtidas informações de produção no banco de dados Sidra-IBGE¹² e de importação e exportação no site Comex Stat. A partir de 2010 o isobutano (HC-600a) começou a ingressar como um substituto ao HFC-134a no mercado. HC-600a é utilizado em metade de todos os refrigeradores domésticos produzidos nacionalmente. A proporção de uso de HFC-134a e HC-600a foi obtida a partir de informações fornecidas por especialistas da área.

Tabela 10. Proporção de HFC-134a ou HC-600a na fabricação de refrigeradores domésticos

Ano	HFC-134a	HC-600a
2010	95%	5%
2011	95%	5%
2012	90%	10%
2013	90%	10%
2014	90%	10%
2015	90%	10%
2016	60%	40%

Os produtos dessa categoria incluem refrigeradores e freezers domésticos e combinados. As estimativas de emissões foram feitas usando o total produzido, importado e exportado desses itens. De acordo com informações obtidas através do Sindratar, a carga média de refrigerante desses produtos mencionados acima é de 100g por unidade. Esse valor foi utilizado para a realização das estimativas juntamente com os totais obtidos de produção, importação e exportação.

Considerou-se que os refrigerantes utilizados são HFC-134a e HC-600a para todos os itens mencionados acima. A partir dos levantamentos realizados neste trabalho, foram obtidos esses

¹² Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=71719&view=detalhes>. Acesso em: abr. 2019.

valores, que são uma estimativa mais precisa para as cargas de refrigerante do que as adotadas no Terceiro Inventário.

2.3.2 Congeladores (*freezers*) comerciais

As informações de produção, assim como foi feito para os outros equipamentos, foram obtidas a partir de consulta aos dados do banco Sidra-IBGE¹³. Para os dados de importação e exportação o site Comex Stat, 2019 foi consultado.

Os refrigerantes usados para a produção desses equipamentos são o HFC-134a e o R-404A¹⁴. Para o período de 1990 a 2010, considerado no Terceiro Inventário, foi mantida a proporção de 90% HFC-134a e 10% R-404A. No Quarto Inventário, a partir de informações obtidas de especialistas da área, foram utilizados para o período de 2011 a 2016 os valores médios de 70% de HFC-134a e de 30% de R-404A. A carga média de fluido refrigerante para esses equipamentos foi considerada igual a 150g.

2.3.3 Vitrinas e câmaras frigoríficas

As informações para produção desses equipamentos foram obtidas com o IBGE. Os dados de importação e exportação, assim como para diversos outros equipamentos, foram obtidos no site Comex Stat.

A partir das informações obtidas para as vitrinas e câmaras frigoríficas, considerou-se que todas as unidades utilizam HFC-134a e com uma carga média de refrigerante de 360g.

2.3.4 Unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros

Dados de produção destas unidades, obtidos com o IBGE, e as informações sobre importação e exportação, obtidos no site Comex Stat, não são desagregados em bebedouros e unidades para bebidas em geral, etc., no entanto todas essas unidades foram consideradas similares tanto em fabricação quanto em manuseio e uso.

As unidades de refrigeração para bebidas em geral, ou bebedouros refrigerados, foram consideradas todas produzidas com HFC-134a e com uma carga média de 50g por unidade.

2.3.5 Ar-condicionado *Split*

¹³ Ver nota anterior.

¹⁴ R-404A é uma mistura de HFC-125, HFC-143a e HFC-134a (44,0%/52,0%/4,0%).

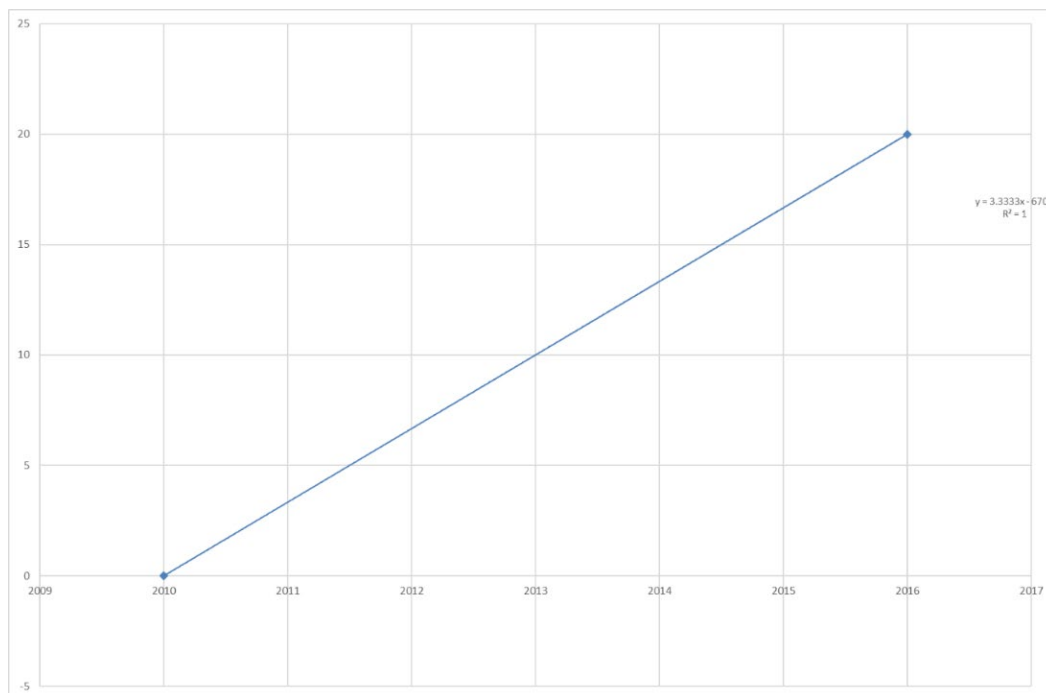
Os equipamentos compactos de ar-condicionado são em sua grande maioria ainda produzidos com o refrigerante HCFC-22. No entanto, a partir de 2010 alguns aparelhos tipo *Split* começaram a usar o fluido refrigerante R-410A¹⁵ como substituto. Segundo informações obtidas¹⁶, em 2016 as unidades produzidas com R-410A atingiram 20%. Foi adotada a hipótese de que a evolução do uso de R-410A entre 2010 e 2016 teve um comportamento linear. A Figura 8 apresenta os valores obtidos a partir da adoção desta hipótese.

Tabela 11. Porcentagem de ar-condicionado *Split* produzida com R-410A

Ano	Porcentagem produzida com R-410A
2010	0%
2011	4%
2012	7%
2013	10%
2014	13%
2015	17%
2016	20%

Fonte: Mitsidi

Figura 8. Progressão linear para a porcentagem de ar-condicionado *Split* produzida com R-410A



Para os equipamentos de ar-condicionado do tipo *Split*, as emissões para a montagem foram calculadas com os dados de produção obtidos através de um contato na superintendência da Suframa, enquanto os dados para as emissões devido ao uso e manuseio de 2011 até 2016 foram

¹⁵ R-410A é uma mistura de HFC-32 e HFC-125 (50%/50%)

¹⁶ Contato pessoal com o engenheiro Gutemberg Pereira, consultor do MMA, 2019.

retirados da Mitsidi (2018). O ano de 2010 foi descartado dos cálculos de emissões, de acordo com a premissa assumida de que não foram produzidas unidades de ar-condicionado *Split* com R-410A nesse ano.

Foi assumida uma carga de 1kg por unidade para ar-condicionado *Split*.

2.3.6 Ar-condicionado central (VRF)

Os dados de atividades para os equipamentos de ar-condicionado central (VRF), quantidade de unidades, não puderam ser obtidos diretamente; no entanto, a partir de informações obtidas na Abrava, que são fornecidas em capacidade de refrigeração, em TR¹⁷, do total de máquinas comercializadas, foi possível estimar a quantidade de equipamentos para avaliação das emissões. O fluido refrigerante HFC utilizado considerado foi o mesmo que para ar-condicionado *Split* (R-410A) com uma progressão linear de 0% a 20% até 2016, de acordo com a Tabela 11.

2.3.7 Chillers

Os *chillers* são basicamente resfriadores de água. A água gelada produzida por eles é utilizada com o objetivo de arrefecer o ar, produtos ou equipamentos, conforme necessidade. Para *chillers*, os dados de atividade para calcular emissões também foram estimados com base em informações obtidas na Abrava, usando o mesmo procedimento adotado para equipamentos VRF. Foi considerado que 30% do total desses equipamentos foram produzidos com HFC-134a a partir do momento em que os CFCs deixaram de ser usados.

Foi adotada a informação do Terceiro Inventário, considerando a estimativa da carga de refrigerante como 0,34 kg HFC-134a/kW resfriamento (LITTLE, 1999).

2.3.8 Ar-condicionado de automóveis e veículos comerciais leves

Foi considerado, de acordo com o Terceiro Inventário, que todos os sistemas de ar-condicionado veicular foram fabricados, a partir de 1996, utilizando o fluido refrigerante HFC-134a, em substituição ao CFC-12 anteriormente utilizado. A carga média de refrigerante HFC-134a, para ar-condicionado veicular de automóveis e veículos comerciais leves, foi estimada como igual a 760g. Esse valor, diferente do adotado para o Terceiro Inventário, foi obtido a partir de pesquisas a respeito da quantidade de carga inicial em cada tipo de veículo e da quantidade de cada classe de veículo que ingressa no mercado, apresentadas na Tabela 12.

¹⁷ 1 TR \cong 3,51 kW

Tabela 12. Tipos de veículo que ingressam no mercado

Ano	Distribuição das vendas de veículos				
	Hatch pequeno	SUV	Sedan pequeno	Picape grande	Outros
2008	44,61%	5,53%	15,27%	3,59%	31,00%
2010	43,33%	6,27%	17,61%	3,92%	28,87%
2012	44,11%	7,51%	16,15%	4,54%	27,69%
2014	41,75%	8,98%	17,50%	5,14%	26,63%
2016	40,12%	15,20%	16,22%	7,87%	20,59%

Fonte: Infomoney (2018)

Tabela 13. Carga de HFC-134a para cada tipo de veículo em gramas

Tipo de Veículo	Carga (g)
Hatch Pequeno	650
SUV	800
Sedan Pequeno	750
Picape Grande	900
Outros	900

Fonte: K2 Ar-Condicionado.

Para estimar a quantidade de veículos que ingressam no mercado com ar-condicionado, foram utilizados dados do Terceiro Inventário e informações adicionais, obtidas neste Quarto Inventário. Em complemento àqueles dados, foi feita uma regressão linear para a estimativa da quantidade de veículos fabricados com ar-condicionado. As tabelas a seguir apresentam essas informações.

Tabela 14. Quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado de acordo com o Terceiro Inventário

Dados de automóveis fabricados com ar-condicionado	Porcentagem
1995	18%
1997	27%
1999	38%
2001	45%
2005	58%
2009	65%

Obs: Como os veículos de 1995 ainda usavam CFCs para abastecer os sistemas de ar-condicionado, o dado desse ano foi usado apenas para a criação da progressão linear.

Fonte: Brasil (2016)

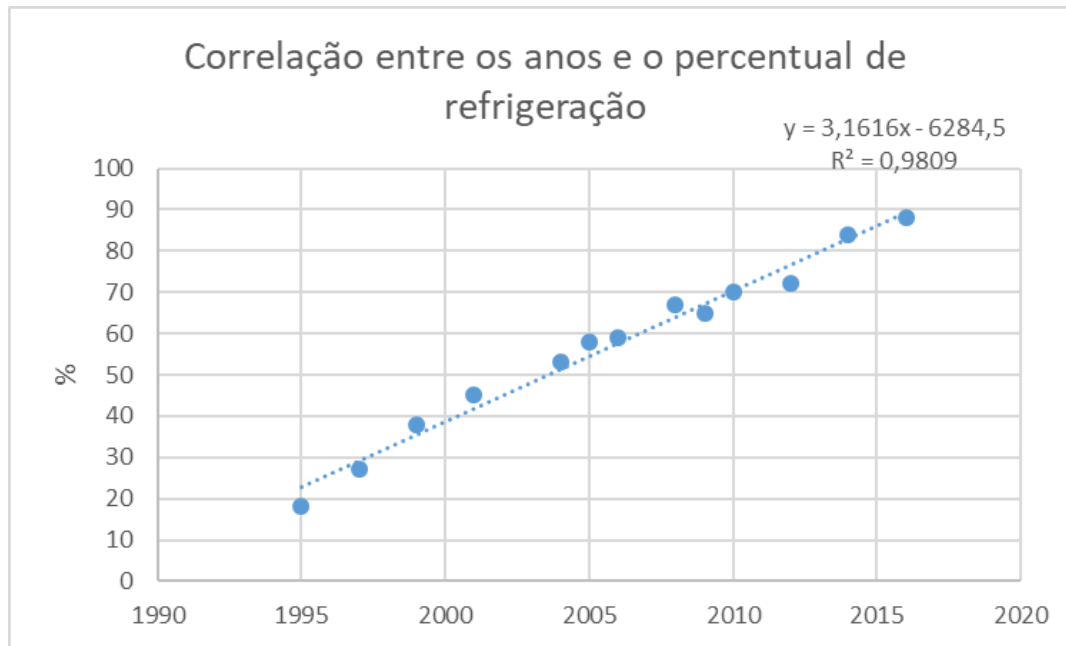
Tabela 15. Dados adicionais obtidos sobre a quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado

Dados de automóveis fabricados com ar-condicionado	Porcentagem
2004	53%
2006	59%
2008	67%
2010	70%
2012	72%
2014	84%
2016	88%

Fonte: Automotive business (2014)

Tabela 16. Percentuais calculados para a participação de veículos produzidos com ar-condicionado

Dados de automóveis fabricados com ar-condicionado	Porcentagem (%)
1995	23
1996	26
1997	29
1998	32
1999	36
2000	39
2001	42
2002	45
2003	48
2004	51
2005	55
2006	58
2007	61
2008	64
2009	67
2010	70
2011	74
2012	77
2013	80
2014	83
2015	86
2016	89

Figura 9. Progressão estimada para a quantidade de veículos produzidos com ar-condicionado

2.3.9 Ar-condicionado de ônibus

Assim como para automóveis e veículos comerciais leves, foi considerado que o HFC-134a foi usado em 100% da produção de ônibus a partir de 1996. Para as estimativas das emissões relacionadas aos ônibus, foram confirmadas, a partir de contato com especialistas, as hipóteses adotadas no Terceiro Inventário, considerando-se que, do total de ônibus, 40% são para transporte rodoviário e 60% para uso urbano. Foi considerado também que todos os ônibus rodoviários possuem ar-condicionado, no entanto apenas 3% da frota total dos ônibus urbanos foram considerados como possuidores de ar-condicionado, conforme informações de especialistas do setor. Essas premissas foram adotadas para todos os anos considerados.

A carga média de fluido refrigerante para sistemas de ar-condicionado em ônibus foi considerada 5kg por unidade e o fluido refrigerante utilizado foi considerado HFC-134a para todas as unidades.

2.3.10 Caminhões

i) Transporte refrigerado

Para o transporte rodoviário com caminhões, assim como no caso dos ônibus, foram confirmados valores próximos aos adotados pelo Terceiro Inventário. Foi considerado neste Inventário que 1,63%, assim como no Terceiro Inventário, do total de caminhões no Brasil são utilizados para transporte refrigerado com câmaras ou baús frigoríficos. Dentre eles, 80% utilizam o refrigerante HFC-134a, com uma carga de 4,5kg; e os restantes 20% utilizam o fluido R-404A, com uma carga de 6kg. A substituição por esses fluidos ocorre com a diminuição da produção de sistemas contendo

CFCs estabelecidas da mesma maneira que com ar-condicionado veicular, ou seja, 0% em 1995 e 100% em 1996.

ii) Ar-condicionado

Não foram identificadas informações disponíveis sobre a fração de caminhões que contém sistema de ar-condicionado, assim como a variação temporal dessa fração ao longo do período de análise. A alternativa utilizada neste Quarto Inventário foi avaliar dados do mercado de vendas de caminhões disponíveis em *sites* de vendas de veículos. Foi pesquisada a quantidade de caminhões colocados à venda por ano de fabricação e a porcentagem deles que possuía um sistema de ar-condicionado para refrigeração da cabine. A partir disso foi adotada a hipótese de uma progressão linear para determinar a porcentagem de caminhões com ar-condicionado de fábrica por ano. Do ano de 2007 em diante, nota-se um aumento na porcentagem de unidades de caminhões com ar-condicionado na cabine e pode-se perceber desse ponto em diante uma difusão maior desses sistemas nesse tipo de veículo, portanto foi adotada uma segunda progressão linear para esses anos. A carga média de refrigerante HFC-134a nos sistemas de ar-condicionado de caminhões foi adotada igual a 1,2kg por unidade (HABEDA, 2017). Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 17. Dados obtidos para a quantidade de caminhões produzidos com ar-condicionado

Ano	Porcentagem (%)
1995	2
1996	1,95
1997	2,75
1998	3,3
1999	2,2
2000	1,7
2001	1,45
2002	3,1
2003	2,6
2004	4,2
2005	4,1
2006	3,2
2007	3,8
2008	9,2
2009	7,25
2010	11,6
2011	15,4
2012	18,7
2013	23
2014	22,5
2015	32
2016	27

Os dados da Tabela 17 foram colocados plotados, na Figura 11, para se observar a melhor linha de tendência a ser utilizada. Optou-se por considerar dois segmentos lineares, o primeiro sendo de

1995 a 2007 (variação de 2% a 4%) e o segundo de 2007 a 2016 (variação de 4% a 30%). Os percentuais utilizados estão na Tabela 18.

