


COMUNICAÇÃO ESTADUAL



1º INVENTÁRIO DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA DIRETOS E INDIRETOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

EMISSÕES DO SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO • SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB • COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo

**EMISSÕES NO SETOR DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS
1990 A 2008**

Governo do Estado de São Paulo

Secretaria do Meio Ambiente

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

São Paulo, 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418p CETESB (São Paulo)

Emissões no setor de processos industriais e uso de produtos : relatório de referência / CETESB ; coordenação técnica e editorial João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer ; equipe Bruna Patrícia de Oliveira ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2013.

1 CD (316 p.) : il. color. – (Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo, 1)

Publicado também na forma impressa.

Disponível também em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

ISBN 978-85-61405-51-9

1. Aquecimento global 2. Efeito estufa – gases 3. Gases – inventário 4. Indústrias - produção 5. Mudanças climáticas 5. Política ambiental 6. Processos industriais – emissões antrópicas 7. São Paulo (Est.) I. Título II. Série.

CDD (21. ed. Esp.)	363.738 748 161
	338.060 286 816 1
CDU (2. ed. Port.)	504.7:338.45(815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada CRB 8.4422

Governo do Estado de São Paulo
Geraldo Alckmin

Secretaria do Meio Ambiente
Bruno Covas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Otavio Okano

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Otavio Okano – Diretor-Presidente

Nelson R. Bugalho – Diretor Vice-Presidente

Diretoria de Gestão Corporativa

Sergio Meirelles Carvalho – Diretor

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental

Aruntho Savastano Neto – Diretor

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental

Carlos Roberto dos Santos – Diretor

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental

Ana Cristina Pasini da Costa – Diretora

RELATÓRIO DE REFERÊNCIA

EMISSÕES NO SETOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS

Coordenação:

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB



Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA



Apoio:



Embaixada Britânica
Brasília

FERRAMENTA PARA A GESTÃO ESTRATÉGICA

O Inventário de Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, mais uma etapa que integra o inventário de emissões de gases de efeito estufa no Estado de São Paulo, demonstra que o Governo do Estado tem trabalhado com o firme objetivo de atingir as metas da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) e as diretrizes da Convenção do Clima (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*).

A publicação dos resultados desse levantamento cumpre o importante papel de comunicar à sociedade as emissões estaduais de GEE e serve também como ferramenta para a gestão ambiental estratégica. Trata-se de um material indispensável para subsidiar a tomada de decisão no que diz respeito à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, auxiliando para que os objetivos da PEMC sejam atingidos.

Nessa edição, são apresentadas as emissões dos setores de produção de cimento, produção de cal, produção química, produção metalúrgica, produção de alimentos e bebidas, produção de vidro, produção de papel e celulose, produção de espumas, produção de aerossóis, produção de solventes, produção de refrigeradores de ar e ar condicionado e fugitivas do subsetor de eletricidade. A contribuição do setor para as emissões estaduais totais foi de aproximadamente 15% em 2005, ano de referência do inventário.

O estado de São Paulo tem se destacado nas políticas públicas voltadas à questão global das mudanças climáticas, e é hoje uma das referências nacionais no assunto. Mitigação dos impactos, adaptação e redução das emissões são compromissos assumidos por São Paulo, que tem buscado cada vez mais a transição para uma economia de baixo carbono.

Bruno Covas

Secretário do Meio Ambiente

APRESENTAÇÃO

Esta publicação é uma síntese de oito Relatórios de Referência sobre as emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos do Estado de São Paulo, reunidos neste documento, são eles: Produção Química; Metalúrgica; de Alimentos e Bebidas; de Cal; de Papel e Celulose; de Vidro; de Cimento e o Uso de Solventes e Outros Produtos. Seu desenvolvimento se deu, principalmente, baseado nos métodos de 1996 e 2000 do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC), resultando em um trabalho com transparência e comparabilidade com o Inventário Nacional das Emissões de Gases de Efeito Estufa do país.

Os Relatórios de Referência do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, que compõem esta publicação, foram desenvolvidos em parceria entre a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) e o Instituto Aço Brasil (IABr) e suas associadas, com o apoio da Embaixada Britânica no Brasil, no âmbito do Projeto “Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”. Além dessas parcerias, a elaboração dos Relatórios de Referência contou com a colaboração de diversas outras instituições e pesquisadores dos setores inventariados.

Elaborado sob a coordenação da CETESB, o Inventário de Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos é parte da Comunicação Estadual, prevista na Lei nº13.798, de 9 de novembro de 2009, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas e define o compromisso do Estado frente às mudanças climáticas, entre eles, a elaboração de inventários de emissões antrópicas dos gases de efeito estufa controlados pelo Protocolo de Quioto.

Este inventário estadual setorial incluiu também os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, pelo fato do Estado ser um dos maiores mercados usuários destes gases no país. Com isso, estabeleceram-se diferentes perfis acerca das emissões estaduais, sejam pelos subsetores apresentados neste documento, seja pelo tipo de gás. É importante frisar a relevância dos Relatórios de Referência do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, apresentando um mapa das emissões deste setor no Estado, e servindo de suporte aos esforços de redução e ampliando as práticas de sustentabilidade nestes setores industriais.

Otavio Okano

Diretor Presidente da CETESB

Diretor-Presidente

Otávio Okano

Diretor Vice-Presidente

Nelson R. Bugalho

Departamento de Cooperação Institucional e Internacional – VI

Fátima Aparecida Carrara

Divisão de Mudanças Climáticas – VIC

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Comunicação Estadual – Coordenação Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA

Ficha Técnica da Publicação

Coordenação Técnica e Editorial

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Revisão Técnica

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

João Wagner Silva Alves

Equipe

Bruna Patrícia de Oliveira – Coordenadora Executiva

Omar de Almeida Cardoso (apoio)

Rodrigo Cietto Ridolfi (apoio)

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Maria Fernanda Pelizzon Garcia

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Natacha Nogueira Britschka

Neuza Maria Maciel

Colaboradores

Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM), Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA), Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), Instituto Aço Brasil (IABr), Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC).

Afonso Moraes de Moura, Bruna Patrícia de Oliveira, Calvin Stefan Iost, Camila Bernardo de Faria, Carolina de Andrade, Cleber Sabonaro, Denise Soletto, Diego Henrique Dutra Penido, Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz, Érica Marie Tachibana, Francisco do Espírito Santo Filho, Francisco Emilio Baccaro Nigro, Gabriela Pacheco Rotondaro, Gisele dos Anjos Passareli, Gonzalo Visedo, José Carlos Dallacqua, Lucien Belmonte, Lucila Caselatto, Mariana Pedrosa Gonzalez, Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça, Mauro Adamo Seabra, Mauro Meirelles, Obdulio Fanti, Paula Eugênia Dias Gomes, Renata Monteiro Siqueira, Roberto de Aguiar Peixoto, Roberto Kenji Fujimoto, Viviane Nunes, Yushiro Kihara.

Capa

Vera Severo

Editoração

Eduardo Shimabokuro – Consultor Técnico

Isabela Maria Rodrigues Silva

Wilson Issao Shiguemoto

Fotos

Acervo CETESB

Acervo da SMA

Omar de Almeida Cardoso

Projeto CETESB (PSF LGHG CCE 0195) “Apoio a Política Climática do Estado de São Paulo”, Inventário de Gases de Efeito Estufa do Estado de São Paulo, 1990–2008, sob a coordenação do Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA

Coordenação Institucional

Fátima Aparecida Carrara – Gerente do Departamento de Cooperação Institucional e Internacional
Luciana Morini (apoio)

Coordenação Executiva

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer – Secretária Executiva do PROCLIMA

Coordenação Técnica

João Wagner Silva Alves – Coordenador do PROCLIMA

Publicação CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Para obter outras informações:

Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA

Avenida Professor Frederico Hermann Júnior, 345, CEP 05459-900, São Paulo – SP

Telefone: +55 (11) 3133 3000, (11) 3133 3563; Fax: (11) 3133 4058/3402

e-mail: proclima@cetesbnet.sp.gov.br / vic_cetesb@sp.gov.br

www.cetesb.sp.gov.br/geesp

www.cetesb.sp.gov.br/proclima

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio da Embaixada Britânica no Brasil



**Embaixada Britânica
Brasília**

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos a: Alan Charlton, ex embaixador do Reino Unido no Brasil, parceiro imprescindível; Otavio Okano e Nelson R. Bugalho, respectivamente presidente e vice-presidente da CETESB, pelo apoio incondicional; Fátima Aparecida Carrara que coordenou o relacionamento institucional da CETESB com a Embaixada Britânica, parceira estratégica, contando com o apoio presente e incansável de Luciana Morini, Denise Soletto e equipe do Departamento de Cooperação Institucional e Internacional da CETESB; José Domingos Gonzales Miguez, Newton Paciornick e Thelma Krug pela confiança, longa parceria e apoio na implementação deste 1º Inventário de Emissões de GEE do Estado de São Paulo para o Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos. Para Oswaldo dos Santos Lucon, assessor técnico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, e Francisco Emílio Baccaro Nigro, assessor científico da Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo, pelo apoio e contribuições inestimáveis nas revisões das informações contidas neste documento.

Expressamos nosso agradecimento: à equipe da Embaixada Britânica, pelo apoio durante os três anos do desenvolvimento deste projeto, agradecendo em especial à Ana Nassar, Daniel Grabois, Larissa Araújo, Márcia Sumirê e Raissa Ferreira; às equipes da ABRIPUR, MMA e do PNUD, pelas informações estratégicas fornecidas, que possibilitaram a elaboração dos inventários do setor de Espumas e de Refrigeração e Ar Condicionado; aos colegas Afonso Moraes de Moura e Viviane Nunes da ABTCP, pelo apoio na elaboração do inventário de emissões de GEE do setor de Papel e Celulose; à colaboração de Cleber Sabonaro da ABIA, pelos dados cedidos sobre o setor de Alimentos e Bebidas; à colaboração da ABPC, na pessoa de seu presidente Mauro Adamo Seabra, pelos dados cedidos, fundamentais para a finalização do inventário de Produção de Cal; a Yushiro Kihara da ABCP e Gonzalo Viseto do SNIC, que tornaram o relatório de emissões da Produção de Cimento possível; à Lucien Belmonte e José Carlos Dallacqua da ABIVIDRO, pelo apoio na realização do projeto sobre as emissões da Produção de Vidro; a Obdulio Fanti da ABQUIM, pela elaboração e fornecimento de informações estratégicas ao desenvolvimento do inventário de emissões da Produção Química; aos colegas do IABr, em especial a Lucila Caselato, pelo apoio e resposta às solicitações feitas pela equipe responsável para realização do inventário do setor Metalúrgico e a Agência da CETESB em Cubatão pela disponibilização de imagens; a Wanda Fernandes Carrilho pelo apoio na revisão ortográfica de alguns dos textos.

Expressamos nossa sincera homenagem a Roberto Kenji Fujimoto (*in memoriam*), sem o qual a realização dos Relatórios de Referência da Indústria Metalúrgica e das Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade não seria possível.

Finalmente, nosso especial reconhecimento à equipe do PROCLIMA, em especial à Gisele dos Anjos Passareli, e às consultoras Bruna Patrícia de Oliveira, sem a qual a realização dos inventários de Solventes e Aerossóis não seria possível, e Érica Marie Tachibana e Eliane Aparecida Milani de Queirós Lopes da Cruz, por suas revisões e contribuições preciosas que agregaram qualidade e precisão às conclusões deste trabalho.



SUMÁRIO EXECUTIVO



Sumário Executivo

A Política Estadual de Mudanças Climáticas

De acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC/UNFCCC) assinada em 1992 na Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), as mudanças climáticas globais são relacionadas às atividades humanas que alteram a composição da atmosfera além da variabilidade climática natural (IPCC, 2007).

Entre as diretrizes da Convenção do Clima é apresentado o dever da elaboração de inventários periódicos pelos países signatários, e que esses devem incorporar as emissões ou remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal.

O Brasil como Parte da Convenção vem elaborando seus inventários periodicamente. Além das obrigações nacionais, observam-se iniciativas de governos subnacionais ou locais relacionadas a essa questão global, como no Estado de São Paulo.

O Governo do Estado de São Paulo, por meio da Lei 13.798 de 09 de novembro de 2009 (SÃO PAULO, 2009), instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), regulamentada pelo Decreto 55.947 de 24 de junho de 2010 (SÃO PAULO, 2010). No Artigo 6º da lei supracitada, estão definidas as diretrizes para a elaboração, a atualização periódica e a publicação de inventários de emissões antrópicas por fontes e das remoções por sumidouros, dos Gases de Efeito Estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal, com o emprego de métodos comparáveis nacional e internacionalmente (CETESB, 2011). No Inventário de Emissões de GEE do Estado de São Paulo, ampliou-se o escopo legal, incluindo as emissões dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal, os quais apresentam alto potencial de aquecimento global.