Figura 10. Progressão linear estimada para a quantidade de caminhões produzidos com ar-condicionado

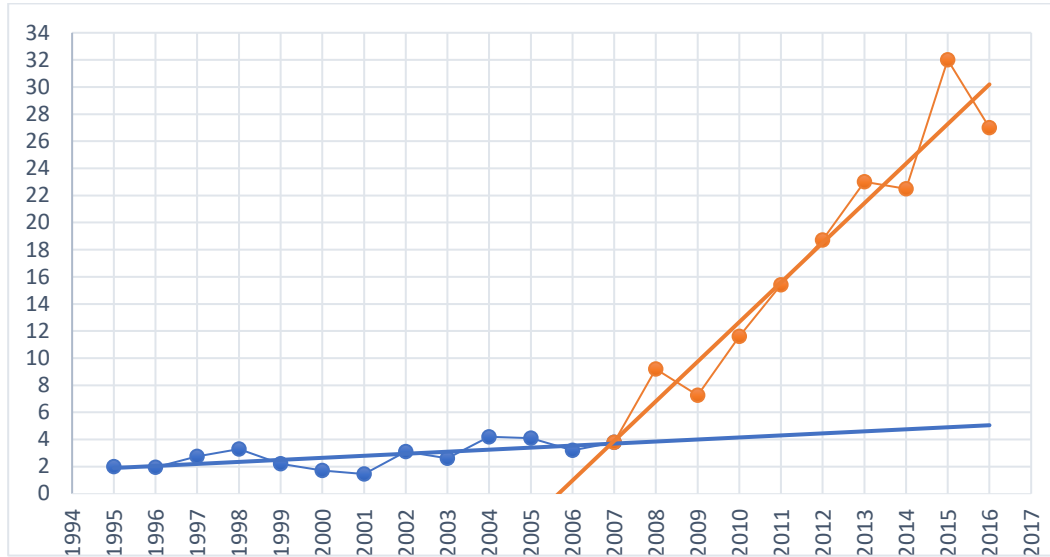


Tabela 18. Percentuais usados para caminhões produzidos com ar-condicionado

Ano	Porcentagem (%)	Ano	Porcentagem (%)
1995	2	2006	3,8
1996	2,1	2007	4
1997	2,2	2008	7
1998	2,3	2009	10
1999	2,4	2010	13
2000	2,6	2011	16
2001	2,8	2012	19
2002	3	2013	21
2003	3,2	2014	24
2004	3,4	2015	27
2005	3,6	2016	30

2.4 Produção de HCFC-22

A produção de HCFC-22 gera emissões fugitivas de HFC-23 na proporção *default* considerada de 4%, conforme o IPCC 2006.

2.5 Espumas

Para espumas de célula fechada, somente cerca de 10% do agente expansor é liberado durante o processo de espumação, enquanto a substância química restante fica contida no isolamento. Essa quantidade que permanece na espuma é liberada lentamente ao longo dos 20 a 25 anos de tempo de vida da espuma. Emissões de HFC de espuma isolante no ano t são calculadas como:

Emissões de HFCs no ano $t = 10\%$ da quantidade total de HFC usado na fabricação de espuma isolante no ano em $t + 4,5\%$ da quantidade de HFC originalmente utilizada na espuma fabricada entre o ano t e $t - 20$

Para as emissões do setor de espumas foi utilizada a equação para espumas de célula fechada, admitindo-se que a espuma foi fabricada no meio do ano t e, dessa forma, a parcela das emissões referente à liberação do HFC contido na espuma ocorrerá ao longo do meio ano restante para finalizar o ano em análise. Para o primeiro ano consideraram-se 50% de vazamento.

2.6 Solventes

Substâncias químicas usadas como agentes de limpeza são totalmente (100%) emitidas durante ou logo após o uso. A metodologia proposta assume que os solventes, na média, são utilizados 6 meses após a venda.

Emissões de HFCs no ano $t = 50\%$ da quantidade de HFCs vendida para aplicações como solventes no ano $t + 50\%$ da quantidade de HFCs vendida para aplicações como solventes no ano $t - 1$

Os dados de HFCs vendidos para a produção de solventes não puderam ser obtidos devido à grande quantidade de variações possíveis nessa área e outros usos para as mesmas substâncias.

2.7 Aerossóis

As emissões de aerossóis normalmente ocorrem pouco depois da produção, em média seis meses depois de venda. No entanto, o período entre fabricação e venda pode variar significativamente dependendo da subaplicação envolvida. Durante o uso de aerossóis, 100% da substância química são emitidos.

2.8 Extintores de incêndio

O HFC-227ea é usado em sistemas de extinção de incêndio onde se faz presente uma quantidade grande de equipamentos eletrônicos e/ou de tecnologia em geral. Nesses locais os sistemas de supressão por gás HFC-227ea compõem-se da instalação de cilindros de HFC-227ea, que serão conectados às redes de distribuição com a função de conduzir o gás até os locais de descarga. A substância é descarregada nas áreas em emergência através de difusores especiais instalados estrategicamente nas áreas protegidas¹⁸. As emissões foram calculadas com o valor *default* do IPCC 2006 para esses sistemas, onde 4% do banco dessa substância são vazados ao ano, portanto a quantidade não emitida como vazamento é somada à quantidade que ingressa no mercado no ano seguinte para fazer parte do cálculo de emissões desse ano.

¹⁸ Disponível em: <http://www.comservicefire.com.br/syssupre.htm>

3 Dados

3.1 Setor Eletroeletrônico

3.1.1 Dados de atividade

Como informado anteriormente, a indústria de semicondutores começou a operar no país apenas a partir de 2005, portanto apenas as emissões do gás ($\text{CHF}_3/\text{HFC-23}$), que começou a ser importado a partir de 2007, serão estimadas com os dados para a fabricação de semicondutores. A fabricação de painéis fotovoltaicos no Brasil foi iniciada em 2012 e ainda está em seus estágios iniciais, motivo pelo qual as emissões correspondentes deste subsetor serão desconsideradas.

Como mencionado, os dados de atividade de produção dos equipamentos eletrônicos não puderam ser obtidos e a quantidade total de CFs importados, menos o volume exportado, para esse setor será contabilizada de acordo com o parágrafo anterior.

O número NCM que diz respeito à importação da substância HFC-23 (CHF_3) agrega diversos outros gases. Para avaliar o valor de HFC-23 neste conjunto, foram obtidos dados de importação de janeiro a maio de 2019 com a empresa Chemours Brasil para HFC-23. Para o mesmo período foi obtido, na pesquisa aos dados do Comex Stat, o total associado ao NCM que contém o HFC-23. O valor importado pela Chemours corresponde a 0,013% do total, conforme mostra a **Tabela 19**. A partir desses dados, foi admitido que a importação de HFC-23 corresponde a 0,015% do valor apresentado pelo NCM considerado. Fez-se contato com outras empresas importadoras dessas substâncias como Frigelar, Solvay, Arkema Fluorochemical e Honeywell, no entanto nenhuma delas atua no mercado de consumo de HFC-23 e não importam essa substância.

Tabela 19. Porcentagem de HFC-23 utilizado para o cálculo das emissões

Valor importado total do NCM (2903.39.19) de jan/maio 2019 (kg)	Valor importado de jan/maio 2019 de HFC-23 (kg)	Porcentagem de HFC-23 contido no valor total de importação	Porcentagem utilizada para a realização dos cálculos de emissões
1.164.953	155	0,013%	0,015%

Tabela 20. Resumo dos dados de atividade utilizados no cálculo de emissões do setor de eletrônicos

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Semicondutores	Importação de HFC-23	Nacional	Comex Stat	anual

Tabela 21. Dados de atividade utilizados no cálculo de emissões do setor de eletrônicos - HFC-23

Ano	Importação	Exportação	Consumo	HFC-23 considerado
2007	213.092	545	212.547	31,9
2008	206.717	554	206.163	30,9
2009	138.137	0	138.137	20,7
2010	130.130	45	130.085	19,5
2011	176.387	0	176.387	26,5
2012	334.316	19	334.297	50,1
2013	325.356	234	325.122	48,8
2014	261.703	81	261.622	39,2
2015	228.833	360	228.473	34,3
2016	592.908	36	592.872	88,9

Unidade: kg

3.1.2 Fatores de emissão

Tabela 22. Fatores de emissão para o subsetor de Produtos Eletrônicos

Descrição	Parâmetro	Valor	Referência	Observações
Heel (gás remanescente no contêiner)	h	0,1	Default	Utilizado em todas as equações
Uso de CHF ₃	1-U _i CHF ₃	0,4	Default	Utilizado na equação 6.2
Eficiência de destruição	a _i •d _i	0	Default	Utilizado em todas as equações
Subproduto* CF ₄ ao usar CHF ₃ no processo	B _{CF₄/CHF₃}	0,07	Default	Utilizado na equação 6.3

* Subproduto (*by-product*)

O fator de emissão *default* do IPCC 2006 para o “heel” ou fração do gás comprado restante no contêiner de remessa após o uso (h) é de 10% (0,1). Foi adotado que, de acordo com o IPCC, os valores-padrão para a eficiência de destruição de CFs (a_i•d_i) devem ser considerados iguais a 0 (zero), conforme Tabela 6.6 do IPCC 2006, quando não está presente nos processos realizados. Como a pesquisa não revelou o uso dessas tecnologias, ele será admitido dessa forma.

As emissões totais são iguais à soma das emissões do gás CF usado no processo de produção mais as emissões dos subprodutos CF₄, C₂F₆, CHF₃ e C₃F₈ resultantes do uso do gás CF. Ao contrário dos métodos *Tier 3* e *2b*, o método do *Tier 2a* não distingue entre tipos de processos (gravação *versus* limpeza) ou ferramentas individuais. Os fatores de emissão-padrão representam médias ponderadas

(com base em avaliações de massas de especialistas), formadas separadamente para cada gás, em todos os processos *etch* e *CVD*.

O método *Tier 2a* usa o fator de emissão de um CF para determinado tipo de processo (*CVD* ou *etch*), em que esse CF seja usado com mais frequência. Esse método reflete uma tendência atual em que os CFs individuais tendem a ser usados predominantemente em tipos de processos específicos (*CVD* ou *etch*) em todos os setores.

3.2 Refrigeração e ar-condicionado

3.2.1 Dados de atividade

Tabela 23. Resumo dos dados de atividade de refrigeradores domésticos

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Refrigeradores domésticos	Produção	Nacional	IBGE	Anual
Refrigeradores domésticos	Importação/Exportação	Nacional	Comex Stat	Anual
Refrigeradores domésticos	Proporção de equipamentos com HFC-134a ou HC-600a	Nacional	ELETROS	ANUAL

Tabela 24. Dados de atividade de refrigeradores domésticos

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	4.519.252	77.824	271.862
1999	5.323.553	52.787	358.193
2000	3.788.110	56.635	472.713
2001	4.813.446	24.454	505.731
2002	4.187.791	19.598	505.619
2003	4.849.912	17.624	1.304.124
2004	5.419.834	9.145	1.645.032
2005	5.296.945	22.416	1.181.629
2006	6.128.610	49.521	1.072.231
2007	7.318.636	81.259	950.856
2008	6.694.221	90.707	792.990
2009	7.599.290	72.950	523.802
2010	7.817.150	131.248	507.717
2011	7.970.792	173.332	321.418
2012	8.281.551	228.254	275.723
2013	9.095.266	193.832	391.394
2014	7.701.615	221.093	544.038
2015	6.909.817	241.894	233.833
2016	9.451.000	117.408	214.466

Unidade: peças

Tabela 25. Resumo dos dados de atividade de freezer (congelador) comercial

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Congelador Comercial	Produção	Nacional	IBGE	Anual
Congelador Comercial	Importação/Exportação	Nacional	Comex Stat	Anual

Tabela 26. Dados de atividade de freezer (congelador) comercial

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	55.580	264	64.210
1999	12.656	6.235	69.010
2000	918.109	629	88.552
2001	88.118	1.711	55.715
2002	38.612	56	37.063
2003	23.009	55	62.471
2004	191.620	54	105.040
2005	67.876	63	100.380
2006	191.397	292	106.384
2007	426.927	362	105.691
2008	401.604	1.231	96.757
2009	442.011	1.991	60.083
2010	161.388	5.185	70.971
2011	447.748	3.002	65.527
2012	617.446	26.388	52.489
2013	481.146	87.263	49.413
2014	673.799	36.683	43.965
2015	546.249	50.682	40.515
2016	323.743	19.038	45.486

Unidade: peças

Tabela 27. Resumo dos dados de atividade de vitrinas e câmaras frigoríficas

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Vitrinas e câmaras frigoríficas	Produção	Nacional	IBGE	Anual
Vitrinas e câmaras frigoríficas	Importação/Exportação	Nacional	Comex Stat	Anual

Tabela 28. Dados de atividade de vitrinas e câmaras frigoríficas

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	360.875	38.011	6.224
1999	308.366	12.859	7.613
2000	142.867	6.947	17.800
2001	139.653	4.254	21.349
2002	245.386	8.462	15.368
2003	210.955	880	110.720
2004	216.625	884	258.710
2005	461.141	7.804	169.033
2006	414.331	25.419	60.269
2007	566.429	48.355	86.990
2008	536.628	102.202	34.229
2009	250.830	60.430	23.206
2010	572.698	154.332	22.646
2011	562.430	201.806	20.988
2012	436.709	108.742	14.707
2013	463.800	69.498	19.459
2014	751.482	49.292	40.387
2015	615.326	51.287	19.824
2016	445.271	33.582	16.873

Unidade: peças**Tabela 29.** Resumo dos dados de atividade de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros	Produção	Nacional	IBGE	Anual
Unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros	Importação/exportação	Nacional	Comex Stat	Anual

Tabela 30. Dados de atividade de unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros

Ano	Produção	Importação	Exportação
1998	136.289	1.166	11.713
1999	168.258	1.389	16.671
2000	212.178	3.652	24.287
2001	479.853	2.416	23.116
2002	356.391	1.150	22.549
2003	266.734	914	18.885
2004	247.003	17.890	22.737
2005	340.474	31.756	27.508
2006	649.225	36.706	21.435
2007	183.633	98.288	24.392
2008	140.328	125.646	21.681
2009	140.328	146.503	21.830
2010	407.573	215.736	31.368
2011	649.989	417.342	16.870
2012	420.917	344.832	12.644
2013	324.369	652.146	14.853
2014	339.267	485.683	13.318
2015	481.826	428.600	15.322
2016	188.589	218.369	12.315

Unidade: peças

Tabela 31. Resumo dos dados de atividade de ar-condicionado *Split*

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Ar-Condicionado Split	Produção	Nacional	Eletros	Anual
Ar-Condicionado Split	Vendas	Nacional	Euromonitor International	Anual
Ar-Condicionado Split	Proporção de equipamentos com R-410a	Nacional	Eletros	Anual

Tabela 32. Dados de atividade de ar-condicionado *Split*

ANO	Porcentagem produzida com R-410A
2010	0%
2011	4%
2012	7%
2013	10%
2014	13%
2015	17%
2016	20%

Tabela 33. Dados de atividade de ar-condicionado *Split*

Ano	Produção	Vendas
2010	1.178.098	2.350.000
2011	2.689.808	2.650.000
2012	2.934.307	3.200.000
2013	3.406.022	3.500.000
2014	4.634.309	3.900.000
2015	4.978.510	4.250.000
2016	1.524.945	3.750.000

Unidade: peças

Tabela 34. Resumo dos dados de atividade de ar-condicionado central (VRF)

Categoria	Dados de atividade	Desagregação	Fonte dos dados	Observações
Ar-Condicionado Central	Produção	Nacional	Abrava	Anual
Ar-Condicionado Central	Base Instalada	Nacional	Abrava	Anual
Ar-Condicionado Central	Proporção de equipamentos com HFC-134a	Nacional	Terceiro Inventário	Anual

Tabela 35. Dados de atividade de ar-condicionado central (VRF)

Ano	Produção (TR)	Capacidade instalada (TR)
2010	62.201	62.201
2011	58.766	120.967
2012	91.476	212.443
2013	128.175	340.618
2014	183.712	524.330
2015	127.562	651.892
2016	131.841	783.733

Tabela 36. Resumo dos dados de atividade de *chillers*

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
<i>chillers</i>	Produção	Nacional	Abrava	Anual
<i>chillers</i>	Base Instalada	Nacional	Abrava	Anual

Tabela 37. Dados de atividade de *chillers*

Ano	Produção (TR)	Base instalada (TR)
1996	91.020	387.616
1997	121.180	508.796
1998	133.730	642.526
1999	126.830	769.356
2000	171.403	940.759
2001	168.757	1.109.516
2002	116.427	1.225.943
2003	143.559	1.369.501
2004	147.452	1.516.954
2005	149.678	1.666.632
2006	176.827	1.843.459
2007	185.449	2.000.192
2008	192.135	2.157.797
2009	166.920	2.279.337
2010	202.407	2.447.389
2011	233.703	2.638.872
2012	292.521	2.881.663
2013	288.944	3.116.892
2014	283.750	3.339.302
2015	195.526	3.489.706
2016	171.983	3.625.754

Tabela 38. Dados de atividade de ar-condicionado veicular

Categoria	Dados de atividade	Nível de desagregação	Fonte dos dados	Observações
Ar-condicionado veicular	Porcentagem de veículos com ar-condicionado de fábrica	Nacional	Terceiro Inventário	Anual
Ar-condicionado veicular	Porcentagem de veículos com ar-condicionado de fábrica	Nacional	<i>Automotive business</i>	Anual

Tabela 39. Resumo dos dados de atividade de automóveis

Categoria	Dados de atividade	Desagregação	Fonte dos dados	Observações
Automóveis	Produção	Nacional	Anfavea	Anual
Automóveis	Importação/Exportação	Nacional	Anfavea	Anual