O Inventário

O Inventário do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos é parte integrante da Comunicação Estadual (CETESB, 2011), também composta pela estimativa dos Setores de Energia, Agropecuária, Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (UTMUTF), e Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos.

O Inventário do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos contou com a participação fundamental dos especialistas dos subsetores que o compõem para a conclusão dos trabalhos, com a disponibilização de informações técnicas e, em alguns casos, a efetiva elaboração dos inventários.

A CETESB formou parcerias com as principais instituições e especialistas de cada subsetor, sendo eles: de Produção de Cimento com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), Produção Química com a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), Produção Metalúrgica com o Instituto Aço Brasil (IABr) e Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), Produção de Alimentos e Bebidas com a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA), Produção de Vidro com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), Produção de Papel e Celulose com a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), e Uso de Solventes e Outros Produtos – Gases Fluorados com o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Além disso, os Relatórios de Referência de cada um dos subsetores acima citados, estiveram em Consulta Pública na página de Internet da CETESB, por um período de 15 meses, iniciados em novembro de 2010.

Estimativas

As considerações dos subsetores foram respeitadas e, de uma forma geral, os inven-

tários elaborados pelo estado seguiram as mesmas diretrizes do inventário brasileiro como o *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Guidelines 1996* e o *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories – Good Practice Guidance 2000*, publicado em 2000.

O levantamento dos dados de atividade e os fatores de emissão foram realizados junto aos subsetores. Na maioria deles, foram empregados fatores de emissão *default* por não existirem dados nacionais publicados, respeitando os princípios de transparência, consistência e acurácia preconizados pelo IPCC.

Este relatório apresenta as emissões de 1990 a 2008, porém, existem algumas variações de período de inventário entre os subsetores, detalhadas nos textos específicos, onde ocorrem. Os gases inventariados foram o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs), os clorofluorcarbonos (CFCs), os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), e outros compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC).

A Tabela 1 apresenta as emissões do inventário por tipo de gás para os anos de 1990, 1994, 2000, 2005 e 2008.

Tabela 1 Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos por Gás, nos anos de 1990, 1994, 2000, 2005 e 2008 no Estado de São Paulo

Sector	Ano	Unidade	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-134a	SF ₆	CFC-11	CFC-12	CFC-113	HCFC-22	HCFC-141b	CO	NOx	VOC
Produção de Cimento	1990	Gg	2.293												
	1994		1.934												
	2000		2.853												
	2005		1.734												
	2008		2.500												
	Var.1990/2000		24												
	Var.1990/2005	%	-24												
Var.1990/2008		9													
Produção de Cal	1990	Gg	457												
	1994		554												
	2000		816												
	2005		789												
	2008		642												
	Var.1990/2000		79												
	Var.1990/2005	%	73												
Var.1990/2008		40													
Produção Química	1990	Gg	717	1,1	11										
	1994		820	1,0	16										
	2000		922	1,5	20										
	2005		1.125	1,5	23										
	2008		NE	NE	NE										
	Var.1990/2000		29	36	88										
	Var.1990/2005	%	57	36	116										
Var.1990/2008		NA	NA	NA											
Produção Metalúrgica	1990	Gg	NE												
	1994		NE												
	2000		NE												
	2005		9.175												
	2008		8.935												
	Var.1990/2000		NA												
	Var.1990/2005	%	NA												
Var.1990/2008		NA													
Produção de Alimentos e Bebidas	1990	Gg													130
	1994														151
	2000														213
	2005														251
	2008														280
	Var.1990/2000													64	
	Var.1990/2005	%												93	
Var.1990/2008													115		
Produção de Vidro	1990	Gg	41												1,8
	1994		89												4,0
	2000		131												5,9
	2005		142												6,4
	2008		141												6,4
	Var.1990/2000		220											221	
	Var.1990/2005	%	246											247	
Var.1990/2008		244											245		

Continua

Continuação

Sector	Ano	Unidade	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-134a	SF ₆	CFC-11	CFC-12	CFC-113	HCFC-22	HCFC-141b	CO	NOx	VOC	
Produção de Papel e Celulose	1990	Gg											3,5	1,0	2,3	
	1994												9,0	2,4	5,9	
	2000													11,4	3,0	7,5
	2005													17,1	4,6	11,3
	2008													20,2	5,4	13,4
	Var.1990/2000													221	220	221
	Var.1990/2005	%												383	382	383
	Var.1990/2008													471	469	471
Fugitivas do Subsetor de Eletricidade	1990	Gg					0,001									
	1994						0,001									
	2000						0,002									
	2005						0,002									
	2008						0,002									
	Var.1990/2000					15										
	Var.1990/2005	%				38										
	Var.1990/2008					62										
Espumas	1990	Gg				NE		0,7				NE				
	1994					NE		1,2				NE				
	2000					NE		1,4				NE				
	2005					NE		NE				0,8				
	2008					0,01		NE				1,1				
	Var.1990/2000				NA		106				NA					
	Var.1990/2005	%				NA		NA			NA					
	Var.1990/2008					NA		NA			NA					
Aerossóis	1990	Gg						NE	NE							
	1994							NE	NE							
	2000							0,02	0,03							
	2005							0,03	0,05							
	2008							0,04	0,07							
	Var.1990/2000						NA	NA								
	Var.1990/2005	%					NA	NA								
	Var.1990/2008						NA	NA								
Solventes	1990	Gg								0,26						
	1994									0,09						
	2000									0,02						
	2005									NE						
	2008									NE						
	Var.1990/2000								-94							
	Var.1990/2005	%							NA							
	Var.1990/2008								NA							
Refrigeradores e Ar Condicionado	1990	Gg				NE		0,1			0,7					
	1994					NE		0,2			0,9					
	2000					0,3		0,2			1,8					
	2005					0,6		0,1			2,1					
	2008					0,9		0,1			3,0					
	Var.1990/2000				NA		97			170						
	Var.1990/2005	%				NA		20		215						
	Var.1990/2008					NA		4		349						

Nota: Não foram apresentadas na Tabela 1 as emissões de PFCs.

NA: Não Aplicável,

NE: Não Estimado.

Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo para o Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos em 2005.

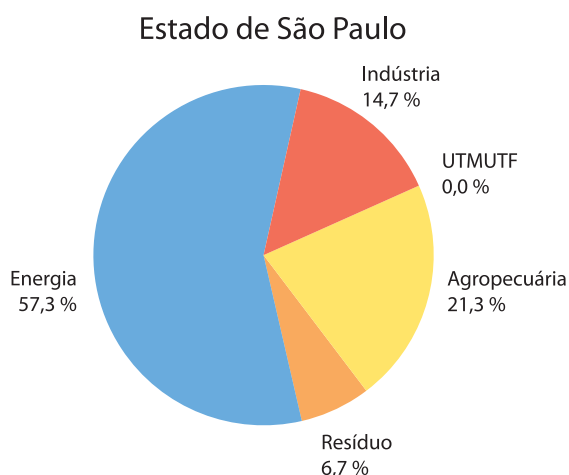
A análise das emissões antrópicas líquidas em nível nacional (BRASIL, 2010) e as associadas ao Estado de São Paulo permitem identificar o perfil dessas emissões e identificar as categorias onde as ações de mitigação de gases de efeito estufa podem se concentrar. O gráfico a seguir apresenta as contribuições percentuais dos setores componentes da Comunicação Estadual: Energia, Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos, Processos Industriais e Uso de Produtos, Agropecuária e Uso da

Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Observa-se que a contribuição do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos para as emissões estaduais totais foi de aproximadamente 15%¹ em 2005.

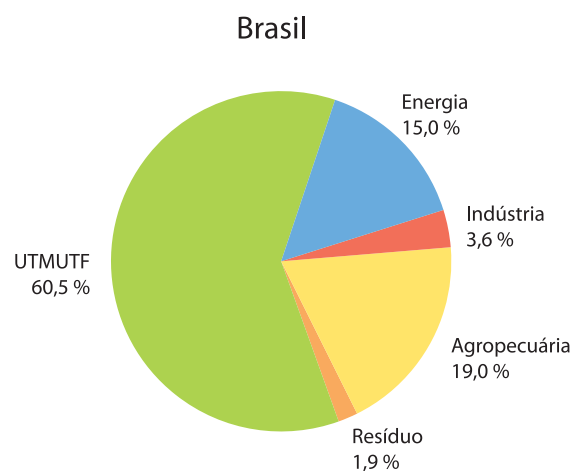
O Gráfico 1 mostra que enquanto as emissões do Estado de São Paulo, em decorrência das atividades desenvolvidas no estado, se concentram no Setor de Energia, já as emissões do Brasil, conforme o Gráfico 2, representam um perfil de país com grandes extensões territoriais e florestais, onde as maiores emissões são provenientes do Setor de UTMUTF.

Gráfico 1 Emissões de GEE em 2005 no Estado de São Paulo



Fonte: CETESB (2011)

Gráfico 2 Emissões de GEE em 2005 no Brasil



Fonte: CETESB (2011)

1 Após os processos de revisão para publicação dos cadernos individuais dos Setores (Energia, Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos, Processos Industriais e Uso de Produtos, Agropecuária e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas), os percentuais com que cada setor contribui em relação às emissões totais, poderá apresentar uma variação irrelevante.

Emissões Totais de GEE Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal

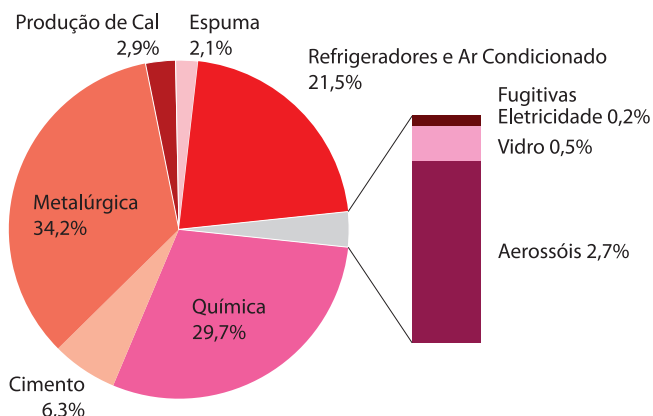
Na Tabela 2 são apresentadas as Emissões Totais de GEE em CO_{2eq}, do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, incluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

O Gráfico 3 apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq}, incluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

Tabela 2 Estimativas de Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, Incluindo os Gases pelo Protocolo de Montreal em 2005 no Estado de São Paulo

Subsetor	2005
	[Gg _{CO2eq,ano} ⁻¹]
Produção de Cimento	1.734
Produção de Cal	789
Produção Química	8.214
Produção Metalúrgica	9.467
Produção de Vidro	142
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	44
Espumas	592
Aerossóis	742
Refrigeradores e Ar-condicionado	5.953
Total	27.677

Gráfico 3 Emissões Totais de GEE do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal em 2005 no Estado de São Paulo



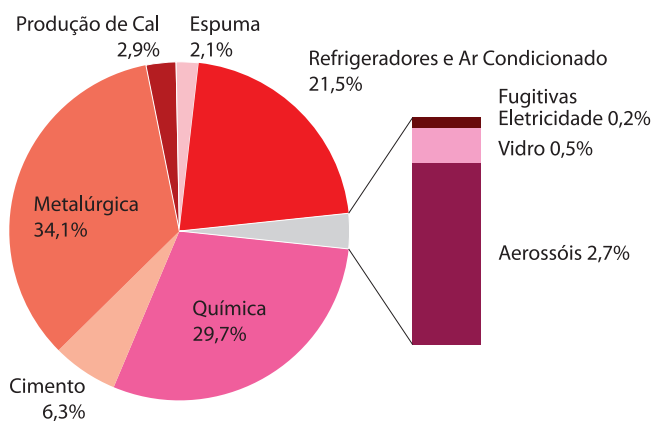
A Tabela 3 apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq}, excluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

O Gráfico 4 apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq}, excluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

Tabela 3 Estimativa de Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal em 2005 no Estado de São Paulo

Subsetor	2005
	[Gg _{CO2eq,ano} ⁻¹]
Produção de Cimento	1.734
Produção de Cal	789
Produção Química	8.214
Produção Metalúrgica	9.467
Produção de Vidro	142
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	44
Refrigeradores e Ar-condicionado	789
Total	21.178

Gráfico 4 Emissões Totais de GEE, Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal em 2005 no Estado de São Paulo



Referências

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. v. 1. Brasília. 2010. (Período: 1990 - 2005). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf>; Acesso em: jan. 2013.