Tabela 40. Dados de atividade de automóveis

Ano	Produção	Importação	Exportação
1990	604.499	115	60.606
1991	616.970	19.561	36.728
1992	667.716	22.400	94.633
1993	910.464	59.665	58.903
1994	1.027.152	158.987	51.435
1995	1.149.940	306.998	40.653
1996	1.320.105	164.554	54.148
1997	1.519.529	226.678	129.814
1998	1.137.219	265.296	160.766
1999	1.059.533	129.152	145.631
2000	1.298.437	116.735	207.186
2001	1.384.368	134.346	197.157
2002	1.376.219	85.050	220.123
2003	1.428.270	54.144	329.773
2004	1.777.642	39.937	469.638
2005	1.979.545	56.706	595.098
2006	2.027.305	105.043	514.972
2007	2.360.739	231.769	511.186
2008	2.498.482	316.380	457.695
2009	2.568.167	423.950	308.772
2010	2.682.924	571.202	405.709
2011	2.630.893	750.550	442.606
2012	2.763.445	676.529	349.172
2013	2.954.279	586.364	461.066
2014	2.502.122	505.293	263.604
2015	2.007.240	336.033	316.537
2016	1.798.894	203.521	408.123

Unidade: peças

Tabela 41. Resumo dos dados de atividade de veículos comerciais leves

Categoria	Dados de atividade	Desagregação	Fonte dos dados	Observações
Comerciais Leves	Produção	Nacional	Anfavea	Anual
Comerciais Leves	Importação/Exportação	Nacional	Anfavea	Anual

Tabela 42. Dados de atividade de veículos comerciais leves

Ano	produção	importação	Exportação
1990	177.749	-	48.354
1991	176.376	276	48.858
1992	183.741	1.291	63.441
1993	199.754	9.413	38.614
1994	218.793	25.371	48.118
1995	220.003	57.750	41.018
1996	239.290	54.961	48.962
1997	258.170	73.140	61.513
1998	209.087	78.537	63.435
1999	160.935	45.822	50.051
2000	214.994	49.613	65.343
2001	190.957	40.793	39.223
2002	167.767	28.084	34.935
2003	154.181	18.055	44.677
2004	216.735	19.697	63.606
2005	235.340	28.508	82.526
2006	243.666	34.142	73.545
2007	295.738	41.994	74.459
2008	350.188	54.697	66.339
2009	356.817	61.729	42.872
2010	468.747	86.414	66.661
2011	513.918	103.412	75.966
2012	469.480	107.145	62.483
2013	530.901	117.109	70.561
2014	471.170	109.648	46.270
2015	316.221	76.866	72.487
2016	298.703	68.087	77.132

Unidade: peças

Tabela 43. Resumo dos dados de atividade de ônibus

Categoria	Dados de atividade	Desagregação	Fonte dos dados	Observações
Ônibus	Produção	Nacional	Anfavea	Anual
Ônibus	Importação/Exportação	Nacional	Anfavea	Anual

Tabela 44. Dados de atividade de ônibus

Ano	Produção	Importação	Exportação
1990	12.962	-	3.020
1991	21.108	-	4.210
1992	22.621	-	7.542
1993	17.700	6	6.741
1994	15.727	2.282	6.661
1995	19.660	2.529	3.989
1996	15.718	2.929	3.575
1997	20.088	771	5.645
1998	20.290	533	5.013
1999	14.315	5	3.849
2000	21.303	245	4.629
2001	21.946	169	5.330
2002	21.450	60	5.358
2003	24.479	77	6.693
2004	25.008	3	9.182
2005	29.366	5	12.907
2006	29.412	14	10.873
2007	35.008	7	10.800
2008	38.202	2	9.717
2009	30.022	1	5.528
2010	40.531	2	9.202
2011	49.369	1	7.720
2012	36.635	-	8.363
2013	40.554	4	9.283
2014	32.937	-	6.608
2015	21.498	10	7.325
2016	18.705	7	9.765

Unidade: peças

Tabela 45. Resumo dos dados de atividade de caminhões

Categoria	Dados de atividade	Desagregação	Fonte dos dados	Observações
Caminhões	Produção	Nacional	Anfavea	Anual
Caminhões	Importação/Exportação	Nacional	Anfavea	Anual

Tabela 46. Dados de atividade de caminhões

Ano	Produção	Importação	Exportação
1990	48.219	-	5.060
1991	46.715	-	3.601
1992	30.960	-	7.794
1993	45.382	614	8.588
1994	60.019	1.940	10.390
1995	70.073	1.771	8.266
1996	48.022	1.561	7.883
1997	63.414	2.626	12.126
1998	63.264	2.849	14.042
1999	55.194	3.759	8.386
2000	71.114	7.585	8.745
2001	77.251	3.008	6.562
2002	68.354	2.170	5.291
2003	77.785	1.611	11.685
2004	104.792	2.128	23.216
2005	112.921	2.949	33.632
2006	103.297	3.296	35.083
2007	133.739	3.298	38.111
2008	163.757	4.051	34.831
2009	120.994	3.370	10.851
2010	189.933	2.623	21.182
2011	223.602	3.929	27.034
2012	133.403	4.396	23.067
2013	187.002	3.374	24.201
2014	139.965	2.057	17.737
2015	74.062	1.425	20.983
2016	60.482	1.805	21.548

Unidade: peças

3.2.2 Fatores de emissão

Tabela 47. Fatores de emissão para fabricação e manuseio (uso)

Descrição do equipamento	Valor para emissões na montagem	Valor para emissões no manuseio (uso)	Referência	Observações
Refrigeração doméstica	0,6%	0,5%	D	Usos na equação 7.4 do IPCC 2006, vol. 3, página 7.17
Refrigeração comercial/industrial	1,75%	10%	D	
Automóveis/veículos comerciais leves	0,5%	15%	D	
Ônibus	0,5%	30%	D	
Caminhões - ar-condicionado	0,5%	15%	D	
Caminhões frigoríficos	0,5%	30%	D	
Chillers/ar-condicionado central	1%	10%	D	
Bebedouros	0,6%	10%	D	
ar-condicionado Split	0,5%	5%	D	

Nota: D - *Default* (valor-padrão)

Fonte: IPCC 2006

Os fatores de emissão no manuseio (uso) para veículos foram aplicados a toda a frota do ano, considerando o sucateamento havido separadamente para cada série da produção anual, ao longo dos anos de vida do veículo.

3.3 Produção de HCFC-22

A Tabela 48 resume a produção brasileira de HCFC-22, encerrada em 1999, de acordo com Revisão do Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - Prozon 1999.

Tabela 48. Produção de HCFC-22 no Brasil, de 1990 a 1999

Ano	Produção HCFC-22
	t
1990	3.006
1991	3.438
1992	4.090
1993	4.307
1994	3.915
1995	3.826
1996	2.226
1997	2.383
1998	326
1999	2.429

Fonte: Brasil (2016)

3.4 Espumas

Nas pesquisas e contatos com empresas e associações do setor realizadas no Terceiro Inventário, foi encontrado um uso de 50 t HFC-134a/ano, de 2006 a 2011, na produção de espumas rígidas. Novos contatos foram feitos e constataram que esse HFC-134a deixou de ser usado nessas aplicações a partir de 2012, portanto foram consideradas nulas nos anos seguintes.

Para a mistura HFC-365mfc/HFC-227ea foram obtidos dados de importação dessa substância para os anos de 2017 e 2018. Uma média foi adquirida e usada para os anos de 2007 a 2016, presumindo que a porcentagem média se manteve constante nesses anos para esse agente expensor, conforme demonstrado na Tabela 49. A proporção das substâncias presentes nessa mistura HFC é de 93% de HFC-365mfc e de 7% de HFC-227ea. Os cálculos utilizados são os mesmos que para o HFC-134a.

Tabela 49. Porcentagem de HFC-365mfc/227ea no Brasil

Ano	Importação (kg)	Exportação (kg)	Total do NCM (kg)	Total de HFC-365/227 (kg)	Porcentagem	Média
2017	3.508.948	42.673	3.466.275	19.200	0,55%	0,84%
2018	3.429.124	18.086	3.411.038	38.400	1,12%	

Tabela 50. Quantidades de HFC-365mfc/227ea no NCM por ano

Ano	Total do NCM (kg)	Quantidade de HFC-365mfc/227ea (kg)
2007	143.540	1.206
2008	83.997	706
2009	174.329	1.464
2010	211.809	1.779
2011	516.159	4.336
2012	943.918	7.929
2013	2.267.534	19.047
2014	2.463.626	20.694
2015	2.706.544	22.735
2016	2.849.597	23.937

Fonte: Comexstat. Códigos NCM para HFC-227ea: 29033919; para HFC-365mfc/227ea: 38247890.

3.5 Aerossóis

Informações usadas no Terceiro Inventário foram confirmadas e utilizadas para estimar a quantidade de HFC-134a usada em MDIs. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 52.

Tabela 51. Porcentagem de HFC-134a usada em MDIs

Ano	Fração da Importação de HFC-134a destinada ao uso em MDI	Importação de HFC-134a	Uso em MDI
	%	kg	kg
2006	0,64	3.833.893	24.537
2007	0,64	6.023.421	38.550
2008	0,70	3.665.547	25.659
2009	0,65	5.194.744	33.766
2010	0,58	7.072.471	41.020
2011	1,11	6.756.598	74.998
2012	0,71	7.691.229	54.608
2013	0,74	9.056.364	67.017
2014	0,72	8.658.494	62.341
2015	0,72	8.479.463	61.052
2016	0,72	7.895.366	56.847

Fonte: Brasil (2016), confirmado em Comexstat, código NCM: 29033911

O uso de HFC-134a em MDIs a partir dos valores da **Tabela 52** foi adotado como igual ao valor médio de 0,72% do total de HFC-134a importado para os anos seguintes: 8.658.494, 8.479.463 e 7.895.366 kg, de 2014 a 2016, respectivamente.

3.6 Extintores de incêndio

Foram obtidos dados para a importação de HFC-227ea para os anos de 2017 e 2018. Com os dados totais de importação para o NCM que contém essa substância, foi extraída e utilizada uma média para os demais anos considerados, conforme apresentado a seguir.

Tabela 52. Porcentagem de HFC-227ea no Brasil (kg)

Ano	Importação	Exportação	Total	Total de HFC-227ea	Porcentagem	Média
2017	1.503.885	185	1.503.700	119.358	8%	5,40%
2018	3.036.255	10.614	3.025.641	84.365	2,80%	

Tabela 53. Quantidades de HFC-227ea no NCM por ano (kg)

Ano	Total do NCM	Porcentagem de HFC - 227ea
2007	212.547	11.478
2008	206.163	11.133
2009	138.137	7.459
2010	130.085	7.025
2011	176.387	9.525
2012	334.297	18.052
2013	325.122	17.557
2014	261.622	14.128
2015	228.473	12.338
2016	592.872	32.015

4 Resultados

4.1 Setor de Eletroeletrônico

Tabela 54. Emissões totais de HFC-23

Ano	Emissões de HFC-23 (kg)
2007	11,5
2008	11,1
2009	7,5
2010	7,0
2011	9,5
2012	18,1
2013	17,6
2014	14,1
2015	12,3
2016	32,0

Figura 11. Emissões totais de HFC-23

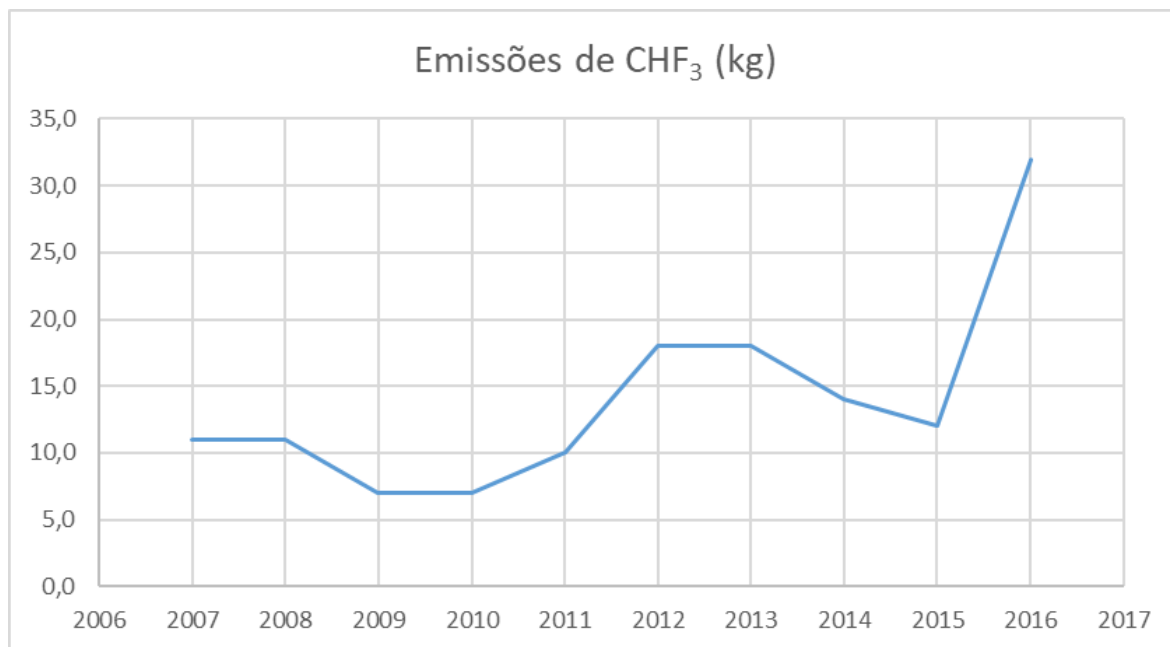


Tabela 55. Emissões totais de CF₄

Ano	Emissões de CF ₄ (kg)
2007	2,01
2008	1,95
2009	1,31
2010	1,23
2011	1,67
2012	3,16
2013	3,07
2014	2,47
2015	2,16
2016	5,60

Figura 12. Emissões totais de CF₄

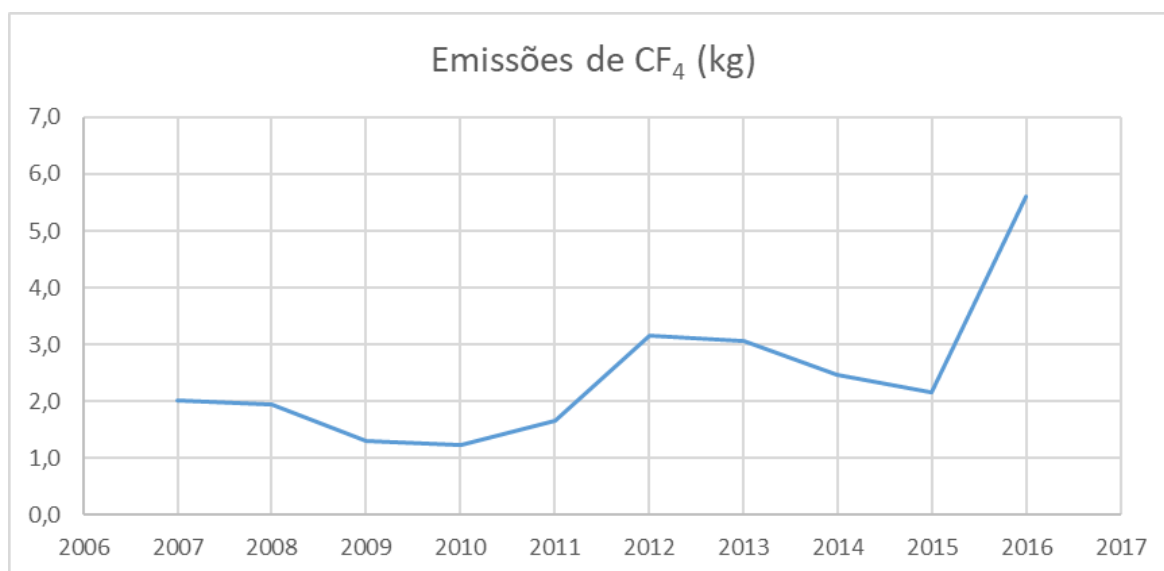
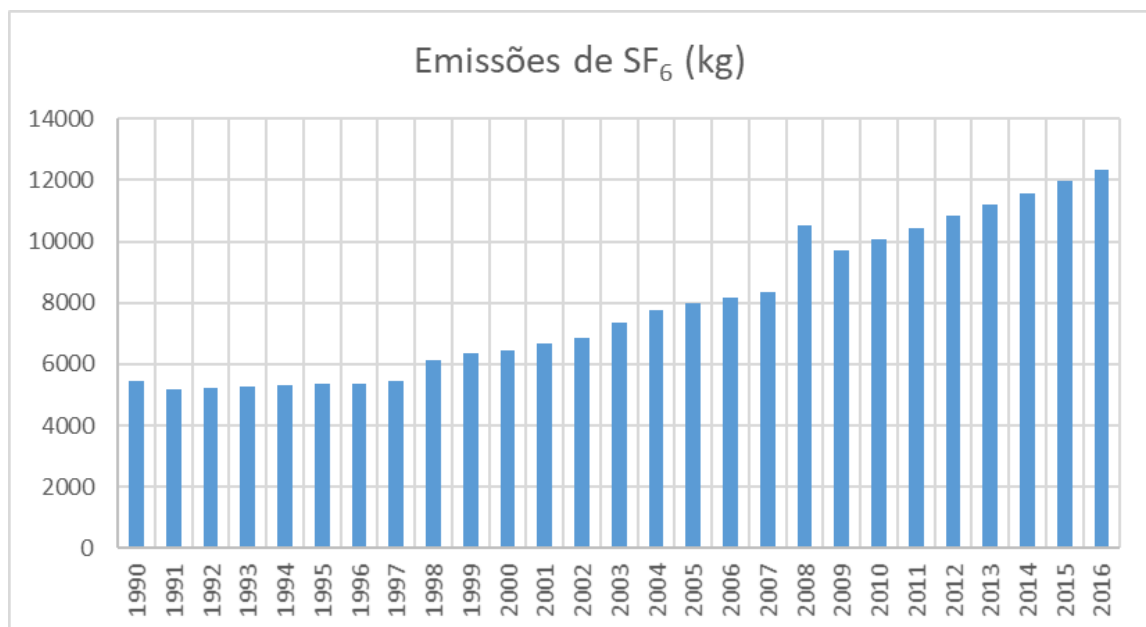