CETESB. **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo**: comunicação estadual. 2.ed. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/inventario_estadual/sao_paulo/inventario_sp/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

IPCC. **Climate change 2007: Synthesis Report - Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: WMO: IPCC, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html>. Acesso em: ago. 2013.

MIGUEZ, J. O MDL no Brasil: Pioneirismo, Resultados e Perspectivas. **Mudanças Climáticas: Informações e Reflexões para um Jornalismo Contextualizado**, Brasília, 1 out. 2008. Disponível em: <<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/823>>. Acesso em: ago. 2013.

SÃO PAULO. Lei Estadual n. 13.798, de 9 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 119, n. 209, 10 nov. 2009a. Seção 1, p. 1-4. Disponível em: <<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20091110&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=1>>. Acesso em: fev. 2013

SÃO PAULO. Decreto n. 55.947, de 24 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 120, n. 119, 25 jun. 2010. Seção 1, p.1. Disponível em: <http://diariooficial.imprensaoficial.com.br/nav_v4/index.asp?c=4&e=20130927&p=1>. Acesso em: fev. 2013.

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio	BAU - <i>Business as Usual</i>
ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland	BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
ABIA - Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação	BOF - <i>Basic Oxygen Furnace</i> (Forno Básico a Oxigênio)
ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne	BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel
ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica	CAT-LEO - Cataguazes-Leopoldina Energia
ABIPECS - Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína	CEA - Companhia de Eletricidade do Amapá
ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química	CEAL - Companhia Energética de Alagoas
ABIVIDRO - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro	CEAM - Companhia Energética do Amazonas
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	CEB - Companhia Energética de Brasília
ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal	CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica / RS
ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido	CELB - Companhia Energética da Borborema
ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento	CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina
ABRAVIDRO - Associação Brasileira dos Distribuidores e Processadores de Vidros Planos	CELG - Companhia Energética de Goiás
ABRIPUR - Associação Brasileira da Indústria do Poliuretano	CELPA - Centrais Elétricas do Pará
ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel	CELPE - Companhia Energética de Pernambuco
AES SUL - Distribuidora Gaúcha de Energia	CELTINS - Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica	CEMAR - Companhia Energética do Maranhão
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária	CEMAT - Centrais Elétricas Mato-grossenses
ASHRAE - <i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)	CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais
	CENF - Companhia de Eletricidade de Nova Friburgo
	CEPISA - Companhia Energética do Piauí
	CER - Companhia Energética de Roraima
	CERJ - Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro
	CERON - Centrais Elétricas de Rondônia
	CESP - Companhia Energética de São Paulo
	CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CFC - Clorofluorcarbonos	DPCO - Doenças Pulmonares Crônica Obstrutivas / Destrutivas
CFLO - Companhia Força e Luz do Oeste	DR - <i>Direct Reduction</i> (Redução Direta)
CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco	EAF - <i>Electric Arc Furnace</i> (Forno Elétrico a Arco)
CHESP - Companhia Hidroelétrica São Patrício	ELEKTRO - Elektro Eletricidade e Serviços
CKD - <i>Cement Kiln Dust</i> (Poeira de Forno do Cimento)	ELETROACRE - Companhia de Eletricidade do Acre
CNPC - Conselho Nacional da Pecuária de Corte	ELETROCAR - Centrais Elétricas de Carazinho / RS
CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento	ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil
COCEL - Companhia Campolarguense de Energia	ELETRONUCLEAR - Eletrobrás Termonuclear
COELBA - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo
COELCE - Companhia Energética do Ceará	ELETROS - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos
COG - <i>Coke Oven Gas</i> (Gás de Coqueria)	ELETROSUL - Eletrosul Centrais Elétricas
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente	ELN/AM - Eletrobras Eletronorte Amazonas
COOPERALIANÇA - Cooperativa Aliança	ELN/AP - Eletrobras Eletronorte Amapá
COPEL - Companhia Paranaense de Energia	ELN/MA - Eletrobras Eletronorte Maranhão
COPENE - Companhia Petroquímica do Nordeste	ELN/PA - Eletrobras Eletronorte Pará
COPESUL - Companhia Petroquímica do Sul	ENERGIPE - Empresa Energética de Sergipe
COSERN - Companhia Energética do Rio Grande do Norte	ENERSUL - Empresa Energética de Mato Grosso do Sul
COSIPA - Companhia Siderúrgica Paulista	ESCELSA - Espírito Santo Centrais Elétricas
CPEE - Companhia Paulista de Energia Elétrica	ESTV - Escola Superior de Tecnologia de Viseu
CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz	FE - Fator de Emissão
CSI - <i>Cement Sustainability Initiative</i> (Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento)	FEcf - Produção de Concentrado Fosfórico
CSPE - Companhia Sul Paulista de Energia	FOB - <i>Free on Board</i>
CTC - Tetracloreto de Carbono	FURNAS - Furnas Centrais Elétricas
CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista	GAF - Gás de Alto-Forno
CTF - Cadastro Técnico Federal	GEE - Gás / Gases de Efeito Estufa
CWPB - <i>Center-Worked Prebake</i>	GHG - <i>Greenhouse Gases</i> (Gás / Gases de Efeito Estufa)
DEMEI - Departamento Municipal de Energia de Ijuí / RS	GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
	GPG - <i>Good Practice Guidance</i> (Guia de Boas Práticas)
	GWP - <i>Global Warming Potential</i> (Potencial de

Aquecimento Global)	MS - Ministério da Saúde
HC - Hidrocarbonetos	NMVOC - <i>Non Methanic Volatile Organic Compounds</i> (Compostos Orgânicos Voláteis Não Metanos)
HCFC - Hidroclorofluorcarbonos	ODP - <i>Ozone Depletion Potential</i> (Potencial de Destruição da Camada de Ozônio)
HFC - Hidrofluorcarbonos	OECD - <i>Organization for Economic Cooperation and Development</i> (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
IABr - Instituto Aço Brasil	OHF - <i>Open Hearth Furnace</i> (Forno de Soleira Aberta)
IAI - <i>International Aluminium Institute</i> (Instituto Internacional do Alumínio)	P+L - Produção Mais Limpa
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	PCI - <i>Pulverized Coal Injection</i> (Finos de Carvão Pulverizado)
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
IEA - <i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)	PDO - Potencial de Destruição da Camada de Ozônio
IEA USP - Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo	PEMC - Política Estadual de Mudanças Climáticas
ILAFA - Instituto Latino-Americano de Ferro e Aço	PFC - Perfluorcarbonos
IMT - Instituto Mauá de Tecnologia	PFE - Perfluoroéteres
IPCC - <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)	PFPB - Point Feed Prebake
ISO - <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)	PM - Protocolo de Montreal
LD - <i>Linz-Donawitz</i>	PNC - Plano Nacional de Eliminação dos CFCs no Brasil
LDG - <i>Linz-Donawitz Gas</i> (Gás de Aciaria)	PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
MCF - Metilclorofórmio	PROCLIMA - Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia (atual MCTI)	PROZON - Comitê Executivo Interministerial para a Proteção da Camada de Ozônio
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	PU - Poliuretano
MDI - <i>Metered-dose Inhaler</i> (Inalador de Dose Calibrada)	Qcal - Produção de Cal
MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior	RAC - Sistemas e Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	RDC - Resolução
MMA - Ministério do Meio Ambiente	RGE - Rio Grande Energia
MME - Ministério de Minas e Energia	SAELPA - Sociedade Anônima de Eletrificação da Paraíba

SDO - Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SECEX - Secretaria de Comércio Exterior

SIN - Sistema Interligado Nacional

SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

SINDISOLV - Sindicato Nacional do Comércio Atacadista de Solventes de Petróleo

SISCOMEX - Sistema Integrado de Comércio Exterior

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SULGIPE - Companhia Sul Sergipana de Eletricidade

SWPB - *Side Worked Prebake*

TEAP - *The Technology and Economic Assessment Panel*

UBABEF - União Brasileira de Avicultura

UBV - União Brasileira de Vidros

UNEP - *United Nations Environment Programme* (PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* (CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

UTMUTF - Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

VOC - *Volatile Organic Compound* (Compostos Orgânicos Voláteis)

VSS - *Vertical Stud Söderberg*

WBSCP - *World Business Council for Sustainable Development*

WRI - *World Resources Institute*

WSA - *World Steel Association*

Lista de Símbolos

Al - Alumínio	Hematita)
Al(OH) ₃ - Hidróxido de Alumínio	FEcf - Produção de Concentrado Fosfórico
Al ₂ O ₃ - Óxido de Alumínio (Alumina)	g - Grama
BTX - Benzeno, Tolueno e Xileno	Gg - Gigagrama
C - Carbono	GJ - Gigajoule
°C - Grau Celsius	GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
Ca - Cálcio	HCl - Cloreto de Hidrogênio (Ácido Clorídrico)
CaCO ₃ - Carbonato de Cálcio (Calcário)	HNO ₃ - Ácido Nítrico
CaF ₂ .3Ca ₃ (PO ₄) ₂ - Fluorapatita (Rocha Fosfática)	H ₂ - Hidrogênio
CaMg(CO ₃) ₂ - Dolomita	H ₂ O - Água
CaO - Óxido de Cálcio (Cal Virgem, Cal Viva ou Cal Ordinária)	H ₂ SO ₄ - Ácido Sulfúrico
Ca(OH) ₂ - Hidróxido de Cálcio	H ₃ PO ₄ - Ácido Fosfórico (Ácido Ortofosfórico)
CF ₄ - Tetrafluoreto de Metano ou Perfluorometano	hl - Hectolitro
CH ₂ CHCl - Cloreto de Vinila (MVC)	K - Potássio
(CH ₂) ₅ CO - Cicloexanona	K ₂ O - Óxido de Potássio
(CH ₂) ₆ O - Cicloexanol	kg - Quilograma
CH ₃ Br - Bromometano	kV - Quilovolt
CH ₃ CCl ₃ - 1,1,1 Tricloroetano (Metilclorofórmio)	L - Litro
CCl ₄ - Tetracloroeto de Carbono	M - Massa Molar
CH ₄ - Metano	Mg - Magnésio
CO - Monóxido de Carbono	MgCO ₃ - Carbonato de Magnésio
CO ₂ - Gás Carbônico / Dióxido de Carbono	MgO - Óxido de Magnésio
CO _{2eq} - Gás Carbônico Equivalente / Dióxido de Carbono Equivalente	Mn - Manganês
C ₂ F ₆ - Hexafluoreto de Etano	MVC - Mono-Cloreto de Vinila
C ₂ H ₄ - Eteno ou Etileno	MW - Megawatt
C ₂ H ₄ Cl - Dicloroetano	MWh - Megawatt-hora
C ₂ H ₄ O - Óxido de Eteno	NH ₃ - Amônia
C ₆ H ₁₀ O ₄ - Ácido Adípico	NH ₄ OH - Hidróxido de Amônio
Fe ₂ O ₃ - Óxido Férrico (Óxido de Ferro III,	NOx - Óxidos de Nitrogênio
	N ₂ O - Óxido Nitroso
	NaOH - Hidróxido de Sódio (Soda Cáustica)
	Na ₂ CO ₃ - Carbonato de Sódio (Barrilha)
	Na ₂ O - Óxido de Sódio

Na_2S - Sulfeto de Sódio

Na_3AlF_6 - Hexafluoraluminato de Sódio

O_2 - Oxigênio

P - Fósforo

pH - Potencial Hidrogeniônico

S - Enxofre

SF_6 - Hexafluoreto de Enxofre

SO_2 - Dióxido de Enxofre

SO_x - Óxidos de Enxofre

SiO_2 - Óxido de Silício (Sílica)

t - Tonelada

W - Watt

SUMÁRIO GERAL

Sumário Executivo	21
Referências	27
Introdução	39
PARTE I - PRODUÇÃO DE CIMENTO	43
1 Introdução	47
2 Método de Cálculo de Emissão de CO ₂ na Produção de Cimento	49
3 Dados	52
4 Resultados	54
5 Considerações Finais	55
Referências	56
Anexos	57
PARTE II - PRODUÇÃO DE CAL	59
1 Introdução	63
2 Estratégia de Elaboração das Estimativas de Emissão de CO ₂ na Produção de Cal	65
3 Método para Estimativa de Emissão de CO ₂	67
4 Dados	68
5 Resultados	70
6 Considerações Finais	72
Referências	73
Anexos	74
PARTE III - PRODUÇÃO QUÍMICA	77
1 Introdução	83
2 Ácido Adípico	84
3 Ácido Fosfórico	86
4 Ácido Nítrico	88

5	Amônia	91
6	Dicloroetano e Cloreto de Vinila	93
7	Eteno	96
8	Negro de Fumo	99
9	Óxido de Eteno	101
10	Consolidação das Emissões de Gases	103
	Referências	105
	Anexos	106
PARTE IV - PRODUÇÃO METALÚRGICA		109
1	Introdução	115
2	A Indústria do Aço	116
3	Método para a Estimativa de GEE na Produção de Aço	124
4	Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Aço	126
5	A Indústria do Alumínio	127
6	Método de Estimativa de Emissões	131
7	Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Alumínio	132
8	Resultados	133
	Referências	134
PARTE V - PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E BEBIDAS		135
1	Introdução	141
2	Método para Estimativa de Emissão de NMVOC	143
3	Dados	144
4	Resultados	151
5	Considerações Finais	155
	Referências	156
PARTE VI - PRODUÇÃO DE VIDRO		157
1	Introdução	161
2	Método para Estimativa de Emissão de NMVOC e CO ₂	163
3	Dados	164

4	Resultados	165
5	Considerações Finais	167
	Referências	168
PARTE VII- PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE		169
1	Introdução	173
2	Processo de Preparação da Pasta Celulósica	175
3	Método para a Estimativa de Emissões de Óxido de Nitrogênio (NO _x), Compostos NMVOC e CO	176
4.	Dados	177
5	Resultados	179
6	Considerações Finais	180
	Referências	181
PARTE VIII - USO DE SOLVENTES E OUTROS PRODUTOS - GASES FLUORADOS		183
VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE		195
1	Introdução	197
2	Método	199
3	Dados	200
4	Resultados	202
	Referências	203
	Anexos	204
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS		211
1	Introdução	213
2	Método para Estimar as Emissões de GEE	215
3	Método para a Estimativa de Dados de Consumo de CFC-11	217
4	Dados	218
5	Considerações Finais	222
	Referências	226
	Anexos	227

VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS	229
1 Introdução	231
2 Método	233
3. Dados de Consumo de CFCs para Uso em Inaladores de Dose Calibrada - MDIs (<i>Metered Dose Inhalers</i>)	234
4 Resultados Obtidos para Estimativa de Emissões de CFCs	235
5 Conclusões	238
Referências	239
Anexos	240
VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES	245
1 Introdução	247
2 Método para Estimativa de Emissões de GEE do Subsetor de Solventes ..	251
3 Dados	252
4 Resultados	253
5 Conclusões	254
Referências	255
Anexos	256
VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	259
1 Introdução	261
2 Método Utilizado para Estimativa das Emissões de CFCs, HCFCs e HFCs do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado	266
3 Dados	268
4 Resultados	285
5 Conclusões	296
Referências	298
Anexos	300
CONSIDERAÇÕES FINAIS	307



INTRODUÇÃO



Introdução

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) insere-se no contexto de mudanças climáticas por meio do Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo (PROCLIMA). A coordenação do PROCLIMA foi responsável pela elaboração do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Tratamento e Disposição de Resíduos dos períodos de 1990 a 1994 e de 1990 a 2005. Esses inventários compuseram a 1ª e a 2ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, respectivamente.

Conforme o Artigo 28 da Lei n. 13.798 de 9 de novembro de 2009, o PROCLIMA ficou responsável pela coordenação das ações estaduais sistemáticas de inventário de gases de efeito estufa. Dentro desse contexto, o PROCLIMA foi responsável pela coordenação da 1ª Comunicação Estadual (CETESB, 2011) e consequente elaboração e/ou revisão dos relatórios setoriais, que compõem o conjunto de documentos que deram origem à referida publicação.

O Inventário do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos é parte integrante da Comunicação Estadual (CETESB, 2011), também composta pela estimativa dos Setores de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas; Agropecuária; Energia; e Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos.

Este relatório apresenta as estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) Diretos e Indiretos reunindo os inventários dos subsetores industriais do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos apresentados pelo IPCC, sendo eles: Produção de Cimento, Produção de Cal, Produção Química, Produção Metalúrgica, Produção de Alimentos e Bebidas, Produção de Vidro, Produção de Papel e Celulose e Uso de Solventes e Outros Produtos, que engloba as emissões fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade, Espumas, Aerossóis, Solventes e Refrigeradores e Ar-Condicionado.

O inventário estadual foi elaborado no âmbito da parceria entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para apoiar o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”. A CETESB formou parcerias com as principais instituições e especialistas dos subsetores, a saber: de Produção de Cimento com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC); de Produção de Cal com a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC); de Produção Química com a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM); de Produção Metalúrgica com o Instituto Aço Brasil (IABr) e Instituto Mauá de Tecnologia (IMT); de Produção de Alimentos e Bebidas com a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA); de Produção de Vidro com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO); de Produção de Papel e Celulose com a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP); e de Uso de Solventes e Outros Produtos com o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

De uma forma geral, foram empregadas as diretrizes do IPCC como o *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Guidelines 1996*; o *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Good Practice Guidance 2000*; e o *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Guidelines 2006*.

Os métodos do IPCC citados acima possibilitaram as estimativas das emissões dos processos produtivos sem considerar o uso de combustíveis. Esses, por sua vez, são contabilizados no Setor de Energia.

Os gases estimados foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs), os clorofluorcarbonos (CFCs), os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), o monóxido de carbono (CO),

os óxidos de nitrogênio (NOx), e outros compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC). Este relatório apresenta as emissões de 1990 a 2008, porém, existem algumas variações de período de inventário entre os subsetores, detalhadas nos textos específicos, onde ocorrem. O ano de 2005, ano-base para a meta de redução das emissões estabelecida pela Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC (Lei n. 13.798/2009) é o mais completo, pois apresenta as estimativas de todos os subsetores.

PARTE I

A photograph of an industrial facility, likely a cement plant. In the foreground, there are two large, cylindrical blue silos. Above them, a complex network of metal walkways and pipes is visible. To the left, there is a multi-story building with a blue and white facade. The background shows a hazy, mountainous landscape under a clear blue sky.

PRODUÇÃO DE CIMENTO

A photograph of an industrial facility, likely a cement plant. In the foreground, there is a paved area with a semi-truck parked. To the right, there is a building with a red and white facade. The background shows a hazy, mountainous landscape under a clear blue sky.

Ficha Técnica

Coordenação da Parceria CETESB / SNIC / ABCP

João Wagner Silva Alves

Elaboração

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Gabriela Pacheco Rotondaro – Consultora Técnica

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

Revisão Técnica

Gonzalo Visedo – SNIC

João Wagner Silva Alves – CETESB

Colaboração

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Francisco do Espírito Santo Filho

Gisele dos Anjos Passareli

Gonzalo Visedo

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Yushiro Kihara

Esse Relatório de Referência foi elaborado pela CETESB em parceria com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em 2009, no âmbito do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE I - PRODUÇÃO DE CIMENTO	43
1 Introdução	47
1.1 Panorama Nacional	47
1.2 Panorama Estadual	48
2 Método de Cálculo de Emissão de CO₂ na Produção de Cimento	49
2.1 Emissões dos Carbonatos	49
2.2 Emissões do <i>Clinker Kiln Dust</i> CKD	50
2.3 Emissões do Carbono Orgânico Contido na Matéria-prima	50
3 Dados	52
3.1 Produção de Clínquer e Cimento	52
3.2 Emissões dos Carbonatos	52
3.3 Emissões do CKD Não-Calcinado	53
3.4 Emissões do Carbono Orgânico Contido na Matéria-prima	53
4 Resultados	54
5 Considerações Finais	55
Referências	56
Anexos	57

TABELAS

Tabela 1	Produção Nacional e Estadual de Cimento de 1990 a 2008	48
Tabela 2	Produção de Cimento e Clínquer de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	52
Tabela 3	Emissão de CO ₂ da Produção de Cimento pelo Processo de Descarbonatação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	54

GRÁFICOS

Grafico 1	Participação Regional na Produção Brasileira de Cimento em 2008	47
Grafico 2	Produção de Cimento de 1990 a 2008	48
Grafico 3	Produção Estadual de Clínquer e Cimento no Período de 1990 a 2008	52
Grafico 4	Emissões de CO ₂ do Estado no Período de 1990 a 2008	54

FIGURAS

Figura 1	Processo de Produção do Cimento	57
----------	---------------------------------	----

EQUAÇÕES

Equação 1	Emissões de CO ₂ Provenientes dos Carbonatos	49
Equação 2	Formação do Óxido de Cálcio	49
Equação 3	Formação do Óxido de Magnésio	49
Equação 4	Formação do Óxido de Cálcio e Magnésio	49
Equação 5	Fator de Emissão do Clínquer	49
Equação 6	Fator de Emissão do Óxido de Cálcio	49
Equação 7	Relação Molar entre CO ₂ e CaO	50
Equação 8	Fator de Emissão do Óxido de Magnésio	50
Equação 9	Relação Molar entre CO ₂ e MgO	50
Equação 10	Cálculo do Fator de Emissão do CKD	50
Equação 11	Emissões de CO ₂ Provenientes da Matéria-prima	50
Equação 12	Fator de Emissão Carbono Orgânico da Matéria-prima	51

1 Introdução

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia, e Inovação (MCTI) (CARVALHO et al. 2010), em escala mundial, aproximadamente 90% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção do clínquer (material intermediário do cimento), seja na calcinação/descarbonatação da matéria-prima, seja com a queima de combustíveis no interior do forno. A parcela restante resulta do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica nas fábricas.

Este relatório apresenta um panorama do subsetor de produção de cimento no Brasil e no Estado de São Paulo, onde são estimadas as emissões do processo produtivo para o período 1990 a 2008, abordando apenas as emissões do processo de descarbonatação¹ do calcário, que ocorrem no forno de calcinação para fabricação do clínquer. As emissões da queima de combustíveis no interior do forno são abordadas nos relatórios referentes ao Setor Energia, segundo as diretrizes metodológicas do IPCC (CARVALHO et al. 2010).

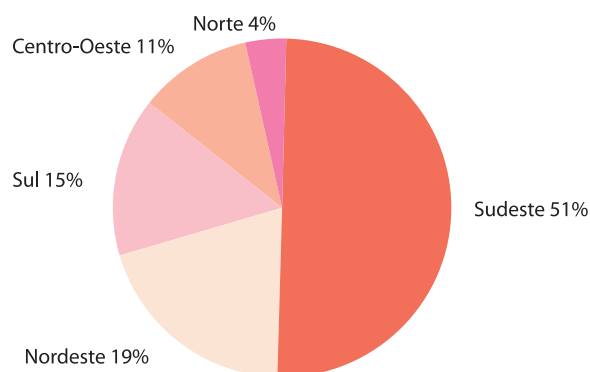
1.1 Panorama Nacional

No Brasil, o cimento é produzido em diversas unidades da federação. O parque industrial cimenteiro era, em 2009, constituído por 69 fábricas, das quais 46 eram fábricas integradas, com forno de produção de clínquer, e 23 eram apenas moagens, que iniciam seu processo a partir do clínquer pronto. Em sua quase totalidade, as plantas são equipadas com fornos de via seca, dotados de pré-aquecedores, pré-calcinadores e sistemas de controle. O Gráfico 1 a seguir, apresenta a participação regional na produção de cimento no Brasil em 2008 (BRASIL, 2010).

De acordo com o Anuário Estatístico de 2008 do SNIC (SNIC; ABCP, apud BRASIL, 2010), Minas Gerais foi o estado com a maior produção, com 24,3% do total produzido no país em 2008. São Paulo ficou em segundo lugar, com 15,8%, seguido pelo Paraná, com 10,2% e Rio de Janeiro, com 6,0%. Os demais estados produziram juntos 43,7%.

Mais de 90% do cimento brasileiro apresenta-se misturado a outros compostos, tendo havido uma redução no conteúdo médio de clínquer no cimento, de 78% em 1990 para 68% em 2005, bem abaixo da média mundial.

Gráfico 1 Participação Regional na Produção Brasileira de Cimento em 2008



Fonte: Carvalho et al. (2010).

1 O processo de descarbonatação é apresentado no Anexo .

1.2 Panorama Estadual

A produção de cimento no Estado de São Paulo durante o período de 1990 a 2008 variou conforme as oscilações na economia e na construção civil. Nesses anos, as reduções da produção correspondem a períodos de crise, conforme se observa na Tabela 1.