Tabela 56. Emissões totais de SF₆

Ano	Capacidade instalada de SF ₆ (kg)	Uso de SF ₆ em equipamentos elétricos 2,6% (kg)
1990	208.846	5.430
1991	199.627	5.190
1992	200.760	5.220
1993	202.415	5.263
1994	204.155	5.308
1995	205.467	5.342
1996	207.053	5.383
1997	208.844	5.430
1998	236.637	6.153
1999	243.837	6.340
2000	248.310	6.456
2001	255.931	6.654
2002	264.081	6.866
2003	281.954	7.331
2004	297.807	7.743
2005	306.316	7.964
2006	313.736	8.157
2007	320.629	8.336
2008	404.237	10.510
2009	373.063	9.700
2010	387.496	10.075
2011	401.929	10.450
2012	416.362	10.825
2013	430.795	11.201
2014	448.228	11.576
2015	459.661	11.951
2016	474.094	12.326

Figura 13. Emissões totais de SF₆

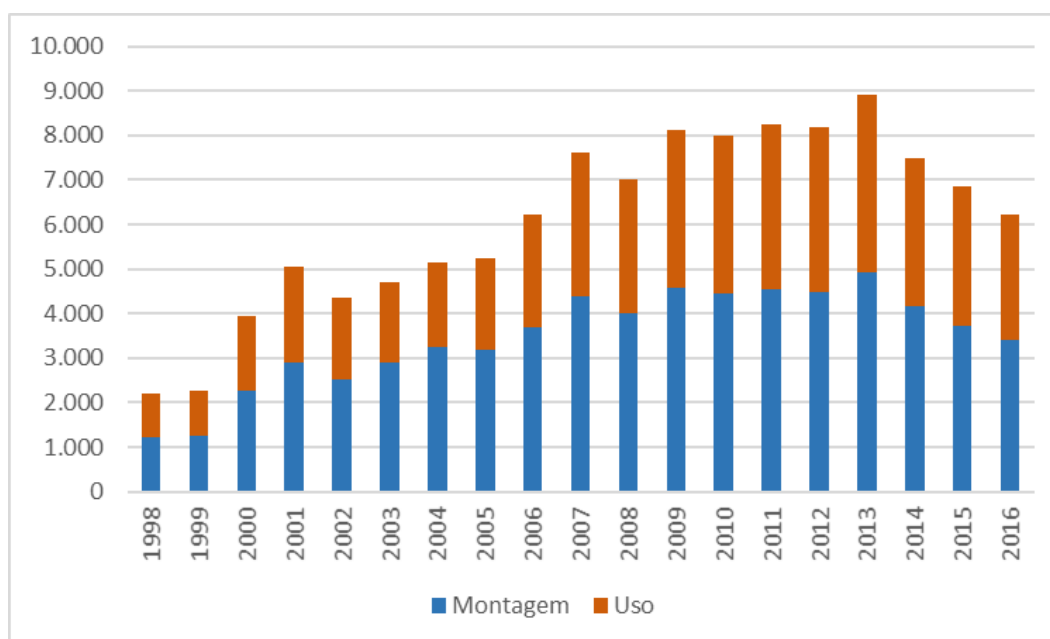
4.2 Setor de Refrigeração e Ar-Condicionado

4.2.1 Emissões da refrigeração doméstica

Tabela 57. Emissões de HFC-134a na refrigeração doméstica

Ano	Montagem	Uso
	kg	
1998	1.226	977
1999	1.262	991
2000	2.266	1.681
2001	2.888	2.166
2002	2.513	1.851
2003	2.910	1.782
2004	3.252	1.892
2005	3.178	2.069
2006	3.677	2.553
2007	4.391	3.225
2008	4.017	2.996
2009	4.560	3.574
2010	4.456	3.534
2011	4.543	3.716
2012	4.472	3.705
2013	4.911	4.004
2014	4.159	3.320
2015	3.731	3.113
2016	3.402	2.806

Figura 14. Emissões de HFC-134a na refrigeração doméstica (kg)



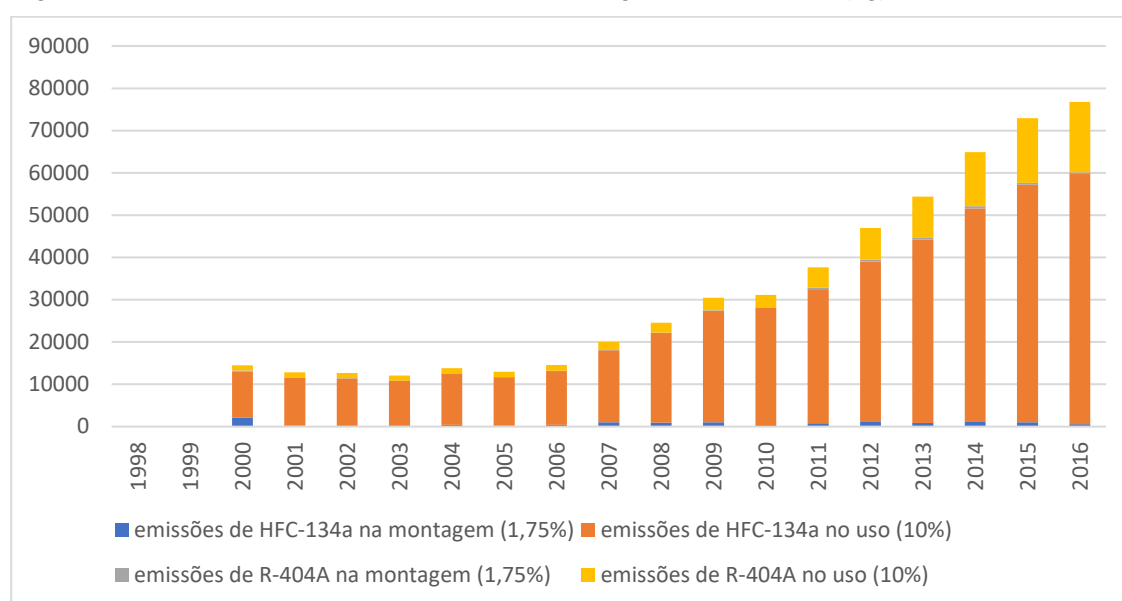
4.2.2 Congelador comercial

Tabela 58. Emissões de HFC-134a e R-404A em congeladores comerciais

Ano	Emissões de HFC-134a (kg)		Emissões de R-404A (kg)	
	Montagem	Uso	Montagem	Montagem
1998	59	0*	7	0*
1999	12	0*	1	0*
2000	2.163	11.174	240	1.242
2001	208	11.634	23	1.293
2002	91	11.656	10	1.295
2003	54	11.124	6	1.236
2004	453	12.294	50	1.366
2005	160	11.856	18	1.317
2006	452	13.007	50	1.445
2007	1.009	17.349	112	1.928
2008	949	21.481	105	2.387
2009	1.044	26.664	116	2.963
2010	381	27.954	42	3.106
2011	823	31.999	353	4.840
2012	1.135	38.208	486	7.501
2013	884	43.658	379	9.836
2014	1.238	50.656	531	12.835
2015	1.004	56.499	430	15.339
2016	595	59.620	255	16.677

Obs: * Esses dados não puderam ser obtidos

Figura 15. Emissões de HFC-134a e R-404A em congelador comercial (kg)

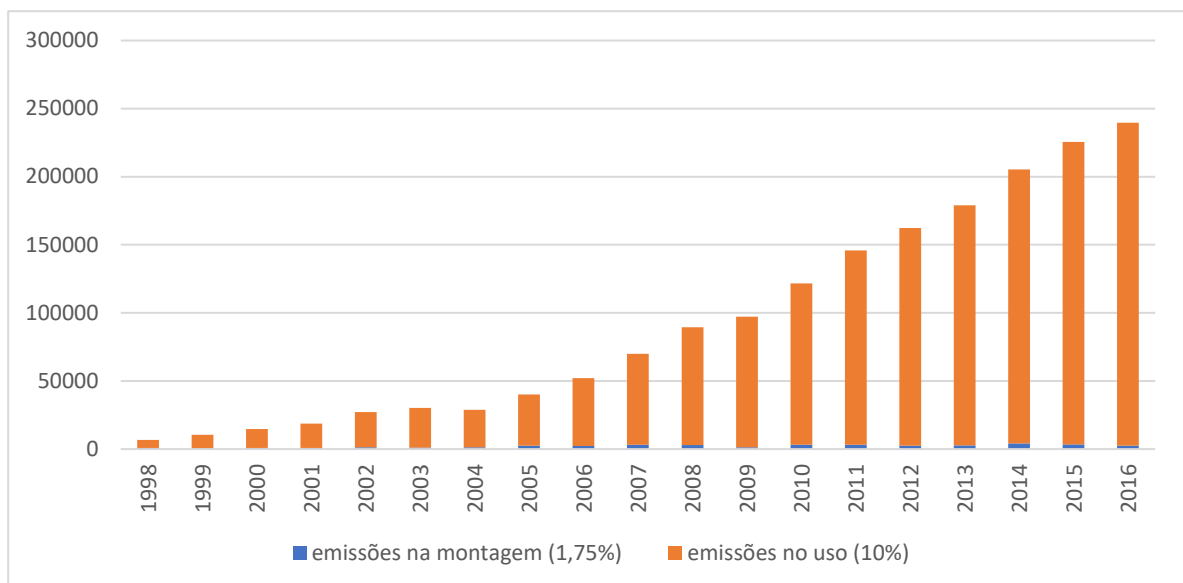


4.2.3 Vitrinas e câmaras frigoríficas

Tabela 59. Emissões de HFC-134a em vitrinas e câmaras frigoríficas

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)
1998	925	5.750
1999	691	9.764
2000	808	14.028
2001	792	17.999
2002	1.391	25.726
2003	1.196	29.002
2004	1.228	27.667
2005	2.615	37.384
2006	2.349	49.680
2007	3.212	66.780
2008	3.043	86.369
2009	1.422	95.702
2010	3.247	118.524
2011	3.189	142.605
2012	2.476	159.802
2013	2.630	176.450
2014	4.261	201.087
2015	3.489	222.042
2016	2.525	237.011

Figura 16. Emissões de HFC-134a em vitrinas e câmaras frigoríficas (kg)

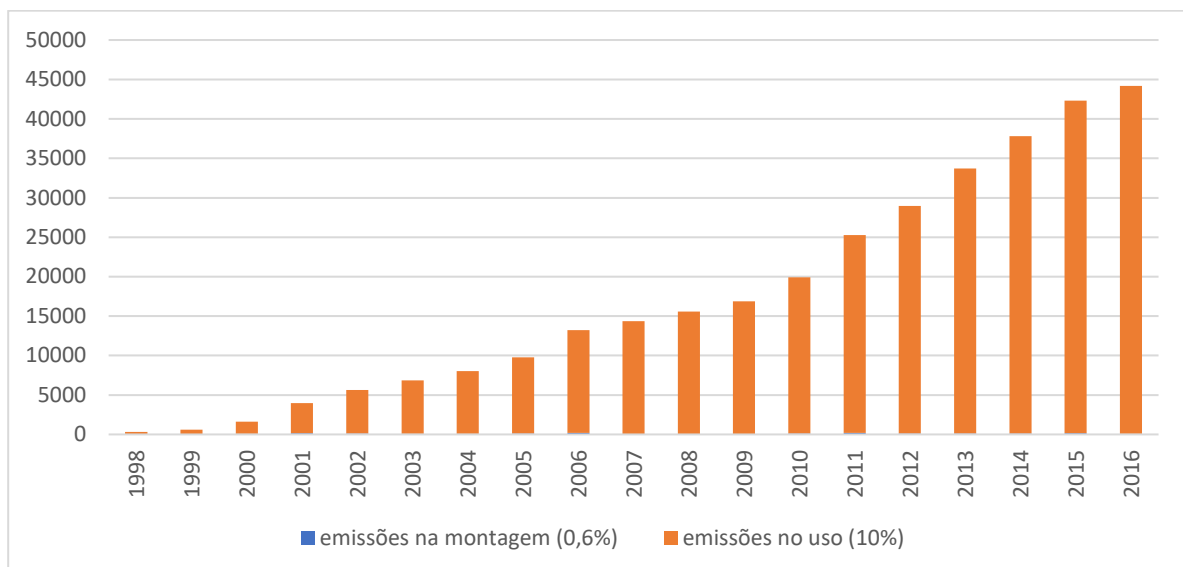


4.2.4 Resfriamento de águas, sucos e bebedouros

Tabela 60. Emissões de HFC-134a em unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)
1998	18	284
1999	20	586
2000	63	1.541
2001	144	3.837
2002	107	5.512
2003	80	6.756
2004	74	7.966
2005	102	9.690
2006	195	13.013
2007	55	14.300
2008	42	15.522
2009	42	16.847
2010	122	19.806
2011	195	25.059
2012	126	28.824
2013	97	33.633
2014	102	37.691
2015	145	42.166
2016	57	44.139

Figura 17. Emissões de HFC-134a em unidades de resfriamento de água, sucos e bebedouros (kg)

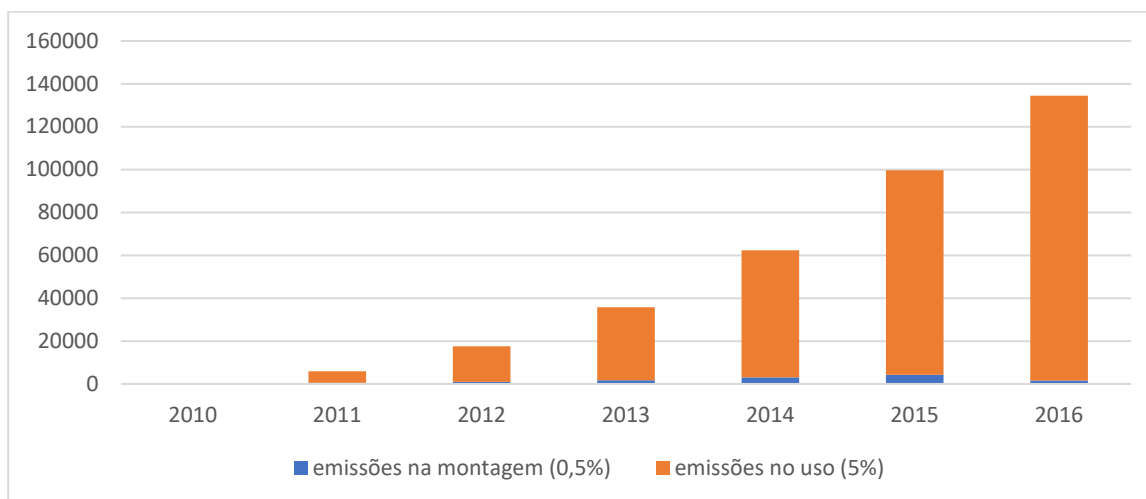


4.2.5 Ar-condicionado Split

Tabela 61. Emissões de R-410A em ar-condicionado Split

Ano	Emissões na montagem (kg)	Emissões no uso (kg)
2010	0	0
2011	538	5.300
2012	1.027	16.500
2013	1.703	34.000
2014	3.012	59.350
2015	4.232	95.475
2016	1.525	132.975

Figura 18. Emissões de R-410A em ar-condicionado Split (kg)

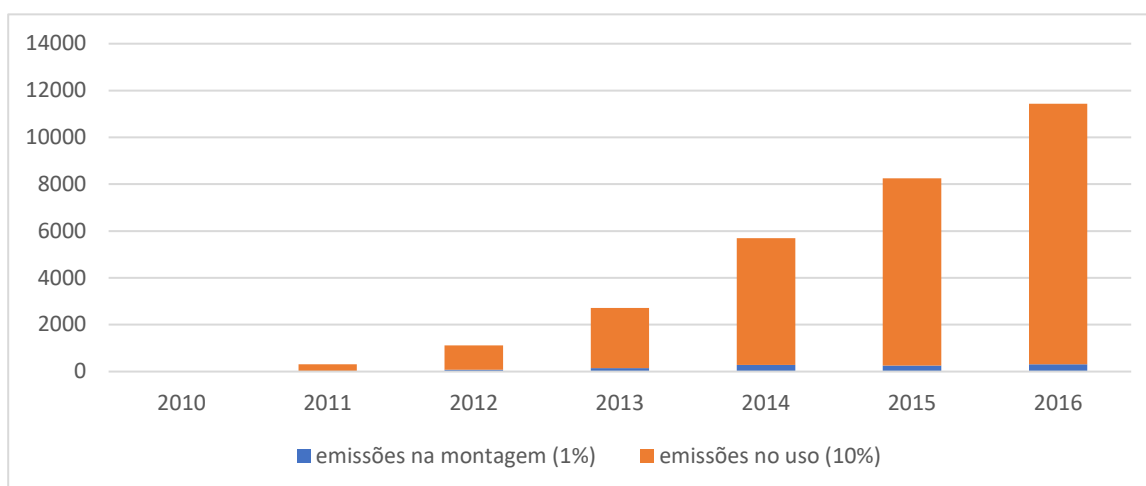


4.2.6 Ar-condicionado central (VRF)

Tabela 62. Emissões de R-410A em ar-condicionado central (VRF)

Ano	Emissões na montagem (kg)	Emissões no uso (kg)
2010	-	-
2011	28	280
2012	76	1.042
2013	152	2.567
2014	284	5.409
2015	258	7.990
2016	314	11.127

Figura 19. Emissões de R-410A em ar-condicionado central (VRF) (kg)