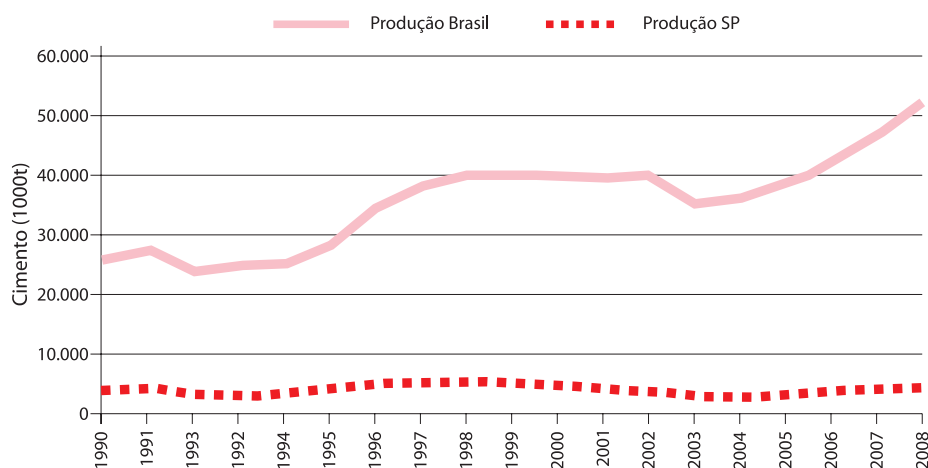
O processo produtivo do cimento e clínquer, segundo o SNIC; (2010) está descrito no Anexo desse relatório.

Tabela 1 Produção Nacional e Estadual de Cimento de 1990 a 2008

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Produção SP	4.144	4.412	3.357	3.243	3.499	4.244	5.222	5.492	5.586	5.470
Produção Brasil	25.850	27.490	23.900	24.840	25.230	28.256	34.597	38.096	39.942	40.234
Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Produção SP	5.160	4.304	3.870	3.078	2.844	3.137	4.007	4.407	4.612	
Produção Brasil	39.901	39.453	39.927	35.122	35.984	38.705	41.895	46.551	51.970	

Fonte: SNIC (2010); Carvalho et al. (2010).

Gráfico 2 Produção de Cimento de 1990 a 2008



2 Método de Cálculo de Emissão de CO₂ na Produção de Cimento

O método utilizado para o cálculo das emissões de CO₂ durante a produção de cimento no Estado de São Paulo foi desenvolvida pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) e pelo *World Resources Institute* (WRI), sendo conhecida como GHG Protocol e oficialmente utilizada pela *Cement Sustainability Initiative* (CSI), iniciativa de caráter ambiental vinculada ao WBCSD, que congrega os maiores produtores de cimento no mundo.

O setor considera que o método é altamente compatível com o Tier 3 do IPCC e este, foi utilizado pelo MCTI para a realização do 2º Inventário Brasileiro de Gases de Efeito Estufa no período de 1990 a 2005.

2.1 Emissões dos Carbonatos

As emissões de CO₂ provenientes dos carbonatos são estimadas pela equação:

Equação 1 Emissões de CO₂ Provenientes dos Carbonatos

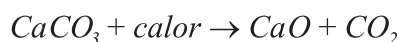
$$E_{\text{Carbonatos}} = FE_{\text{clínquer}} \cdot P_{\text{clínquer}}$$

onde:

$E_{\text{carbonatos}}$	Emissões de CO ₂ provenientes dos carbonatos	[t _{CO2}]
$FE_{\text{clínquer}}$	Fator de emissão do clínquer	[t _{CO2} ·t _{clínquer} ⁻¹]
$P_{\text{clínquer}}$	Produção de clínquer	[t _{clínquer}]

Segundo o MCTI (BRASIL, 2010), durante a produção de clínquer, o calcário, que é principalmente constituído de carbonato de cálcio (CaCO₃), é aquecido em fornos, junto com outras matérias-primas, até produzir cal (CaO) e CO₂ como sub-produto, conforme demonstrado na Equação 2, no processo chamado de descarbonatação ou calcinação.

Equação 2 Formação do Óxido de Cálcio

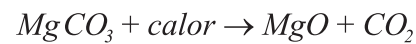


O CaO reage então com sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃) para formar o clínquer.

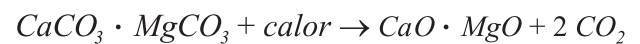
Entretanto, existem outros carbonatos presentes na matéria-prima em menor escala, que não o CaCO₃. Calcários magnesianos [MgCO₃] e dolomíticos [CaCO₃.MgCO₃] possuem magnésio em sua composição. Quando submetidos a elevada temperatura,

estes carbonatos fracionam-se, também liberando CO₂, conforme a Equação 3 e a Equação 4.

Equação 3 Formação do Óxido de Magnésio



Equação 4 Formação do Óxido de Cálcio e Magnésio



Conhecendo-se os teores de CaO e MgO contidos no clínquer, obtidos por análises químicas realizadas nas plantas, é possível calcular, por estequiometria, o fator de emissão do clínquer.

Os fatores de emissão, segundo o método do CSI (2011), são demonstrados a seguir na Equação 5, Equação 6 e Equação 7.

Equação 5 Fator de Emissão do Clínquer

$$FE_{\text{clínquer}} = FE_{\text{CaO}} + FE_{\text{MgO}}$$

onde:

$FE_{\text{clínquer}}$	Fator de emissão do clínquer	[t _{CO2} ·t _{clínquer} ⁻¹]
FE_{CaO}	Fator de emissão do óxido de cálcio	[t _{CO2} ·t _{clínquer} ⁻¹]
FE_{MgO}	Fator de emissão do óxido de magnésio	[t _{CO2} ·t _{clínquer} ⁻¹]

A seguir, a Equação 6 demonstra o fator de emissão do CaO (CSI, 2011).

Equação 6 Fator de Emissão do Óxido de Cálcio

$$FE_{\text{CaO}} = Tr_{\text{CaO}} \cdot RC$$

onde:

Tr_{CaO}	Teor de CaO no clínquer	$[t_{CaO} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
RC	Relação da massa molar do CO_2 e CaO	$[t_{CO_2} \cdot t_{CaO}^{-1}]$

A estimativa da relação molar do CO_2 e do CaO é apresentada pela Equação 7 abaixo (CSI, 2011).

Equação 7 Relação Molar entre CO_2 e CaO

$$RC = \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad RC = \frac{44,0g/mol_{CO_2}}{44,0g/mol_{MgO}}$$

$$RC = 0,7843$$

A seguir, a Equação 8 demonstra o fator de emissão do MgO (CSI, 2011).

Equação 8 Fator de Emissão do Óxido de Magnésio

$$FE_{MgO} = Tr_{MgO} \cdot RM$$

onde:

Tr_{MgO}	Teor de MgO no clínquer	$[t_{MgO} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
RM	Relação da massa molar do CO_2 e MgO	$[t_{CO_2} \cdot t_{MgO}^{-1}]$

A estimativa da relação molar do CO_2 e MgO é apresentada pela Equação 9 abaixo (CSI, 2011).

Equação 9 Relação Molar entre CO_2 e MgO

$$RM = \frac{M_{CO_2}}{M_{MgO}} \quad RC = \frac{44,0g/mol_{CO_2}}{44,0g/mol_{MgO}}$$

$$RC = 1,0918$$

2.2 Emissões do Clinker Kiln Dust CKD

Durante a produção de clínquer, é comum a emissão de poeira fugitiva de dentro do forno *Clinker Kiln Dust* (CKD). Esta poeira, calcinada ou não, muitas vezes é reinjetada no forno, retornando ao processo.

Por outro lado, o CKD calcinado que não é reinjetado pode ser considerado uma fonte secundária de emissão, já que não é contabilizada na análise química do clínquer (CARVALHO et al. 2010).

Para o cálculo do fator de emissão do CKD, são necessários o fator de emissão do clínquer (Equação 5) e a taxa de calcinação do CKD (CSI, 2011).

Equação 10 Cálculo do Fator de Emissão do CKD

$$FE_{CKD} = \frac{(FE_{clínq}/1 + FE_{clínq}) \cdot D}{1 - (FE_{clínq}/1 + FE) \cdot D}$$

onde:

FE_{CKD}	Fator de emissão do CKD	$[t_{CO_2} \cdot t_{CKD}^{-1}]$
$FE_{clínq}$	Fator de emissão do clínquer	$[t_{CO_2} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
D	Taxa de calcinação do CKD	[%]

Na ausência de dados sobre a taxa de calcinação D , o método CSI sugere a adoção do valor *default* 1, considerando que todo o CKD sofreu calcinação.

2.3 Emissões do Carbono Orgânico Contido na Matéria-prima

As emissões de CO_2 provenientes da matéria-prima são estimadas pela equação:

Equação 11 Emissões de CO_2 Provenientes da Matéria-prima

$$EMO = FE_{CKD} \cdot P_{clínquer}$$

onde:

EMP	Emissões de CO_2 provenientes da Matéria	$[Kg_{CO_2}]$
$FEMP$	Fator de emissão do clínquer	$[kg_{CO_2} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
PMP	Produção de clínquer	$[t_{clínquer}]$

Segundo o MCTI (CARVALHO et al. 2010), em adição aos carbonatos, as matérias-primas utilizadas na produção de clínquer podem conter uma pequena fração de carbono orgânico, o qual é convertido em CO_2 durante a sua queima. Os teores de carbono orgânico total nas matérias-primas (TOC) podem variar substancialmente devido a diferenças de localização e matérias-primas utilizadas.

Para o cálculo do fator de emissão do carbono orgânico contido na matéria-prima,

é utilizada a seguinte equação (CSI, 2011):

Equação 12 Fator de Emissão Carbono Orgânico da Matéria-prima

$$FE_{MO} = F_{Fc} \cdot TOC \cdot \frac{CO_2}{C}$$

onde:

FE_{MO}	Fator de Emissão da Matéria Orgânica	$[kg_{CO_2} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
F_{FC}	Fator "farinha/clínquer" Padrão	$[t_{farinha} \cdot t_{clínquer}^{-1}]$
TOC	Teor de Carbono Orgânico na Farinha	$[kg_C \cdot t_{farinha}^{-1}]$
CO_2/C	Relação entre Massas Moleculares do CO_2 e C	$[kg_{CO_2} \cdot kg_C^{-1}]$

3 Dados

3.1 Produção de Clínquer e Cimento

Os dados utilizados para as estimativas das emissões são referentes às metodologias citadas acima. Incluem a produção de cimento e clínquer, como é possível observar na Tabela 2.

Por motivos de sigilo industrial, só foram abertos nesta seção os dados consolidados de produção de clínquer e cimento do Estado de São Paulo.

O Gráfico 3 apresenta as produções de Clínquer e Cimento no Estado de São Paulo de 1990 a 2008.

3.2 Emissões dos Carbonatos

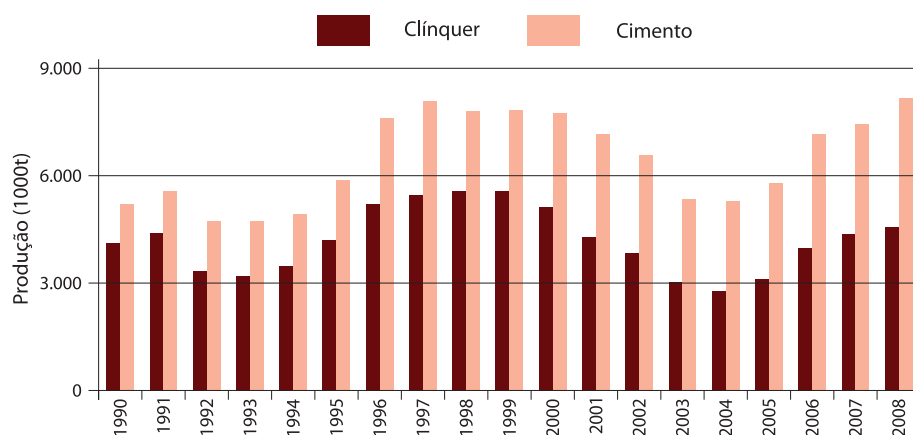
Para o cálculo da emissão dos carbonatos foram necessários: os teores de CaO e MgO contidos no clínquer; o total de clínquer produzido; e o total de cimento produzido.

Tabela 2 Produção de Cimento e Clínquer de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produto		
	Clínquer	Cimento	Conteúdo de Clínquer no Cimento
	[1.000t]		$[t_{\text{clínquer}} \cdot t_{\text{cimento}}^{-1}]$
1990	4.144	5.224	0,793
1991	4.412	5.555	0,794
1992	3.357	4.747	0,707
1993	3.243	4.745	0,683
1994	3.499	4.968	0,704
1995	4.244	5.890	0,721
1996	5.222	7.639	0,684
1997	5.492	8.078	0,680
1998	5.586	7.806	0,716
1999	5.470	7.827	0,699
2000	5.160	7.753	0,665
2001	4.304	7.133	0,603
2002	3.870	6.575	0,589
2003	3.078	5.386	0,571
2004	2.844	5.327	0,547
2005	3.137	5.837	0,595
2006	4.007	7.195	0,613
2007	4.407	7.453	0,596
2008	4.612	8.180	0,564

Fonte: SNIC [s.d.].

Gráfico 3 Produção Estadual de Clínquer e Cimento no Período de 1990 a 2008



Para os casos das plantas que não possuíam dados específicos sobre os teores de CaO e MgO contidos no clínquer, foi aplicado o $FE_{\text{clínquer}}^{\text{default}}$ recomendado pelo método CSI (2011) de $0,525 t_{\text{CO}_2}/t_{\text{clínquer}}$ que já possui a correção pelo conteúdo de MgO, sugerido tanto pela CSI (em torno de 2%) quanto pelo IPCC (2006a), entre 1 e 2%.

O valor é semelhante ao do FE de referência utilizado pelo IPCC (2000), de $0,51 t_{\text{CO}_2}/t_{\text{clínquer}}$, se a ele for acrescentada a correção relativa ao conteúdo de MgO ($2\% \times 1,0918 = 0,022 t_{\text{CO}_2}/t_{\text{clínquer}}$). Em ambos os casos, não há correção para CKD incluída (BRASIL, 2010).

3.3 Emissões do CKD Não-Calcinado

Segundo o MCTI (BRASIL, 2010), a grande maioria das plantas brasileiras reinjeta o CKD novamente no forno de clínquer, ou seja, não há perdas do sistema e, portanto, não se faz necessária qualquer correção por CKD.

3.4 Emissões do Carbono Orgânico Contido na Matéria-prima

De acordo com o MCTI, dados compilados pelo CSI indicam valores típicos de carbono orgânico na farinha entre 0,1% e 0,3%. As

emissões de CO₂ de carbono orgânico na farinha podem ser quantificadas e registradas pela fábrica. Entretanto, uma vez que sua contribuição no total de emissões é pequena, o *default* de 11 kg CO/t_{clínquer} é sugerido, com base na utilização dos seguintes parâmetros na Equação 12:

FFc	Fator farinha / clínquer padrão	1,550 [t _{farinha} ·t _{clínquer} ⁻¹]
TOC	Teor de carbono orgânico na farinha	2,000 [kg _{TOC} ·t _{farinha} ⁻¹]
PMP	Produção de clínquer	3,664 [kg _{CO2} ·kg C ⁻¹]

Fonte: CSI (2011).

4 Resultados

As emissões de CO₂ do carbono contido na matéria-prima podem ser calculadas com as informações das próprias fábricas. Quando estas informações não estavam disponíveis, foi aplicado o valor *default* de 11kg_{CO2}/t.

A Tabela 3 a seguir, apresenta os resultados das emissões de CO₂ provenientes do processo de produção do cimento, que ocorrem dentro do forno de calcinação do clínquer, para o Estado de São Paulo no período de 1990 a 2008.

Tabela 3 Emissão de CO₂ da Produção de Cimento pelo Processo de Descarbonatação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões Totais [Gg _{CO2}]	Emissões Específicas	
		Clínquer [t _{CO2} /t _{clínquer}]	Cimento [t _{CO2} /t _{cimento}]
1990	2.293	0,553	0,439
1991	2.441	0,553	0,439
1992	1.854	0,552	0,390
1993	1.791	0,552	0,377
1994	1.934	0,553	0,389
1995	2.345	0,553	0,398
1996	2.893	0,554	0,379
1997	3.041	0,554	0,377
1998	3.087	0,553	0,395
1999	3.026	0,553	0,387
2000	2.853	0,553	0,368
2001	2.384	0,554	0,334
2002	2.128	0,550	0,324
2003	1.705	0,554	0,317
2004	1.564	0,550	0,294
2005	1.734	0,553	0,297
2006	2.229	0,556	0,310
2007	2.459	0,558	0,330
2008	2.500	0,542	0,306

As estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no período de 1990 a 2008 estão reunidas no Gráfico 4. Em 2005, as emissões foram de 1.734Gg_{ano}⁻¹.

Como esperado, a partir da Tabela 2 observa-se que o FE de CO₂ para o clínquer, cujo processo de produção necessariamente emite o gás, teve pequena variação durante o período analisado, uma vez que ele depende unicamente da composição química da matéria-prima (teores de Ca e Mg no calcário), que pouco varia ao longo do tempo.

Este FE do clínquer para o Estado de São Paulo é ligeiramente maior do que a média nacional em virtude de maiores teores de Mg na matéria-prima. Isso é muito comum também nas jazidas de calcário da Região Sul.

Já as emissões de CO₂ por tonelada de cimento apresentaram significativa redução no período em função da alta utilização de adições de escória no Estado de São Paulo.

Gráfico 4 Emissões de CO₂ do Estado no Período de 1990 a 2008



5 Considerações Finais

O Estado de São Paulo, acompanhando toda a Região Sudeste, apresenta uma das menores emissões de CO₂ por tonelada de cimento no país. A elevada utilização de adições de escória foi fator preponderante na produção de mais cimento com menos clínquer e, conseqüentemente, menos emissão.

Entretanto, se por um lado essa disponibilidade de adições no estado possibilitou um dos menores níveis de CO₂ por tonelada de cimento, por outro representa um grande desafio para o setor, que é o de manter esses baixos níveis, uma vez que a oferta de adições dificilmente acompanhará o aumento da demanda por cimento.

Além das adições, outros dois aspectos contribuem para a redução do CO₂ no setor, relativos às emissões oriundas da queima de combustíveis durante o processo, abordadas no Inventário do Setor de Energia. Esses aspectos são a eficiência energética do parque industrial, resultando em um menor consumo de combustíveis por tonelada produzida e a utilização de combustíveis alternativos, com menor FE de CO₂ comparativamente aos combustíveis fósseis tradicionais.

O método utilizado nesse inventário apresenta um grau de detalhamento mais elevado devido a estudos realizados desde 2001, com base no método setorial adotado pela CSI, compatível com o grau de rigor *Tier 3* do IPCC (2006b).

O trabalho de obtenção dos dados envolveu medições e coletas nas diversas plantas estaduais, permitindo um alto grau de detalhamento e, conseqüentemente, estimativas mais precisas.

Referências

BRASIL. MCT. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Comunicação nacional inicial do Brasil a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, MCT, 2004. 274 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205854.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

CARVALHO, J.O. et al. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais: produtos minerais - parte I - produção de cimento**. Brasília, DF: MCT, 2010. (Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219293.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

CSI. WBCSD. **CO₂ and energy accounting and reporting standard for the cement industry: the Cement CO₂ and energy protocol**. Version 3.0. Geneva, CH, 2011. Disponível em: <http://wbcscement.org/pdf/tf1_co2%20protocol%20v3.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

IPCC. Mineral industry emissions. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: industrial processes and product use**. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006a. v. 3. chap. 2. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006b. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.

SNIC. **Emissão de CO₂ por descarbonatação**. Industria do Cimento do Estado de São Paulo. [mensagem via e-mail] Mensagem enviada por <gonzalo@snic.org.br> em 28 out. 2010.

_____. **Relatório anual 2008**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/25set1024/abre.asp?pagina=numeros>>. Acesso em: jun. 2013.

Anexos

Processo Produtivo do Cimento²

Emissões de CO₂ no Processo Produtivo do Cimento

Este relatório cobre unicamente as emissões de CO₂ da indústria de cimento referentes ao processo produtivo, não incluindo as emissões pela queima de combustíveis, que são incluídas nos relatórios referentes ao Setor Energia, de acordo com o IPCC (1996).

Processos Produtivos: Clínquer e Cimento

O processo produtivo do cimento é, resumidamente, uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais não metálicas. Sua transformação química em clínquer (produto intermediário do cimento) é feita em um forno a cerca de 1.450°C, sendo posteriormente moído e misturado a outros materiais, conforme o tipo de cimento.

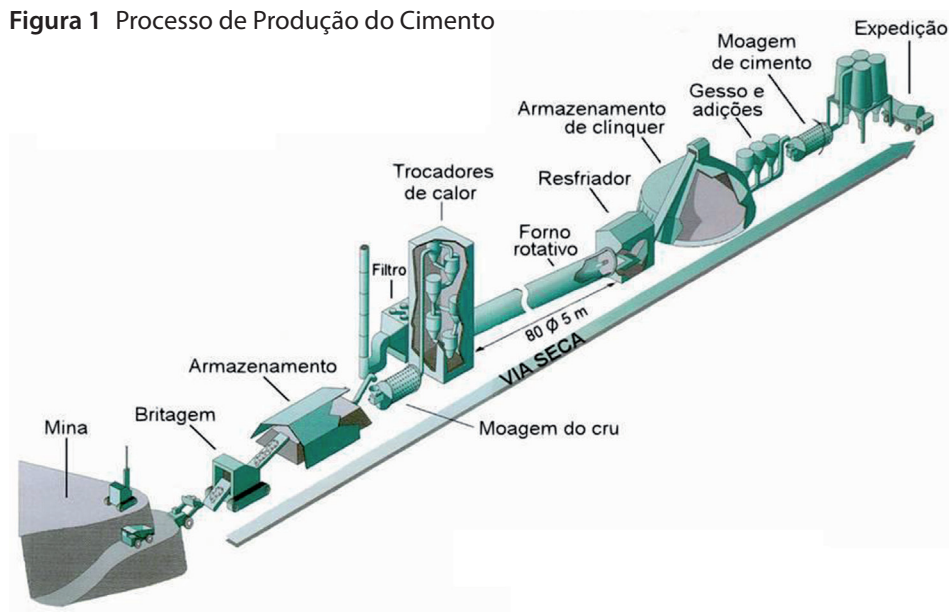
O CO₂ é emitido durante a produção do clínquer.

A fabricação do clínquer Portland pode ser dividida, basicamente, em quatro tipos diferentes, dependendo da umidade das matérias-primas:

- via úmida;
- via semi-úmida;
- via semi-seca;
- via seca.

Nos fornos via seca, os mais empregados hoje no mundo, as matérias-primas ingressam no forno previamente secas, garantindo uma maior eficiência energética, economia de combustíveis e menores emissões de GEE.

Figura 1 Processo de Produção do Cimento



Fonte: Brasil (2010)

2 O texto desse anexo tem como fonte o MCT (BRASIL, 2010).

Matérias Primas para a Produção do Clínquer

Calcário e argila são as matérias primas essenciais para a fabricação do clínquer, em uma proporção de 75 a 80% e 20 a 25%, respectivamente. Além disso, eventuais aditivos corretivos são utilizados, como minério de ferro, areia e bauxita.

Esses materiais concentram os principais componentes químicos constituintes do clínquer Portland: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Uma vez lavrado, o calcário, pré-homogeneizado junto com argila e demais aditivos, é britado para ser armazenado em silos próprios.

Esses minérios são devidamente dosados nas proporções exatas, quando então são moídos e homogeneizados até resultar em um material fino e de concentrações homogêneas, denominado farinha. A transformação físico-química da farinha em clínquer passa por quatro estágios: pré-aquecimento, calcinação, clinquerização e resfriamento.

As torres de pré-aquecedores e/ou pré-calcinadores, presentes nos modernos fornos via seca, reaproveitam os gases quentes da saída do forno para aquecer a farinha. Nesse estágio, a matéria prima atinge uma temperatura aproximada de 800°C , quando se dá o início da calcinação (ou descarbonatação do calcário) e a quebra da estrutura molecular das matérias primas, passando em seguida para o forno rotativo, onde está localizado o maçarico principal, cuja chama atinge 2.000°C no ponto de maior temperatura.

Esta etapa, em que o material atinge a temperatura média de 1.450°C , fundindo-se parcialmente, constitui o processo de clinquerização, no qual as moléculas se recombinaem e recristalizam, dando origem a novos compostos. O movimento rotativo do forno provoca a formação de estruturas nodulares de 5mm a 30mm de diâmetro, denominadas clínquer. Essas passam, por sua vez, por um sistema de resfriadores com o objetivo de reduzir o mais rápido possível a sua temperatura, estabilizando a nova estrutura química.

Moagem e Expedição

O clínquer resfriado é então moído em grandes moinhos junto com gesso (3 a 6%) e, dependendo do tipo de cimento e normas técnicas aplicáveis, com outros materiais, como escória siderúrgica, cinzas volantes, pozolanas e fíler calcário, para formar o cimento Portland, que será armazenado em silos, mantendo suas características físico-químicas até sua comercialização, a granel ou em sacos.