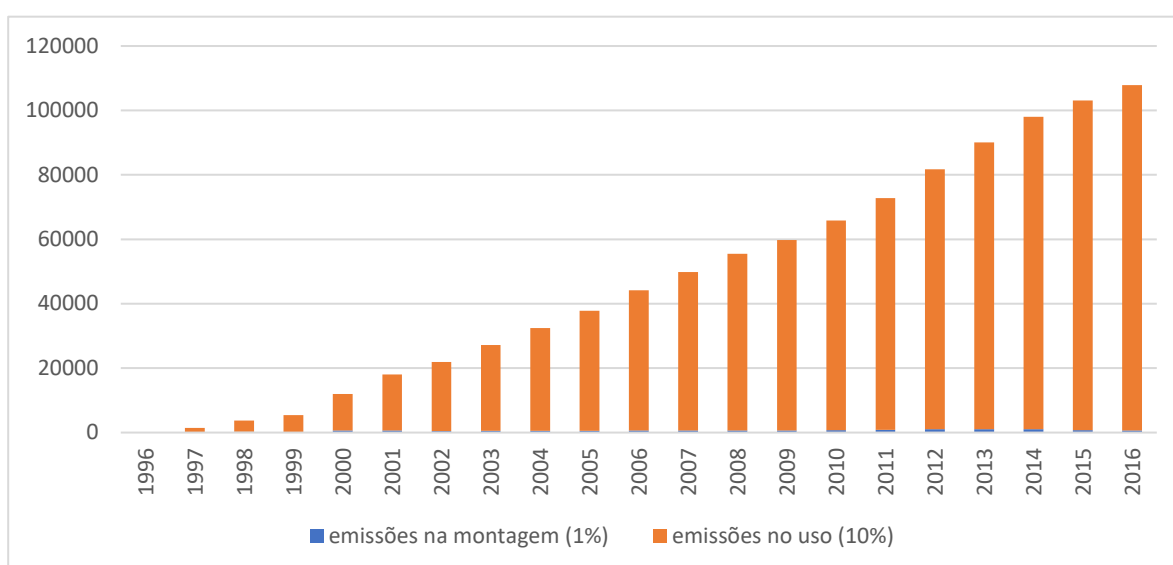


4.2.7 Chillers

Tabela 63. Emissões de HFC-134a em *chillers*

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)
1996	-	-
1997	131	1.311
1998	216	3.469
1999	179	5.257
2000	610	11.358
2001	602	17.383
2002	416	21.539
2003	513	26.664
2004	526	31.928
2005	534	37.272
2006	631	43.584
2007	662	49.180
2008	686	54.806
2009	596	59.145
2010	723	65.145
2011	834	71.981
2012	1.044	80.648
2013	1.032	89.046
2014	1.013	96.986
2015	698	102.355
2016	614	107.212

Figura 20. Emissões de HFC-134a em *chillers* (kg)



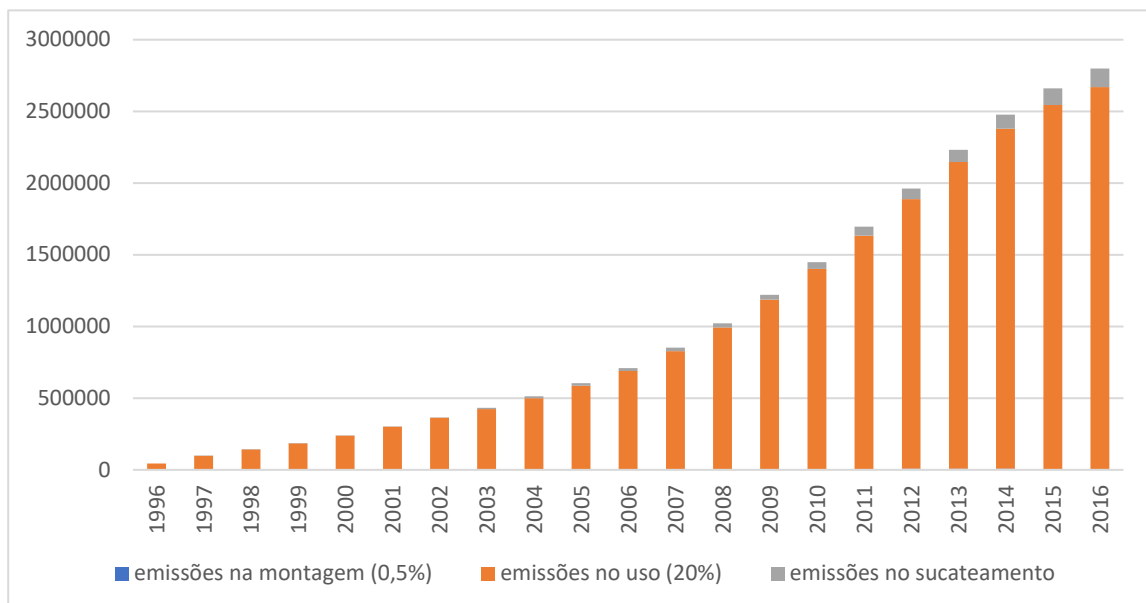
4.2.8 Ar-condicionado veicular

4.2.8.1 Automóveis

Tabela 64. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de automóveis

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)	Sucateamento (kg)	Total (kg)
1996	1.304	42.400	-	43.705
1997	1.675	95.662	997	98.334
1998	1.426	140.625	1.792	143.800
1999	1.449	182.931	2.356	186.736
2000	1.924	235.891	2.982	240.798
2001	2.209	298.035	3.781	304.026
2002	2.353	360.065	4.400	366.818
2003	2.605	420.874	8.079	431.559
2004	3.513	496.213	12.776	512.434
2005	4.137	582.551	17.178	603.866
2006	4.468	684.284	21.064	709.816
2007	5.472	822.387	25.363	853.222
2008	6.076	985.975	30.260	1.022.311
2009	6.539	1.180.494	34.311	1.221.344
2010	7.137	1.394.948	46.363	1.448.448
2011	7.398	1.627.241	60.864	1.695.502
2012	8.086	1.879.717	73.346	1.961.149
2013	8.981	2.138.044	84.880	2.231.905
2014	7.987	2.370.963	99.252	2.478.107
2015	6.560	2.538.378	114.675	2.659.613
2016	6.084	2.663.942	128.729	2.798.755

Figura 21. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de automóveis (kg)

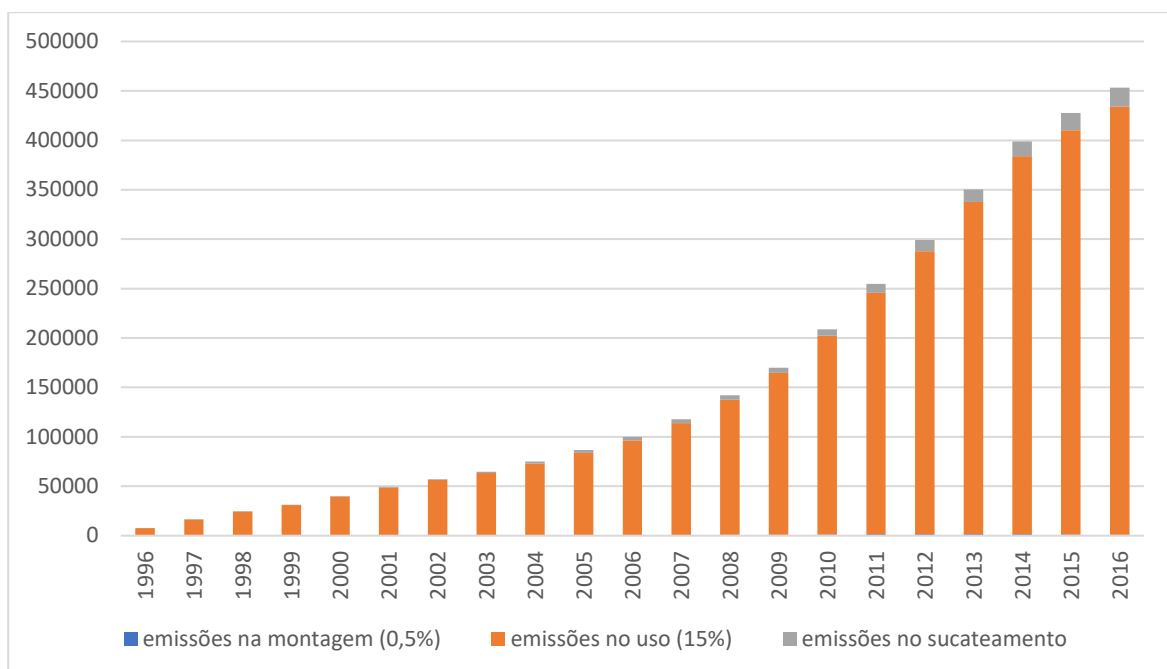


4.2.8.2 Veículos comerciais leves

Tabela 65. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de comerciais leves

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)	Sucateamento (kg)	Total (kg)
1996	236	7.270	-	7.507
1997	285	16.160	171	16.615
1998	262	24.281	302	24.837
1999	220	30.626	411	31.256
2000	319	39.361	492	40.171
2001	305	48.388	631	49.324
2002	287	56.373	701	57.361
2003	281	62.986	1.287	64.554
2004	428	72.552	2.009	74.981
2005	492	83.285	2.757	86.534
2006	537	95.979	3.295	99.811
2007	686	113.267	3.944	117.896
2008	852	136.697	4.577	142.126
2009	908	163.822	5.052	169.783
2010	1247	200.898	6.755	208.900
2011	1445	244.244	9.055	254.743
2012	1374	286.572	11.137	299.083
2013	1614	335.902	12.660	350.176
2014	1504	382.504	14.917	398.906
2015	1033	409.250	17.260	427.544
2016	1010	433.222	18.879	453.112

Figura 22. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado de comerciais leves (kg)

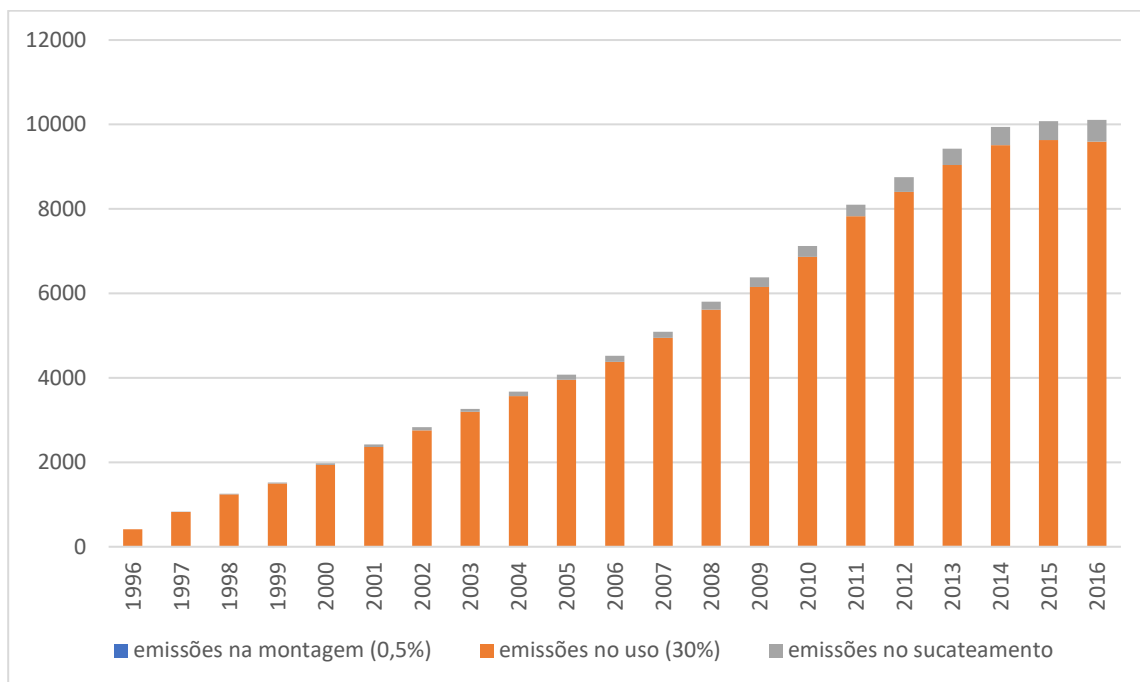


4.2.8.3 Ônibus Urbanos

Tabela 66. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus urbanos

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)	Sucateamento (kg)	Total (kg)
1996	7	407	0	414
1997	9	812	13	834
1998	9	1.228	21	1.258
1999	6	1.493	23	1.523
2000	10	1.927	40	1.977
2001	10	2.351	59	2.420
2002	10	2.750	72	2.831
2003	11	3.187	68	3.266
2004	11	3.559	101	3.672
2005	13	3.939	125	4.078
2006	13	4.365	142	4.520
2007	16	4.931	141	5.088
2008	17	5.597	191	5.805
2009	14	6.137	232	6.383
2010	18	6.844	257	7.120
2011	22	7.808	268	8.098
2012	16	8.385	349	8.750
2013	18	9.020	389	9.428
2014	15	9.497	427	9.939
2015	10	9.622	450	10.082
2016	8	9.586	513	10.108

Figura 23. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus urbanos (kg)

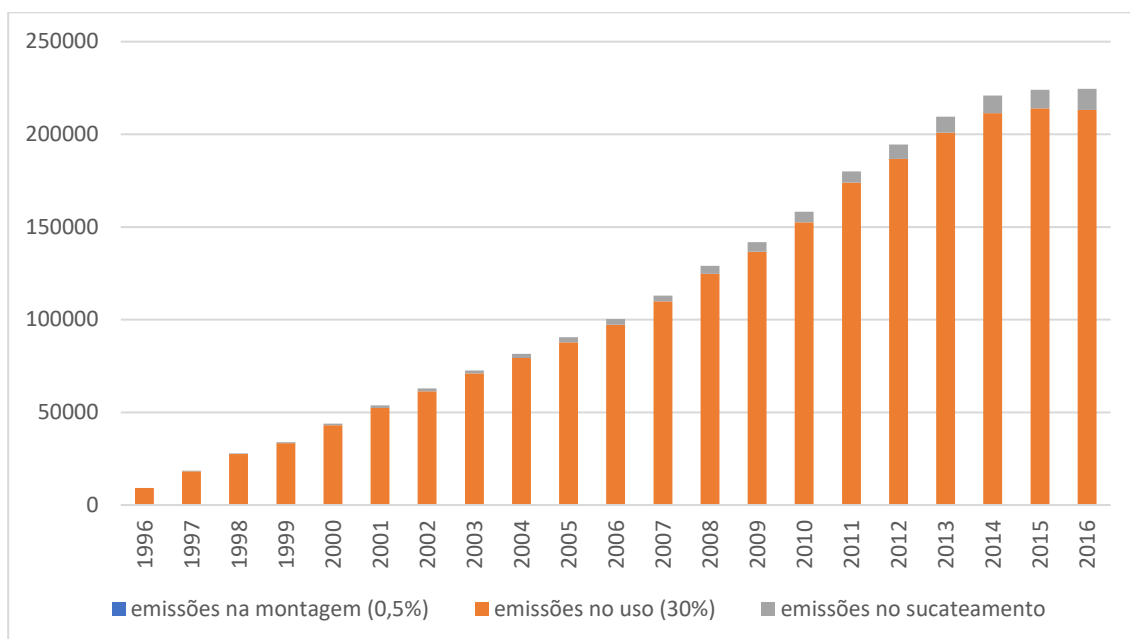


4.2.8.4 Ônibus rodoviários

Tabela 67. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus rodoviários

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)	Sucateamento (kg)	Total (kg)
1996	157	9043	0	9.200
1997	201	18.047	291	18.539
1998	203	27.280	463	27.946
1999	143	33.172	520	33.835
2000	213	42.832	887	43.932
2001	219	52.248	1.303	53.771
2002	215	61.112	1.592	62.918
2003	245	70.820	1.506	72.571
2004	250	79.097	2.247	81.594
2005	294	87.541	2.784	90.618
2006	294	97.001	3.156	100.452
2007	350	109.583	3.139	113.072
2008	382	124.383	4.239	129.004
2009	300	136.385	5.159	141.843
2010	405	152.093	5.720	158.219
2011	494	173.518	5.950	179.962
2012	366	186.331	7.753	194.450
2013	406	200.446	8.654	209.505
2014	329	211.045	9.494	220.868
2015	215	213.829	10.005	224.050
2016	187	213.027	11.401	224.615

Figura 24. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em ônibus rodoviários (kg)

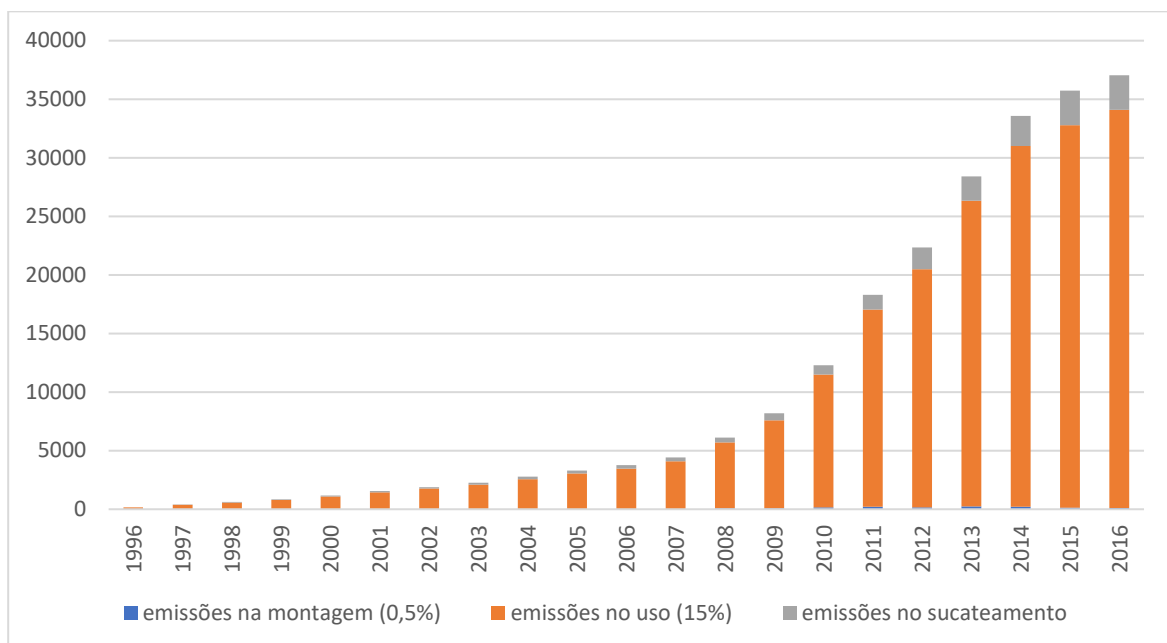


4.2.8.5 Caminhões

Tabela 68. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em caminhões

Ano	Montagem (kg)	Uso (kg)	Sucateamento (kg)	Total (kg)
1996	6	158	-	164
1997	8	367	21	396
1998	9	574	46	629
1999	8	779	66	853
2000	11	1.087	81	1.179
2001	13	1.432	106	1.551
2002	12	1.749	128	1.889
2003	15	2.095	166	2.276
2004	21	2.555	210	2.786
2005	24	3.023	261	3.308
2006	24	3.434	304	3.762
2007	32	4.057	346	4.435
2008	69	5.626	414	6.109
2009	73	7.524	589	8.186
2010	148	11.340	807	12.295
2011	215	16.826	1.268	18.309
2012	152	20.325	1.873	22.350
2013	236	26.090	2.091	28.417
2014	202	30.794	2.584	33.580
2015	120	32.651	2.977	35.748
2016	109	33.995	2.940	37.044