PARTE II

PRODUÇÃO DE CAL



PARTE II – Ficha Técnica

Coordenação

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Gabriela Pacheco Rotondaro – Consultora Técnica

Gisele dos Anjos Passareli

Revisão Técnica

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

Érica Marie Tachibana – Consultora Técnica

Colaboração

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Francisco do Espírito Santo Filho

Gisele dos Anjos Passareli

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Mauro Adamo Seabra

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência foi realizado pela CETESB em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE II - PRODUÇÃO DE CAL	59
1 Introdução	63
1.1 Produção de Cal.....	63
2 Estratégia de Elaboração das Estimativas de Emissão de CO₂ na Produção de Cal	65
3 Método para Estimativa de Emissão de CO₂	67
4 Dados	68
4.1 Produção de Cal (Q _{cal}).....	68
4.2 A Cal Virgem.....	69
4.3 A Cal Hidratada.....	69
4.4 Fator de Emissão (FE).....	69
5 Resultados	70
6 Considerações Finais	72
Referências	73
Anexos	74

TABELAS

Tabela 1	Classificação da Cal.....	63
Tabela 2	Produção de Cal Virgem e Hidratada no Estado de São Paulo de 1990 e 2008.....	68
Tabela 3	Fatores de Emissão por Tipo de Cal.....	69
Tabela 4	Estimativas das Emissões de CO ₂ da Produção de Cal no Estado de São Paulo.....	70
Tabela 5	Estimativa das Emissões de CO ₂ para o Ano de 2005.....	71

GRÁFICOS

Gráfico 1	Estimativas das Emissões de CO ₂ Decorrentes da Produção de Cal no Estado de São Paulo	70
Gráfico 2	Percentual de Emissões em 2005 por Tipo de Cal no Estado de São Paulo.....	71

FIGURAS

Figura 1	Árvore de Decisões das Estimativas de Emissões de CO ₂ na Produção de Cal.....	65
----------	---	----

QUADROS

Quadro 1	Classificação dos Produtores de Cal da ABPC.....	68
Quadro 2	Percentual de Produção de Cal em São Paulo.....	68

EQUAÇÕES

Equação 1	Formação do CaO.....	63
Equação 2	Formação do MgO.....	63
Equação 3	Formação do CaO e MgO.....	63
Equação 4	Emissão de CO ₂	67
Equação 5	Emissão de CO ₂	67

1 Introdução

As emissões de CO₂ oriundas da produção de cal ocorrem durante a transformação da rocha calcária em cal virgem, por meio do processo de calcinação/descarbonatação da matéria prima com a queima de combustíveis do processo. A parcela restante resulta do transporte da cal e das emissões pelo consumo de energia elétrica nas fábricas.

Este relatório apresenta as estimativas do setor de produção de cal no Estado de São Paulo, onde foram estimadas as emissões do processo produtivo para o período de 1990 a 2008, abordando apenas as emissões do processo de descarbonatação do calcário, que ocorrem no forno de calcinação.

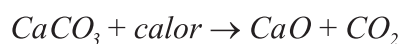
A produção de cal emite CO₂ através da decomposição térmica (calcinação) de carbonato de cálcio (CaCO₃), em pedra calcária, para produzir cal (CaO), ou por meio da decomposição da dolomita (CaCO₃.MgCO₃) para produzir a cal dolomítica (CaO.MgO) (IPCC, 2000). Foram empregados os métodos do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2000), para estimativas das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) da produção de cal. Os dados utilizados para estimar as emissões, de acordo com o método citado acima, são apresentados na Tabela 2 deste documento.

1.1 Produção de Cal

O principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas é a cal virgem, também denominada cal viva ou cal ordinária (BRASIL, 2010).

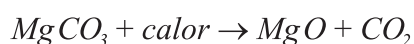
A rocha calcária é constituída de carbonato de cálcio (CaCO₃), que quando aquecida em fornos, produz a cal virgem (CaO) e CO₂, conforme demonstrado na Equação 1, no processo chamado de descarbonatação ou calcinação.

Equação 1 Formação do CaO



Entretanto, na matéria prima podem existir outros compostos como, por exemplo, o óxido de magnésio (MgCO₃) e a dolomita (CaCO₃.MgCO₃). Esses, quando submetidos à elevada temperatura, fracionam-se, liberando também CO₂, conforme a Equação 2 e a Equação 3.

Equação 2 Formação do MgO



Equação 3 Formação do CaO e MgO



A cal é um produto com diversas aplicações, dentre os quais destacam-se a metalurgia, a construção civil, a indústria de papel e celulose, o tratamento de água e de efluentes, o controle de pH e a estabilização de solos (BRASIL, 2010); sua qualidade comercial depende das propriedades químicas do calcário e da qualidade da queima (SILVA, 2009).

Segundo o MCTI (BRASIL, 2010) a cal é classificada em:

Tabela 1 Classificação da Cal

Cal Virgem - Calcítica	Com óxido de cálcio (CaO) entre 100% e 90% do peso total.
Cal Virgem - Magnésiana	Teores intermediários de óxido de cálcio (CaO), entre 90% e 65% do peso total.
Cal Virgem - Dolomítica	Com óxido de cálcio, entre 65% e 58% do peso total.

Outro tipo de cal é a cal hidratada, a qual se apresenta como um pó de cor branca, resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. É classificada, de acordo com a cal virgem que lhe deu origem, como cal hidratada calcítica, magnésiana e dolomítica (SILVA, 2009).

Os maiores produtores da cal estão nas Regiões Sul e Sudeste, com cerca de 90% da produção. Na Região Sudeste predomina as

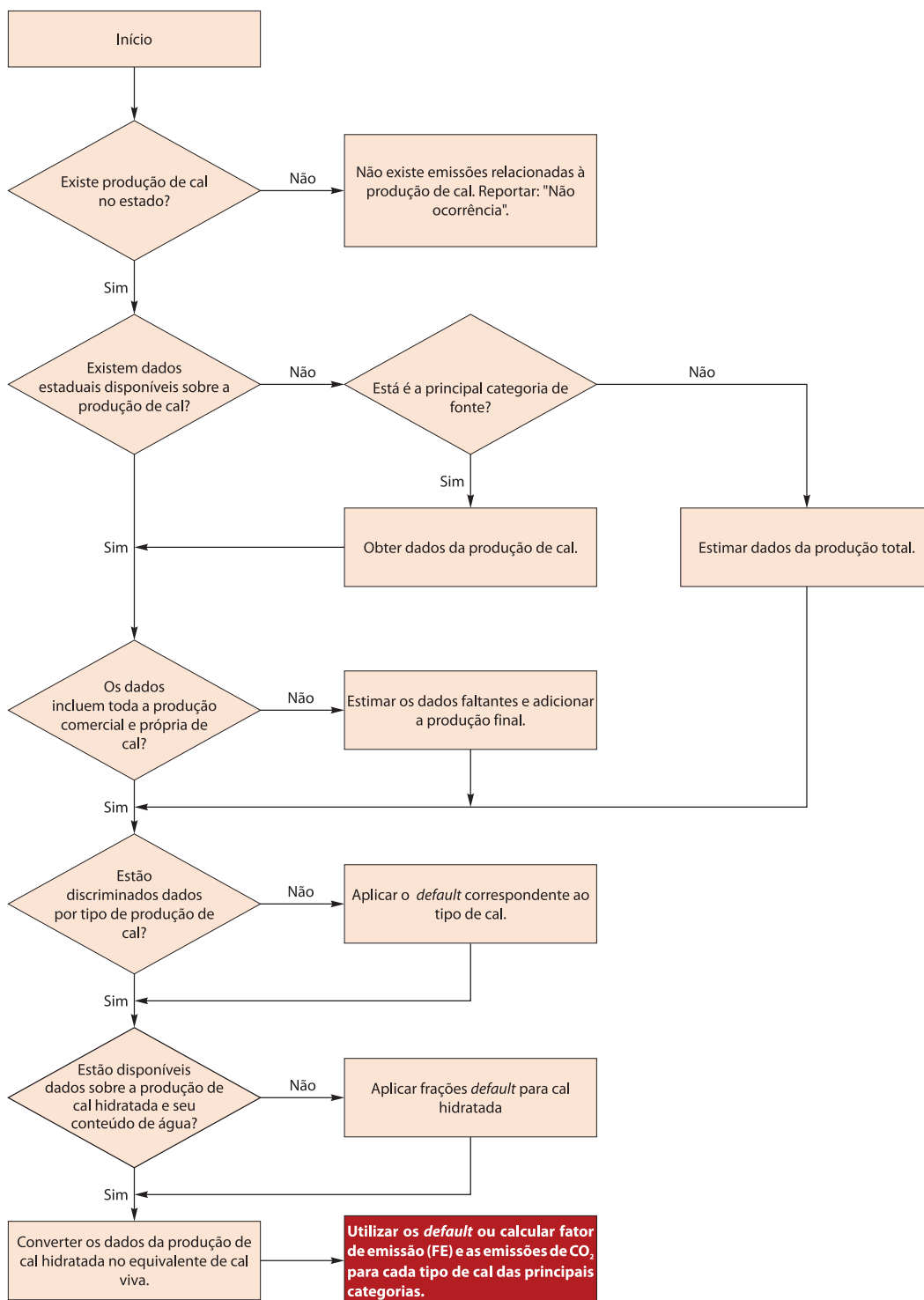
cales provenientes de dolomitas e calcários magnesianos e nas Regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste as resultantes de calcários (SILVA, 2009).

A proporção de produção é de 1,7 ou 1,8 tonelada de rocha calcária para 1 tonelada de cal virgem. Essas rochas calcárias além de abundantes são suficientes para atender a demanda da indústria de cal por muitos anos (SILVA, 2009).

2 Estratégia de Elaboração das Estimativas de Emissão de CO₂ na Produção de Cal

A definição da estratégia de elaboração das estimativas das emissões deste inventário foi baseada na árvore de decisões sugerida pelo IPCC (2000). A seguir, a mesma é reproduzida juntamente com a estratégia adotada.

Figura 1 Árvore de Decisões das Estimativas de Emissões de CO₂ na Produção de Cal



Fonte: IPCC (2000)

A árvore de decisões estabelece o resumo que justifica a estratégia de elaboração das estimativas das emissões de CO₂ pela produção de cal.

- Pergunta 1: Existe produção de cal no estado?

Resposta: Sim.

- Pergunta 2: Existem dados estaduais disponíveis sobre a produção de cal?

Resposta: Não.

- Pergunta 3: Está é a principal categoria de fonte?

Resposta: Não. Estimar dados da produção total.

- Pergunta 4: Estão discriminados os dados por tipo de produção de cal?

Resposta: Sim.

- Pergunta 5: Estão disponíveis dados sobre a produção de cal hidratada e seu conteúdo de água?

- Resposta: Sim. Converter os dados da produção de cal hidratada ao equivalente de cal viva ou virgem.

- Caixa 1: Conclusão: Serão utilizados os valores default para os fatores de emissão (FE) e as emissões de CO₂ para cada óxido predominante na cal das principais categorias fonte.

3 Método para Estimativa de Emissão de CO₂

As estimativas foram realizadas empregando-se o método apresentado pelo IPCC (2000), que conforme a Equação 4, consiste no produto entre fatores de emissão e as produções de calcário.

Equação 4 Emissão de CO₂

$$E_{CO_2} = Q_{cal} \cdot FE_{cal}$$

onde:

E_{CO_2}	Emissão de CO ₂	[t _{CO₂} .ano ⁻¹]
Q_{cal}	Produção de Cal	[t _{cal} .ano ⁻¹]
FE_{cal}	Fator de Emissão	[t _{CO₂} .t _{cal} ⁻¹]

Para a obtenção dos resultados em gigagrama (Gg) e, considerando dados disponíveis, foi necessário realizar uma adaptação, resultando na Equação 5.

Equação 5 Emissão de CO₂

$$E_{CO_2} = Q_{cal} \cdot FE_{cal} \cdot 10^{-3}$$

onde:

E_{CO_2}	Emissão de CO ₂	[Gg _{CO₂} .ano ⁻¹]
Q_{cal}	Produção de Cal	[t _{cal} .ano ⁻¹]
FE_{cal}	Fator de Emissão	[t _{CO₂} .t _{cal} ⁻¹]
10^{-3}	Conversão de t para Gg	[Gg. t ⁻¹]

4 Dados

4.1 Produção de Cal (Q_{cal})

Segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC, 2009?), os produtores de cal são classificados de acordo com o Quadro 1.