Figura 25. Emissões de HFC-134a em ar-condicionado em caminhões (kg)

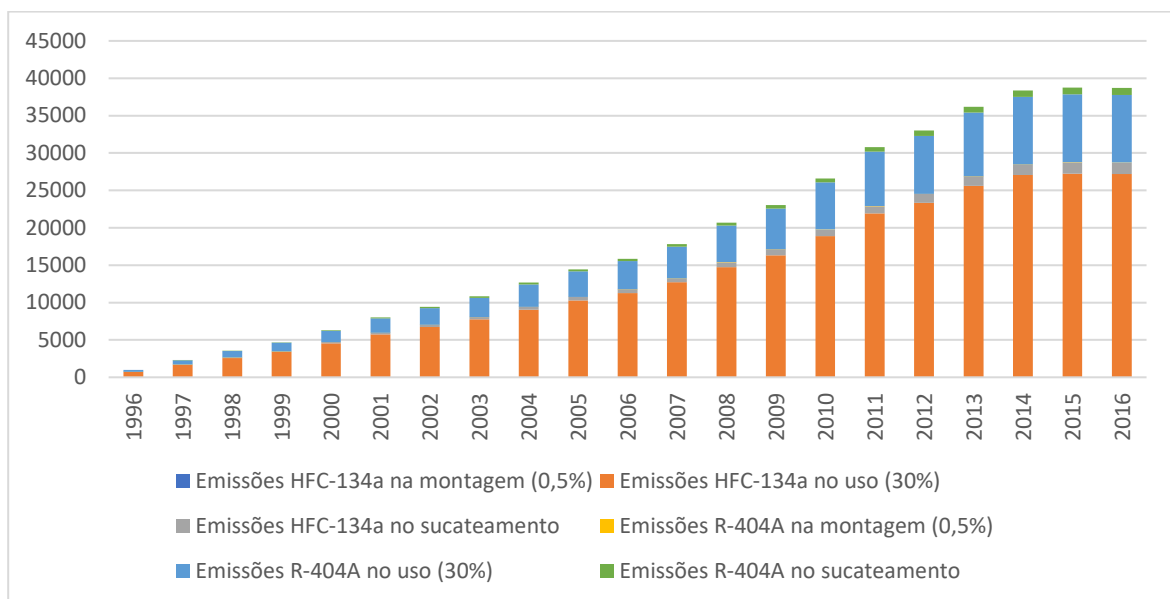


4.2.8.6 Caminhões frigoríficos

Tabela 69. Emissões de HFC-134a e R-404A em caminhões frigoríficos

Ano	HFC-134a (kg)			R-404A (kg)		
	Montagem	Uso	Sucateamento	Montagem	Uso	Sucateamento
1996	14	734	0	5	245	0
1997	19	1.666	43	6	555	21
1998	19	2.543	81	6	848	47
1999	16	3.372	92	5	1.124	73
2000	21	4.522	154	7	1.507	98
2001	23	5.708	235	8	1.903	133
2002	20	6.715	285	7	2.238	170
2003	23	7.738	291	8	2.579	203
2004	31	9.015	380	10	3.005	237
2005	33	10.230	484	11	3.410	279
2006	30	11.222	531	10	3.741	320
2007	39	12.667	531	13	4.222	356
2008	48	14.669	667	16	4.890	406
2009	35	16273	820	12	5.424	473
2010	56	18.848	855	19	6.283	530
2011	66	21.864	950	22	7.288	616
2012	39	23.287	1.199	13	7.762	717
2013	55	25.566	1.260	18	8.522	775
2014	41	27.039	1.388	14	9.013	858
2015	22	27.232	1.500	7	9.077	921
2016	18	27.158	1.532	6	9.053	949

Figura 26. Emissões de HFC-134a e R-404A em caminhões frigoríficos (kg)

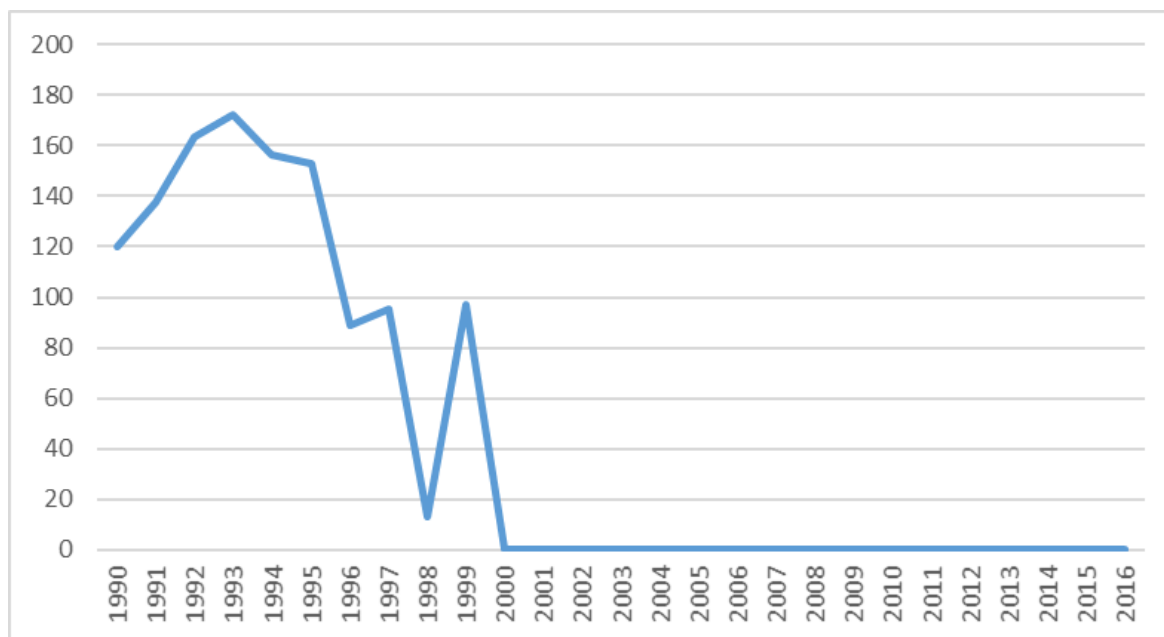


4.3 Produção de HCFC-22

Tabela 70. Emissões de HFC-23 pela produção de HCFC-22, no Brasil, de 1990 a 2016

Ano	Emissões de HFC-23 t
1990	120,24
1991	137,52
1992	163,60
1993	172,28
1994	156,60
1995	153,04
1996	89,04
1997	95,32
1998	13,04
1999	97,16
2000-2016	0

Figura 27. Emissões de HFC-23 pela produção de HCFC-22 (t)



4.4 Espumas

Tabela 71. Emissões de HFC-134a na produção de espumas

Ano	Uso na montagem (t)	Vazamento na montagem (t)	Vazamento anual (t)	Emissões totais (t)
2006	50	5	1,13	6,13
2007	50	5	3,38	8,38
2008	50	5	5,63	10,63
2009	50	5	7,88	12,88
2010	50	5	10,13	15,13
2011	50	5	12,38	17,38
2012	0	0	13,50	13,50
2013	0	0	13,50	13,50
2014	0	0	13,50	13,50
2015	0	0	13,50	13,50
2016	0	0	13,50	13,50

Figura 28. Emissões de HFC-134a na produção de espumas

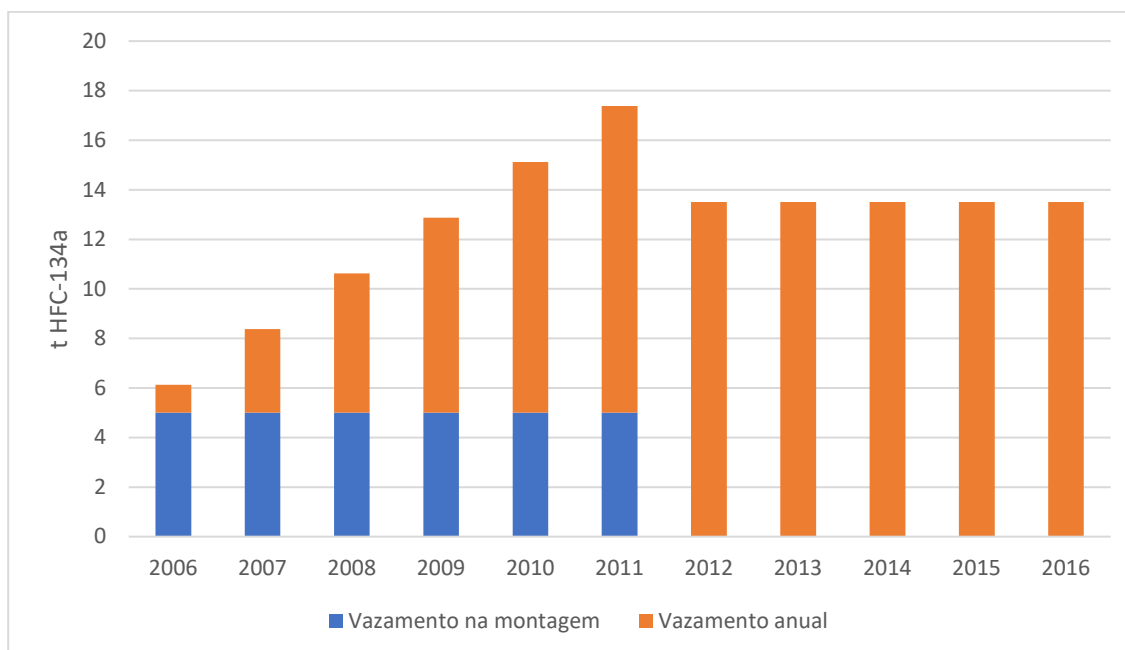


Tabela 72. Emissões de HFC-365mfc/227ea na produção de espumas

Ano	Uso na montagem	Vazamento na montagem	Vazamento anual	Vazamento total HFC-365mfc / HFC-227ea	HFC-365mfc (93%)	HFC-227ea (7%)
2007	1.206	121	27	148	137	10
2008	706	71	70	141	131	10
2009	1.464	146	119	265	247	19
2010	1.779	178	192	370	344	26
2011	4.336	434	330	763	710	53
2012	7.929	793	605	1.398	1.300	98
2013	19.047	1.905	1.212	3.117	2.899	218
2014	20.694	2.069	2.107	4.176	3.884	292
2015	22.735	2.273	3.084	5.357	4.982	375
2016	23.937	2.394	4.134	6.528	6.071	457

Figura 29. Emissões de HFC-365mfc/227ea na produção de espumas

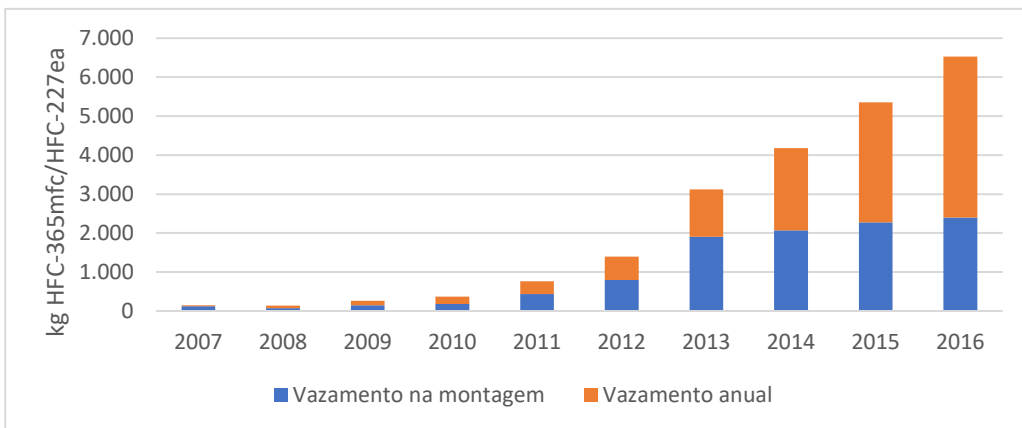
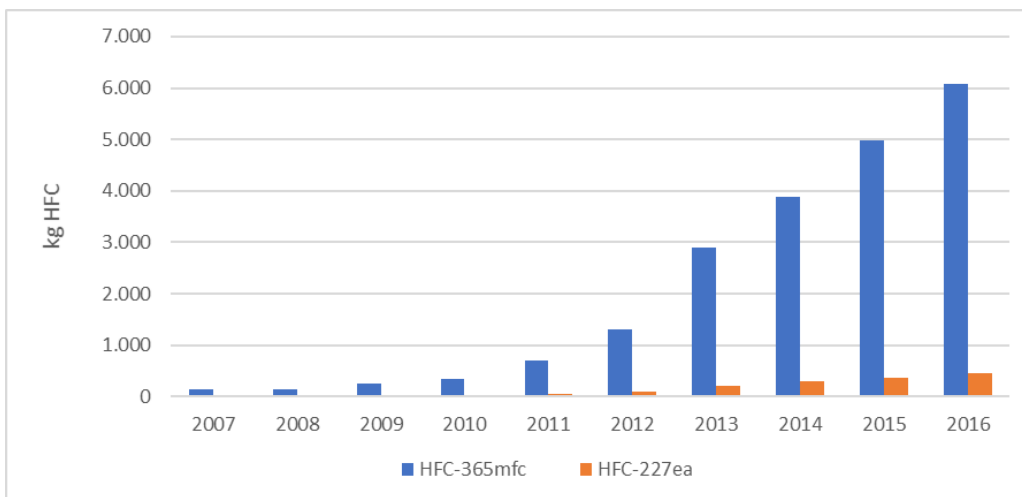


Figura 30. Emissões totais de HFC-365mfc e de HFC-227ea na produção de espumas

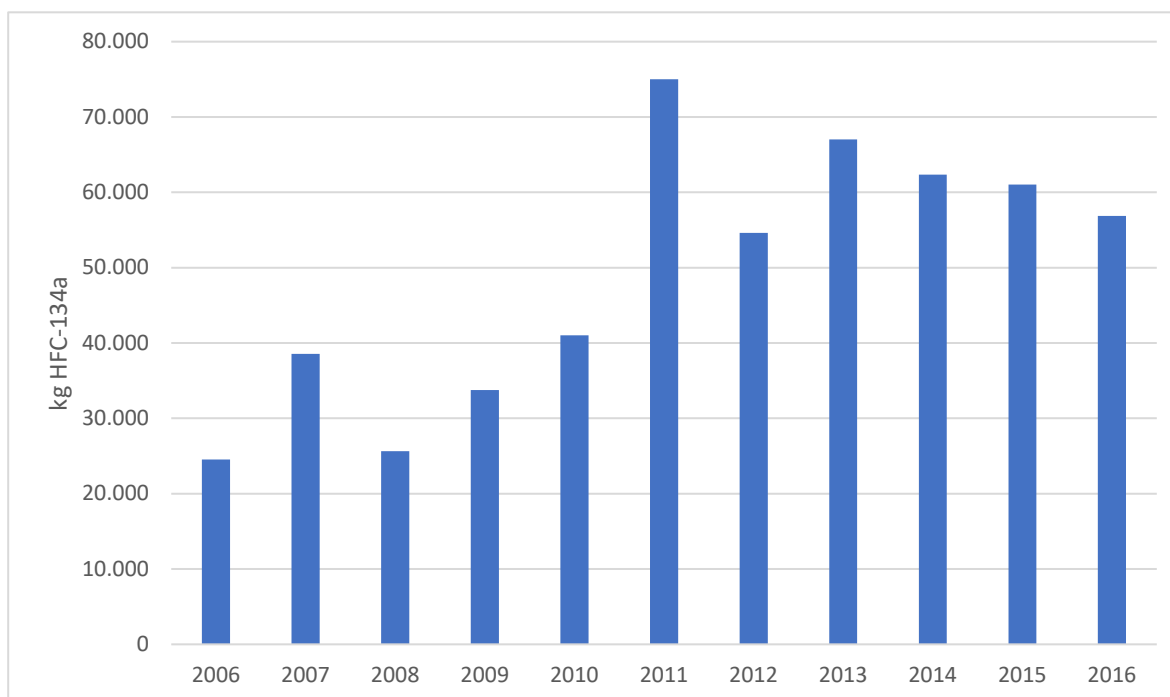


4.5 Aerossóis (MDIs)

Tabela 73. Emissões de HFC-134a em MDIs

Ano	Emissões anuais de HFC-134a (kg)
2006	24.537
2007	38.550
2008	25.659
2009	33.766
2010	41.020
2011	74.998
2012	54.608
2013	67.017
2014	62.341
2015	61.052
2016	56.847

Figura 31. Emissões de HFC-134a em MDIs

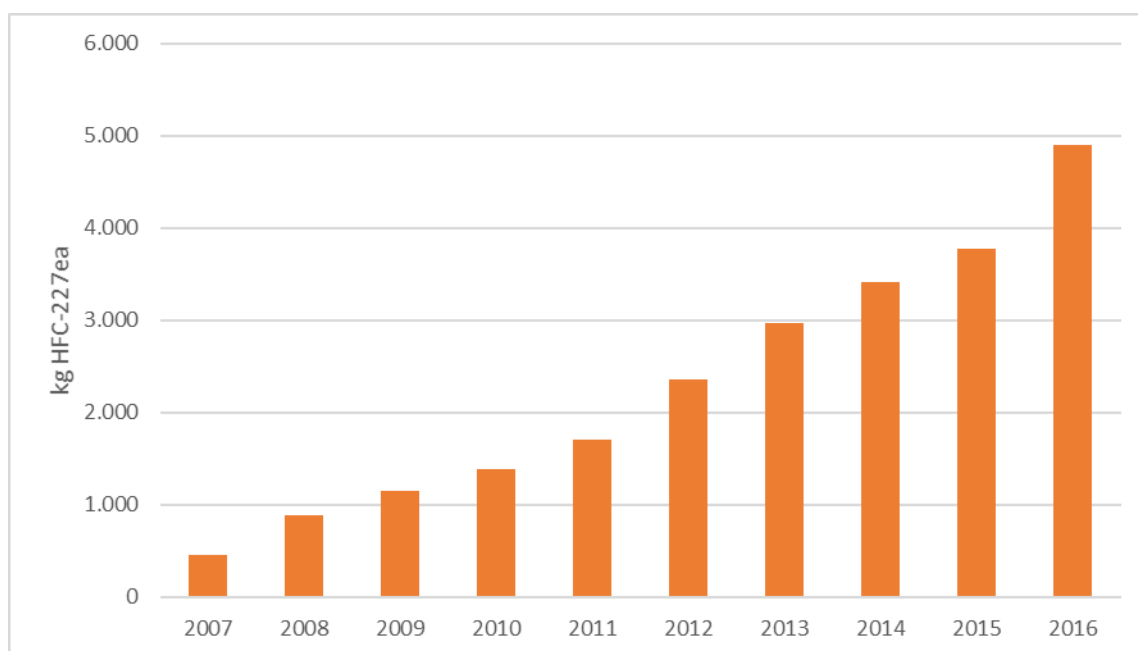


4.6 Extintor de incêndios

Tabela 74. Emissões de HFC-227ea em sistemas de extinção de incêndios

ANO	HFC 227ea adicionado	HFC-227ea considerado (banco)	Vazamento anual
	(kg)		
2007	11.478	11.478	459
2008	11.133	22.151	886
2009	7.459	28.725	1.149
2010	7.025	34.600	1.384
2011	9.525	42.741	1.710
2012	18.052	59.083	2.363
2013	17.557	74.277	2.971
2014	14.128	85.433	3.417
2015	12.338	94.353	3.774
2016	32.015	122.594	4.904

Figura 32. Emissões de HFC-227ea em sistemas de extinção de incêndios



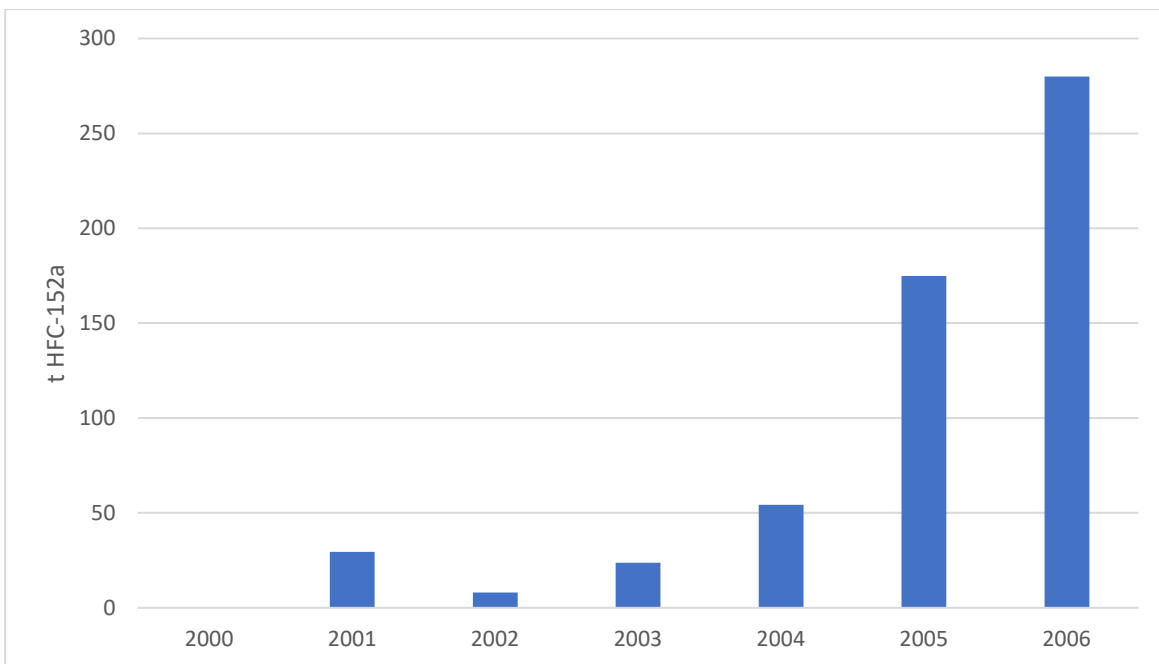
4.7 Emissões potenciais de HFC-152a

Essas emissões são baseadas apenas nas importações havidas de 2000 até 2006, sem destinação identificada. São emissões potenciais das quantidades totais a cada ano e não as emissões efetivas, uma vez que o gás pode estar armazenado em produtos por períodos mais longos.

Tabela 75. Emissões de HFC-152a

Ano	Emissões de HFC-152 ^a (t)
2000	0,1
2001	29,5
2002	8,1
2003	23,8
2004	54,3
2005	174,8
2006	280

Figura 33. Emissões potenciais de HFC-152a



5 Diferenças em relação ao Terceiro Inventário

5.1 Equipamentos elétricos

Para o Quarto Inventário é possível observar uma abordagem metodológica diferente daquela apresentada no Terceiro Inventário para o setor de Eletroeletrônico, uma vez que na versão anterior foi considerado apenas o uso do SF₆ na indústria elétrica, evoluindo-se o fator de emissão *default* de 2% para 2,6%, conforme o IPCC 2006. Além disso, no Quarto Inventário foi incluída também a parte de emissões de CF referentes aos produtos eletrônicos, apesar do desafio em se obter dados de atividades.

As capacidades instaladas de SF₆ em transformadores elétricos a partir de 2009 foram obtidas a partir de uma extrapolação linear, considerando-se o período de 1999 a 2008.

5.2 Setor de Refrigeração e Ar-Condicionado

Considerou-se que os refrigerantes utilizados no Quarto Inventário são o HFC-134a e o HC-600a para os refrigeradores e *freezers* domésticos e combinados, tendo sido obtido o valor médio de 100g por unidade, que é uma estimativa mais precisa, para as cargas de refrigerante, do que as que foram adotadas no Terceiro Inventário.

Os refrigerantes usados para a produção de congeladores comerciais são o HFC-134a e o R-404A. Para o período de 1990 a 2010, considerado no Terceiro Inventário, foi mantida a proporção de 90% de HFC-134a e 10% de R-404A. No Quarto Inventário, a partir de informações obtidas de especialistas da área, foram utilizados para o período de 2011 a 2016 os valores médios 70% de HFC-134a e 30% de R-404A. A carga média de fluido refrigerante para esses equipamentos foi considerada igual a 150 g.

Para o Quarto Inventário, a partir das informações obtidas relacionadas às vitrinas e câmaras frigoríficas, foi considerado que todas essas unidades utilizam HFC-134a e com uma carga média de refrigerante de 360 g. No Terceiro Inventário, não havia essa categorização.

Foi considerado, de acordo com o Terceiro Inventário, que todos os sistemas de ar-condicionado veicular foram fabricados, a partir de 1996, utilizando o fluido refrigerante HFC-134a, em substituição ao CFC-12 anteriormente utilizado, todavia a carga média de refrigerante HFC-134a, para ar-condicionado veicular de automóveis e veículos comerciais leves, foi estimada como igual a 760 g. Esse valor, diferente do adotado para o Terceiro Inventário, foi obtido a partir de pesquisas a respeito da quantidade de carga inicial em cada tipo de veículo e a quantidade de cada classe de veículo que ingressa no mercado. A progressão da inserção de veículos com ar-condicionado que ingressam no mercado também foi alterada devido a novas informações pesquisadas e adicionadas.

Para os caminhões também foi realizada uma pesquisa relacionando a quantidade de veículos desse tipo no mercado por ano e a porcentagem deles que continha um sistema de ar-condicionado para a refrigeração da cabine em cada ano analisado, que não foi apresentada no Terceiro Inventário, com uma carga de 1,2 kg por unidade e o fluido refrigerante HFC-134a (HABEDA, 2017).

Assim, para a aplicação de ar-condicionado automotivo, neste Quarto Inventário foram recalculadas as estimativas de emissões, devido à obtenção de dados mais precisos para a carga média de refrigerante e fração da frota veicular com sistema de ar-condicionado.

6 Referências Bibliográficas

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Cresce a oferta de veículos com ar-condicionado original**. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/artigo/940/cresce-a-oferta-de-veiculos-com-ar-condicionado-original>. Acesso em: 13 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatório de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais e por Uso de Solventes, Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - 2002**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, 2006. 95 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Volume III, em conjunto com seus Relatórios de Referência. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Estratégias Corporativas de Baixo Carbono: elaboração de guias setoriais - Setor Elétrico e Eletrônico**. Brasília. 2015. Disponível em https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d2/8d/d28d7b24-924f-4967-b164-2ed46b494d62/estrategias_corporativas_eletro_eletronico_b.pdf

EC. **Report from the commission on barriers posed by codes, standards and legislation to using climate-friendly technologies in the refrigeration, air conditioning, heat pumps and foam sectors, 2016**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/COM-2016-749-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>.

HABEDA, O. **Emissões de gases fluorados causadores de efeito estufa: desenvolvimento e análise de cenários para o Brasil até 2050**. Rio de Janeiro, 2017.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Volume 3 Industrial Processes and Product Use, Chapter 6 e 7. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

INFOMONEY. **Vendas de automóveis: Volkswagen cresce, mas as estrelas são os SUVs**. 2018. Disponível em: www.infomoney.com.br/blogs/carros/o-mundo-sobre-muitas-rodas/post/7792655/a-hora-e-a-vez-dos-suv. Acesso em: 12 set. 2019.

K2 AR-CONDICIONADO. Disponível em: <http://k2arcondicionado.com.br/2016/12/01/qual-a-quantidade-de-gas-e-oleo-do-ar-condicionado-do-seu-carro-consulte-a-tabela-de-gas-e-oleo>. Acesso em: 15 out. 2019.

LIRA, M.; MARIANO, E.; RODRIGUES, L. M. **Impactos ambientais associados a utilização de gás SF₆ nos disjuntores de potência.** 2017.

LITTLE, A. D. **Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technologies for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection Applications** A. D. Little Report. The Alliance for Responsible Atmospheric Policy, 1999.

MITSIDI PROJETOS. **Kigali Project Regulatory impact analysis: data collection phase.** São Paulo, 30 aug. 2018. (desenvolvido para ICS-Instituto Clima e Sociedade).

MMA. **20 Anos do Protocolo de Montreal.** Brasília: Secretaria de Mudanças Climáticas, 2007.

MMA. **Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs - PBH.** Secretaria de Mudanças Climáticas. Ministério do Meio Ambiente, 2010.

PEIXOTO, R. A. **Uso de Fluidos Refrigerantes Hidrocarbonetos: Estado Atual e Tendências.** Brasília: Núcleo de Ozônio da Diretoria de Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente, 2008.

PEIXOTO, R. A.; KUIJPERS, L.; POLONARA, F.; MAIDMENT, G. **Potential Impacts of the Montreal Protocol Kigali Amendment to the Choice of Refrigerant Alternatives.** Congresso Brasileiro de Refrigeração e Ar-Condicionado. São Paulo: Conbrava, set. 2017.

PNUD. **Atividades Desenvolvidas pelo PNUD, em apoio ao esforço do Governo Brasileiro, para a Proteção da Camada de Ozônio.** Brasília, 2007.

TANIMOTO, A. H.; SOARES, P. S. **Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio e sua Legislação.** 2000. 55p. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Universidade Federal da Bahia. Bahia, 2000;

UNEP, 2010; Report of the Halons Technical Options Committee; Nairobi, 2010.

UNEP. **Decision XXVII/4 Task Force Report: Further Information on Alternatives to ozone Depleting Substances.** Nairobi: Ozone Secretariat, 2016.

UNEP. **The Kigali Amendment to the Montreal Protocol: HFC Phase-down.** Disponível em: www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7809-e-Factsheet_Kigali_Amendment_to_MP_2017.pdf

VELDERS, G. J. M. *et al.* **The importance of the Montreal Protocol in protecting climate.** PNAS 2007, v. 104, n. 12, p. 4771-4772, 2007. DOI: 10.1073/iti.1207104

VELDERS, G. J. M. *et al.* **Preserving Montreal Protocol Climate Benefits by Limiting HFCs.** v. 335, Science. 2012. Available at: www.sciencemag.org. Published by AAAS

VELDERS, G. J. M. *et al.* Growth of climate change commitments from HFC banks and emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 14, p. 4563-4572, 2014.

6.1 Sites consultados e outras referências

ABDI. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos e análise de viabilidade técnica e econômica.** 2013.

ABINEE. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade.** Brasília, 2017

ABRAS. **Anuário Abras, Brasil.** Brasília, 2019.

ACRIB. **Air-conditioning and Refrigeration Industry Board, guidelines for the use of Hydrocarbon Refrigerant in Static Refrigeration and Air-conditioning Systems.** Carshalton-UK, 2000.

ALMEIDA, I. M. G. **Performance comparativa entre R290/R600A (50:50) e R134A para Drop-in em refrigerador doméstico.** Natal, 2010.

ABIEE, CNI. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade.** 2012.

ALMEIDA, V. **Ações do governo federal na área de semicondutores.** São Paulo: Abinee Tec, 2011.

CGEE. **Eletrônica para Automação: Relatório Panorama Setorial.** Brasília, 2009.

CPFL Energia. **Emissões de Gases de Efeito Estufa e o Setor Elétrico Brasileiro.** 2013.

EMBRACO. **Position Paper: Light Commercial Refrigeration.** 2018.

FILIPPIN, F. **Estado e Desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil.** Campinas, 2016.

GHG. **Projection Guidelines - clima A3 - final report.** EU, 2012.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Energia solar paulista: levantamento potencial, subsecretaria de Energias Renováveis.** 2013.

GOMES, M. **A indústria eletroeletrônica do Brasil: levantamento de dados.** 2015.

GUIA EMPRESARIAL DO SENAI. **Cartilha Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** 2017.
IBAMA/MMA/GTZ. **Manual de ajuda para o controle das substâncias que destroem a camada de ozônio - SDOs.** Brasília, 2009.

INSUMOS para emprego nas atividades vinculadas aos produtos finais. Anexo III ao Decreto nº 6.233. 2007.

MEDIÇÃO de umidade como garantia de qualidade na fabricação de semicondutores. Disponível em:

www.michell.com/br/documents/appnotes/Medi%C3%A7%C3%A3o_de_Umidade_como_Garantia_de_Qualidade_na_Fabrica%C3%A7%C3%A3o_de_Semicondutores.pdf. Acesso em: 15 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Programa brasileiro de eliminação dos HCFCs - PBH** proposta preliminar para consulta pública. Brasília, 2010.

OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N.; YAMASHITA, B. D. **Análise dos refrigeradores e freezers utilizados no Brasil e de novas tecnologias que possam aumentar sua eficiência energética.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 11, nº 3, jul-set/2016, p. 173-189.

PMSP/SVMA. **Emissões de GEE do setor de processos industriais e uso de produtos (IPPU).** São Paulo, 2012

PNUMA. **Relatório de 2010 do Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, Ar-Condicionado e Bombas de Calor (RTOC).** Quênia, 2010.

REICHERT, J. C. R. **Relatório final de estágio realizado no Grupo de Estudos em Materiais Poliméricos (Polimat).** Florianópolis, 2004.

SENAI. **Cartilha Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** 2017.

SILVA, J. P. **Análise do desempenho de refrigeradores.** Juiz de Fora, 2016.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee.** 2006.

ZUFFO, J. A. **Análise das condições de desenvolvimento da indústria brasileira de semicondutores.** 2007.

Outras referências

www2.uol.com.br/sciam/noticias/industria_de_eletronicos_altera_o_clima_com_novo_gas_poluente.html

www.recigases.com/Legislacao.html

www.legisweb.com.br/legislacao/?id=248656

www.eletromax.com.br/index.asp?InCdSecao=5&InCdEditoria=0&InCdMateria=232&Entenda+o+que+%E9+o+SF6

www.automotivebusiness.com.br/

www.agraz.ind.br/index.php?pagina=novidade_detalhe.php&nov=37

<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>

www.comservicefire.com.br/syssupre.htm

<https://d.emtempo.com.br/economia/25844/zona-franca-fabricantes-de-ar-condicionado-projetam-alta-de-17>

<https://eletros.org.br/indicadores/>

www.elgin.com.br/PortalElginAdm/Upload/DownloadPublico/HomeOffice/CatalogoCompleto_TA_BELA_rev1.pdf

www.ibge.gov.br/

<http://k2arcondicionado.com.br/2016/12/01/qual-a-quantidade-de-gas-e-oleo-do-ar-condicionado-do-seu-carro-consulte-a-tabela-de-gas-e-oleo/>

www.sindicatodaindustria.com.br/publicacoes/2014/01/72,31718/efi-e-meio-ambiente.html

www.quimica.com.br/expansores-espumas-de-poliuretano-buscam-substitutos-para-os-hcfc/3/

6.2 Contatos pessoais com instituições/empresas:

Abrava

MMA

Frigelar

Solvay

Arkema

Honeywell

Chemours

Anexo I - Códigos NCM para as substâncias analisadas

NCM significa Nomenclatura Comum do MERCOSUL e SH significa Sistema Harmonizado. O Sistema Harmonizado é um método internacional de classificação de mercadorias, fundamentado em uma estrutura de códigos e respectivas descrições. Foi criado para promover o desenvolvimento do comércio internacional, assim como aprimorar a coleta, a comparação e a análise das estatísticas, particularmente as do comércio exterior. Os códigos SH possuem seis dígitos. Por sua vez, a NCM é a Nomenclatura Comum do Mercosul, adotada pelos parceiros do Mercosul desde janeiro de 1995 e que tem por base o Sistema Harmonizado. Assim, dos oito dígitos que compõem a NCM, os seis primeiros são formados pelo Sistema Harmonizado, enquanto o sétimo e o oitavo dígitos correspondem a desdobramentos específicos atribuídos no âmbito do Mercosul. A sistemática de classificação dos códigos na NCM obedece à seguinte estrutura:

- Capítulo: são os dois primeiros dígitos do SH.
- Posição: são os quatro primeiros dígitos do SH.
- Subposição: são os seis primeiros dígitos do SH.
- Item: é o 7º dígito da NCM.
- Subitem: é o 8º dígito da NCM (<http://portal.siscomex.gov.br/glossario/ncm>)

Fluido	NCM/HS	Nome
HFC-23	2903.39.19	HFC-23
NF ₃	2812.90.00	Trifluoreto de nitrogênio
SF ₆	2812.90.00	Hexafluoreto de enxofre

Anexo II - Dados de importação e exportação totais para o SF₆**Dados de importação e exportação totais para SF₆**

Ano	Importação (kg)	Exportação (kg)
1997	52.040	-
1998	119.756	-
1999	61.027	-
2000	63.385	-
2001	82.190	40
2002	67.480	-
2003	77.144	5
2004	62.648	-
2005	81.661	115
2006	101.727	978
2007	87.486	323
2008	77.282	50
2009	116.484	9.010
2010	111.769	552
2011	115.540	1.118
2012	199.037	40
2013	162.508	2.046
2014	138.237	2.983
2015	139.666	2.548
2016	91.418	1.224

Anexo III - Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal

Neste anexo é apresentada a Emenda de Kigali, conforme decidido pelas partes do Protocolo de Montreal em Kigali, Ruanda, outubro de 2016, incluindo o cronograma de redução progressiva (*phase down*) de HFCs estabelecido, tanto para os grupos de países em desenvolvimento quanto desenvolvidos, assim como os 17 HFCs que estão agora incluídos como substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal. Os impactos da Emenda de Kigali serão significativos nas emissões futuras de HFCs e reforçam o uso de fluidos refrigerantes de baixo GWP e a inovação para desenvolvimento de tecnologias de refrigeração, ar-condicionado e bombas de calor (RACHP) sustentáveis.

Clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e outras substâncias destruidoras da camada de ozônio (ODS) são potentes gases de efeito de estufa (GEE). A eliminação desses produtos químicos, conforme exigido pelo Protocolo de Montreal, e as consequentes reduções de emissões e concentrações atmosféricas contribuíram enormemente para a proteção climática, juntamente com a intenção original do Protocolo de Montreal de proteger a camada de ozônio. Estima-se que o total de emissões evitadas anuais de ODS equivaleria a cerca de 10 Gt CO₂eq em 2010, o que representa cerca de cinco vezes a meta anual de redução do Protocolo de Kyoto para o período 2008-2012 (VELDERS *et al.*, 2007).

De acordo com estudos e avaliações, os benefícios climáticos do Protocolo de Montreal poderiam ser reduzidos ou totalmente perdidos no futuro, se as emissões de substitutos às ODS com altos potenciais de aquecimento global (GWP), como alguns HFCs, continuassem a aumentar. Com base nesses resultados de pesquisa, as Partes do Protocolo de Montreal iniciaram discussões (com base em propostas) sobre uma emenda para adicionar HFCs e cronogramas de controle ao Protocolo de Montreal em 2009.

Hidrofluorcarbonos (HFCs) foram amplamente desenvolvidos e promovidos como alternativas ao ODS e têm sido utilizados nos últimos 30 anos em vários setores, principalmente como refrigerante em aplicações RACHP.

As principais questões consideradas e apresentadas pelos países que propuseram emendas e que foram a favor da inclusão de HFCs como substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal são: os HFCs foram desenvolvidos e promovidos como resultado das medidas de controle do Protocolo de Montreal sobre CFC e HCFCs. A estrutura construída pelo Protocolo de Montreal para a eliminação progressiva de CFCs e HCFCs, nos setores onde os HFCs estão sendo usados, seria o método mais apropriado e eficaz para o controle da produção e consumo de HFC. Por outro lado, os países que inicialmente não eram a favor de tal emenda usaram argumentos como: “HFCs não são ODS e essa seria a razão pela qual eles não poderiam ser incluídos em um acordo internacional estabelecido para controlar o uso de ODS”. Nas discussões que aconteceram ao longo dos anos, outras questões foram apresentadas como barreiras para a inclusão de HFCs no âmbito do Protocolo

de Montreal, como apoio financeiro aos países em desenvolvimento, disponibilidade comercial de alternativas de HFC, transferência de tecnologia e muitos outros.

Após 9 anos de intensas discussões, as Partes do Protocolo de Montreal superaram os principais obstáculos para chegar a uma decisão consensual e na 28ª Reunião das Partes, em 15 de outubro de 2016, em Kigali, Ruanda, as Partes decidiram adicionar 17 HFCs ao Protocolo (em um Grupo I). Eles são dados com Potenciais de Aquecimento Global usando os valores do relatório IPCC AR4 (IPCC, 2007), em um novo Anexo F. O anexo também apresenta o GWP de CFCs e HCFCs. Também inclui o HFC-23 (em um Grupo II), um produto químico que se origina principalmente como subproduto nas instalações de produção do HCFC-22. A Tabela 77 apresenta as informações contidas no Anexo F.

Tabela 76. Anexo F do Protocolo de Montreal

HFCs (Group I)		HCFCs	
Substance	GWP value (100 year)	Substance	GWP value (100 year)
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	Substance	GWP value
HFC-32	675	CFC-11	4750
HFC-125	3500	CFC-12	10 900
HFC-143a	4470	CFC-113	6130
HFC-41	92	CFC-114	10 000
HFC-152	53	CFC-115	7370
HFC-152a	124		
HFCs (Group II)			
HFC-23	14 800		

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

Os países desenvolvidos (n-A5) começarão a eliminar os HFCs até 2019. Os países em desenvolvimento (A5) prosseguirão com o congelamento dos níveis de consumo de HFC em 2024, com alguns países congelando o consumo em 2028.

A Emenda Kigali entrará em vigor em 1º de janeiro de 2019, desde que tenha sido ratificada por pelo menos 20 Partes do Protocolo de Montreal (ou 90 dias após a ratificação pela 20ª Parte, o que for posterior).

Visão Geral da Emenda de Kigali

Os valores de GWP no novo Anexo F devem ser utilizados para a conversão de quantidades de HFC em massa para um equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) em todos os relatórios que os países precisam apresentar relacionados à implementação de redução progressiva de HFC.

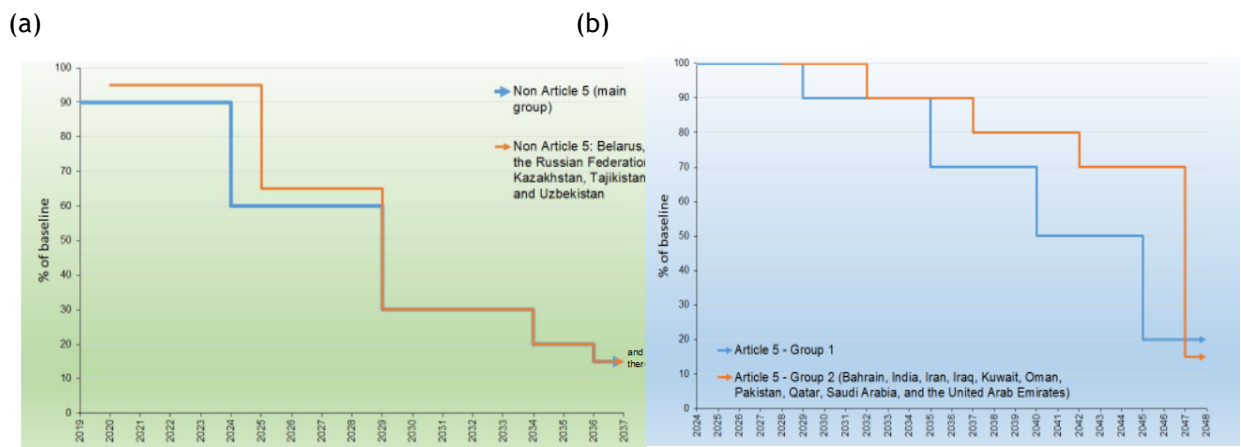
A inclusão de HFCs no âmbito do Protocolo de Montreal como substâncias controladas não afetará as obrigações que os países têm com a estrutura da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, da sigla em inglês UNFCCC). A emenda não terá o efeito de isentar as Partes de seus compromissos de enviar relatórios de inventário de emissões de HFC à UNFCCC (conforme estabelecido nos Artigos 4 e 12 da UNFCCC). O consumo e a produção de HFC serão controlados pelo Protocolo de Montreal, enquanto as emissões de HFC continuarão a ser relatadas sob a UNFCCC.

A Emenda Kigali tem anos diferentes para o consumo de HFC usado na linha-base e vários cronogramas de redução gradual, ou seja, dois para dois grupos de Partes do Artigo 5 (países em desenvolvimento) e dois para dois grupos de Partes não Artigo 5 (países desenvolvidos). As tabelas e figuras apresentadas a seguir mostram os cronogramas de linha-base (congelamento) e de redução progressiva.

Nos relatórios pertencentes ao Protocolo de Montreal, as informações sobre a produção, consumo, importações, exportações e emissões de HFCs devem ser expressas em CO₂eq e não em quantidades de massa HFC.

Figura 34. Cálculos de linha-base e de redução gradual da Emenda de Kigali para as Partes. N-A5 (a) e as Partes A5 (b) (UNEP, 2016)

N-A5 Parties: Group 1		N-A5 Parties: Group 2		Article 5 Parties Group 1		Article 5 Parties Group 2		
Baseline Years	2011, 2012 & 2013		2011, 2012 & 2013		2020, 2021 & 2022		2024, 2025 & 2026	
Baseline Calculation	Average consumption of HFCs in 2011, 2012, and 2013 Plus 15% of 1989 HCFC baseline consumption		Average consumption of HFCs in 2011, 2012, and 2013 Plus 25% of 1989 HCFC baseline consumption		Average production/consumption of HFCs in 2020, 2021, and 2022 plus 65% of HCFC baseline production/consumption		Average production/consumption of HFCs in 2024, 2025, and 2026 plus 65% of HCFC baseline production/consumption	
Reduction steps					2024		2028	
Step 1	2019	10%	2019	5%	2029	10%	2032	10%
Step 2	2024	40%	2024	35%	2035	30%	2037	20%
Step 3	2029	70%	2029	70%	2040	50%	2042	30%
Step 4	2034	80%	2034	80%	2045	80%	2047	85%
Step 5	2036	85%	2036	85%				



(b)

Potencial impacto para a escolha de fluidos refrigerantes

A Emenda Kigali reforçou o estímulo para tecnologias que usam aplicações de refrigerantes de baixo GWP e acelerou a inovação para tecnologias RACHP sustentáveis. Uma das questões principais para a implementação da Emenda Kigali é a substituição de HCFC-22 e HFCs com alto GWP por refrigerantes com baixo GWP.

Considerando a substituição do R-410A e do HCFC-22, a lista de alternativas inclui refrigerantes simples ou puros, tais como HFC-32, HC-290, HC-1270, R-717, R-744 e novos refrigerantes compostos. Essas misturas incluem as chamadas hidrofluoroolefins (HFOs), HFCs insaturados, como HFO-1234yf e HFO-1234ze (E), junto com os refrigerantes tradicionais (saturados) de HFC para atingir os atributos desejados da mistura, por exemplo, baixo GWP, menor inflamabilidade ou compatibilidade com lubrificantes (UNEP, 2016). A Tabela 8 apresentada anteriormente, dá uma visão geral dos refrigerantes, nos usos passado, atual e futuro possível, para as diferentes aplicações RACHP.

Nos últimos anos, cerca de 80 fluidos, a maioria deles compostos, contendo HFOs, foram propostos para testes ou já estão sendo testados em programas industriais, estão pendentes de publicação ou foram publicados nos padrões de refrigerante ISO 817 e ASHRAE 34 desde o Relatório de Avaliação RTOC de 2014. A maioria desses fluidos são novas misturas (UNEP, 2016).

Considerando aplicações específicas do RACHP, os seguintes aspectos podem ser mencionados: o HFC-32 é uma alternativa para uso em determinada gama de ar-condicionado de tamanho médio, e há uma oportunidade para uma aplicação muito mais ampla de hidrocarbonetos, em equipamentos de refrigeração comercial de maior capacidade. A questão da inflamabilidade dos hidrocarbonetos (refrigerante A3) é muito importante e terá de ser resolvida por meio de uma revisão das normas. Esta é uma discussão em andamento dentro dos comitês técnicos de padrões internacionais. Uma vez que essa questão de inflamabilidade tenha sido adequadamente abordada, ela pode levar à aceitação de uso em uma quantidade maior de equipamentos do que é possível atualmente. Existe um recente relatório da Comissão Europeia (EC, 2016) sobre as barreiras colocadas pelos códigos, normas e legislação para a utilização de tecnologias não nocivas ao clima nos setores de refrigeração, ar-condicionado, bombas de calor e espuma.

No caso de sistemas móveis de ar-condicionado (MACs), certa porcentagem pode usar o R-744 (dióxido de carbono¹⁹), no entanto a maioria deve usar HFO-1234yf. Para *chillers*, dois HFOs puros, HFO-1234ze e HFO-1233zd, já comercializados estão agora sendo aplicados em equipamentos maiores.

Refrigerantes naturais como o R-744 estão sendo cada vez mais usados em sistemas de supermercados em todo o mundo - tanto em sistemas em cascata (R-744 para baixa temperatura em cascata com um segundo refrigerante como HFC-134a ou similar e R-717 em casos limitados) e em sistemas transcíticos. Os sistemas transcíticos estão sendo pesquisados extensivamente para reduzir sua perda de energia em condições ambientais piores, através do uso de tecnologias e componentes de sistemas como ejetor, condensação adiabática, subarrefecimento e compressão paralela. Em temperatura ambiente mais baixa, os sistemas transcíticos oferecem vantagens associadas à recuperação e reutilização de calor em um esquema adjacente de aquecimento/água quente. Já existem alguns sistemas de refrigeração de supermercados instalados no campo usando essas tecnologias.

As escolhas de refrigerante que podem ser esperadas em breve serão muito relacionadas à percepção de “certeza” de refrigerantes com baixo GWP, onde a disponibilidade comercial, os custos, a eficiência energética, a segurança e os aspectos de manutenção serão importantes. Atualmente, a escolha é provavelmente entre os fluidos naturais (amônia, CO₂, hidrocarbonetos) em equipamentos desenvolvidos para seu uso e fluidos sintéticos mais caros (HFO, HCFO, misturas HFC/HFO) nos tipos de equipamentos usados para HCFCs e HFCs. Considerando as misturas

¹⁹ R-744 é a denominação do CO₂, dióxido de carbono, usado como fluido refrigerante em sistemas RAC, conforme norma ISO e ASHRAE.

HFC/HFO, a questão é se elas serão restritas a equipamentos nos quais não está sendo planejado um grande redesenho, ou também serão aplicadas em projetos posteriores. É provável que apenas uma quantidade muito limitada de misturas de HFC-HFO esteja disponível no futuro (PEIXOTO *et al.*, 2017).

Algumas das tecnologias RACHP sustentáveis, que não utilizam HFC, enfrentam barreiras para uma absorção generalizada devido a normas técnicas restritivas, em particular para refrigerantes inflamáveis. A fim de permitir transições para refrigerantes com baixo GWP inflamável, uma revisão dos limites de carga-padrão atualmente utilizados está a caminho.

O argumento de fluidos com baixo GWP não será o fator determinante para consideração de determinados fluidos. A eficiência energética, ou melhor, a redução do consumo de energia será importante. Isso não está relacionado apenas às propriedades termofísicas do fluido refrigerante, mas também é determinado pelo design do equipamento, configuração do sistema, eficiência dos componentes, condições operacionais, capacidade do sistema e *hardware* do sistema.

A escolha de refrigerantes é muito provavelmente uma combinação de eficiência energética, custos e desempenho ambiental, incluindo aspectos de segurança associados à toxicidade do agente refrigerante e à inflamabilidade. As regulamentações regionais e nacionais (por exemplo, inflamabilidade e carga) impulsionarão muitos desenvolvimentos que ocorrerão.

Pode-se esperar que o uso de refrigerantes puros, HFOs e refrigerantes “naturais” não sintéticos, incluindo hidrocarbonetos, seja expandido amplamente após 2019-2020, em uma quantidade substancial de aplicações em vários subsetores RACHP. Já se pode observar agora que há um nível notavelmente alto de atividade no setor de desenvolvimento de equipamentos RACHP, que também evidencia o comprometimento das empresas envolvidas nesta pesquisa e desenvolvimento em encontrar soluções úteis a longo prazo em um mercado de constantes mudanças de metas e objetivos. Como resultado, a ênfase em equipamentos com maior eficiência energética (ou seja, menores níveis de consumo de energia) e refrigerantes com baixo GWP é muito mais significativa do que antes.

Ambos os tipos de refrigerantes, naturais e sintéticos, podem e irão coexistir em um futuro próximo e podem ser complementares.