Os dados de produção estadual de cal são derivados de uma estimativa baseada na

Quadro 1 Classificação dos Produtores de Cal da ABPC

Produtores	Tipo de Produção
Integrados	Produzem cal (virgem e hidratada) a partir do calcário produzido em minas próprias
Não Integrados	Produzem cal (virgem e hidratada) a partir do calcário comprado de terceiros
Transformadores	Realizam a moagem e/ou produzem cal hidratada a partir de cal virgem adquirida
Cativos	Produzem a cal para consumo próprio, como as siderúrgicas

Fonte: ABPC (2009).

produção nacional para cada tipo de produto e que usou a porcentagem média indicada abaixo, no Quadro 2, pela ABPC (SEABRA, 2010).

Quadro 2 Percentual de Produção de Cal em São Paulo

Tipo de Cal	Produção em São Paulo
Cal hidratada (Associados + Não Associados)	Aproximadamente 38% da produção nacional
Cal Virgem (Associados + Não Associados - Exceto Produção Cativa)	Aproximadamente 2% da produção nacional
Cal Virgem	Produção cativa Até 2005 (COSIPA ainda produzindo) aproximadamente 22% da produção nacional. A partir de 2006 (COSIPA desativada) aproximadamente 5% da produção nacional.

Fonte: Seabra (2010).

A Tabela 2 apresenta os dados da produção estadual de cal usada nesse relatório.

Tabela 2 Produção de Cal Virgem e Hidratada no Estado de São Paulo de 1990 e 2008

Produção de Cal no Estado de São Paulo ¹							
Ano	Virgem				Hidratada		
	[1000t Cal]				[1000t Cal]		
	Associados à ABPC	Produtores Cativos	Não Associados à ABPC	Sub Total	Associados à ABPC	Não Associados à ABPC	Sub Total
1990	27	231	-	257	372	-	372
1991	27	222	-	249	405	-	405
1992	27	272	-	299	385	-	385
1993	27	303	-	329	400	-	400
1994	30	303	-	333	426	-	426
1995	29	314	-	343	484	-	484
1996	29	323	-	352	538	-	538
1997	31	341	11	383	510	293	803
1998	28	335	10	374	496	279	775
1999	27	323	-	350	466	-	466
2000	32	340	30	402	473	259	732
2001	32	306	28	367	464	259	723
2002	34	343	28	404	471	231	702
2003	36	350	28	413	483	223	706
2004	43	350	27	420	486	315	801
2005	44	306	30	380	443	274	716
2006	48	79	23	150	440	284	724
2007	49	84	25	158	467	295	761
2008	51	82	25	157	456	310	766

Fonte: Seabra (2010); Brasil (2010).

1 Conforme tabela de dados nacionais, presente no Relatório de Referência: "Produção de Cal, outros Usos do Calcário e Dolomita, Produção e Uso de Barrilha". (Brasil, 2010)

4.2 A Cal Virgem

De acordo com informações (BRASIL, 2010), no Brasil, a cal virgem é basicamente calcítica. Para as estimativas estaduais empregaram-se as considerações nacionais.

4.3 A Cal Hidratada

Segundo os relatórios de referências, do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, (BRASIL, 2010) na cal hidratada, a parcela relativa à água deve ser subtraída da produção total para se obter, assim, a produção seca (cal virgem) correspondente. Cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 toneladas de cal hidratada, o que equivale dizer que 21,3% do peso da cal hidratada é constituído por água.

A cal hidratada é dividida em calcítica (20%) e dolomítica (80%), sendo que a cal dolomítica pode ser subdividida em: dolomítica (30%), e magnesiana (50%) em relação aos 80% do total (BRASIL, 2010).

Para as estimativas do inventário estadual foram empregados os percentuais nacionais. Das quantidades totais de cal hidratada foi subtraído 21,3% (referente a água) e do total obtido se considerou que 20% é calcítica, 30% dolomítica e 50% magnesiana.

4.4 Fator de Emissão (FE)

Na falta de uma caracterização completa das cales no país, adotou-se, para este relatório, os dados médios percentuais de CaO e CaO.MgO, com os correspondentes fatores de emissão (BRASIL, 2010).

Tabela 3 Fatores de Emissão por Tipo de Cal

Classificação da cal	CaO médio	CaO.MgO médio	Fator de emissão
	[%]		[t _{CO2} -tcal]
Calcítica	88,0%	12,0%	0,800
Magnesiana	46,2%	53,8%	0,854
Dolomítica	8,2%	91,8%	0,903

Fonte: Brasil (2010).

5 Resultados

A Tabela 4, a seguir, apresenta os resultados das emissões de CO₂ considerando, os dados da produção de cal, na Tabela 2, e os fatores de emissão *default* apresentados na Tabela 3.

O Gráfico 1, abaixo, apresenta o resultado das estimativas das emissões de CO₂ do período de 1990 a 2008 decorrentes da produção de cal.

Tabela 4 Estimativas das Emissões de CO₂ da Produção de Cal no Estado de São Paulo

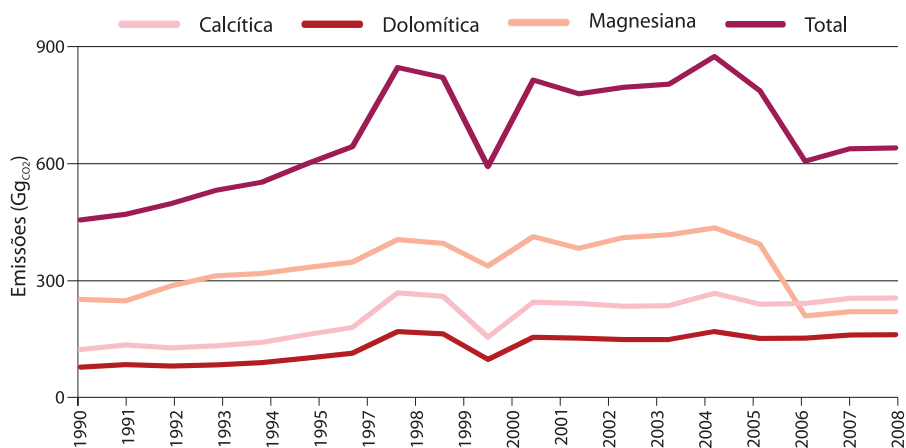
Ano	Calcítica ¹	Dolomítica ²	Magnésiana ³	Total
	[Gg _{CO2} .ano ⁻¹]			
1990	253	79	125	457
1991	250	86	136	472
1992	288	82	129	499
1993	314	85	134	533
1994	320	91	143	554
1995	335	103	163	601
1996	349	115	181	645
1997	407	171	270	848
1998	397	165	261	823
1999	339	99	156	594
2000	414	156	246	816
2001	384	154	243	781
2002	412	150	236	798
2003	419	150	237	806
2004	437	171	269	877
2005	395	153	241	789
2006	211	154	243	608
2007	222	162	256	640
2008	222	163	257	642

Nota: As emissões calcíticas englobam as quantidades de cal virgem (100% da cal virgem produzida) e de cal hidratada calcítica (20% do total de cal hidratada produzida).

As emissões dolomíticas se referem a cal hidratada dolomítica (30% do total de cal hidratada produzida).

As emissões magnésianas se referem a cal hidratada magnésiana (50% do total de cal hidratada produzida).

Gráfico 1 Estimativas das Emissões de CO₂ Decorrentes da Produção de Cal no Estado de São Paulo



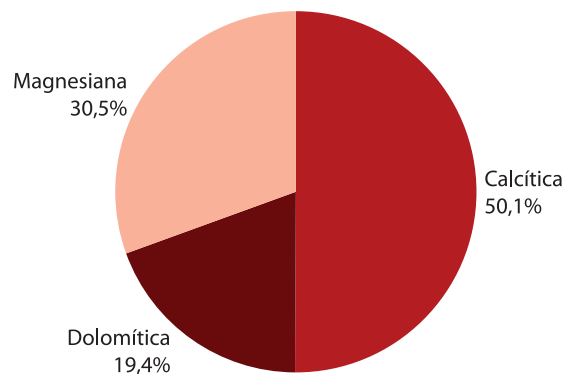
As estimativas das emissões de CO₂ para o ano de 2005 são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Estimativa das Emissões de CO₂ para o Ano de 2005

Classificação da Cal	Emissões de CO ₂
	[Gg.ano ⁻¹]
Cal Virgem - Calcítica	395
Cal Virgem - Dolomítica	153
Cal Virgem - Magnesiana	241
Total	789

O Gráfico 2 apresenta o percentual de emissões por tipo de cal no Estado de São Paulo para o ano de 2005.

Gráfico 2 Percentual de Emissões em 2005 por Tipo de Cal no Estado de São Paulo



6 Considerações Finais

O método aplicado para realizar as estimativas foi o apresentado no (IPCC, 1996) e no Guia de Boas Práticas (IPCC, 2000), recomendados para a elaboração de inventários nacionais de emissões de GEE.

Os dados do período de 1990 a 2008 foram estimados por meio de uma porcentagem da produção estadual em relação à produção nacional.

Para obter as estimativas das emissões de CO₂, foram aplicados aos dados de produção da Tabela 2 os fatores de emissão *default*, apresentados na Tabela 3, conforme a Equação 5.

Foi constatado um aumento de 51% nas emissões de CO₂ das cales dolomítica e magnesiana, no ano de 2008 em relação a 1990. Para a produção de cal calcítica, verificou-se uma redução na emissão de 14%, devido à desativação da Cosipa em 2006.

Para o aprimoramento das estimativas em inventários futuros, fatores de emissões locais devem ser desenvolvidos.

Referências

ABPC. **O setor da cal no Brasil**: distribuição e classificação da produção nacional - classificação dos produtores de cal. São Paulo, [2009]. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br/frame.htm>>. Acesso em: jun. 2013.

BRASIL. MCT. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais**: produtos minerais - parte II: produção de cal, outros usos do calcário e dolomita, produção e uso de barrilha. Brasília, DF, 2010. (Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219294.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reporting instructions. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2013.

SEABRA, Mauro Adamo. **Produção de Cal no Brasil - 1990 a 2009**. ABPC. Mensagem recebida por Gisele dos Anjos Passareli <giseleap@cetesbnet.sp.gov.br> e Gabriela P. Rotondaro <gabirotondaro@cetesbnet.sp.gov.br> em 24 de nov. 2010.

SILVA, José Otávio da. **Perfil da cal**: produto RT 72. Brasília: MME; Belo Horizonte: J. Mendo Consultoria, 2009. Projeto ESTAL. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

Anexos

Determinação dos Fatores de Emissão Conforme o IPCC (2000)

Neste inventário foram empregados os fatores de emissão apresentados no inventário nacional (BRASIL, 2010), mas para futuros inventários podem ser desenvolvidos fatores locais. A seguir, segue o método para estimar fatores de emissão de cal virgem e cal dolomítica apresentados pelo IPCC (2000).

Método

A massa de CO₂ produzida por unidade de cal fabricada pode ser estimada pelos pesos molares e o conteúdo de cal dos produtos. Com base na reação de calcinação, um mol de dióxido de carbono é formado para cada mol de cal virgem produzido pela calcinação do carbonato de cálcio. A relação molar sugere pureza da cal, mas a composição pode variar, por isso, como recomendado pelo IPCC (2000) e apresentado na equação abaixo, considera-se o teor de CaO.

Equação 1 Fator de Emissão do CaO (Cal Virgem)

$$FE_{CaO} = Tr_{CaO} \cdot RC$$

onde:

FE_{CaO}	Fator de Emissão da Cal Virgem	$[t_{CO_2} \cdot t_{CaO}^{-1}]$
Tr_{CaO}	Teor de Óxido de Cálcio (CaO)	[adimensional]
RC	Relação da Massa Molar do CO ₂ e CaO	$[t_{CO_2} \cdot t_{CaO}^{-1}]$

A estimativa da relação molar do CO₂ e CaO é apresentada pela equação abaixo.

Equação 2 Massa Molar do CaO

$$RC = \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}}$$

onde:

RC^2	Relação da massa molar do CO ₂ e CaO	$[g_{CO_2} \cdot g_{CaO}^{-1}]$
M_{CO_2}	Massa molar de CO ₂	$[g_{CO_2} \cdot mol^{-1}]$
M_{CaO}	Massa molar de CaO	$[g_{CaO} \cdot mol^{-1}]$

Nos casos em que a dolomita é calcinada, o fator de emissão é baseado na proporção dos óxidos de cálcio e magnésio (IPCC, 2000). A seguir, a equação demonstra o fator de emissão da cal dolomítica. A relação molar sugere pureza da cal dolomítica, mas a composição pode variar, por isso, como recomendado pelo IPCC (2000) e apresentado na Equação abaixo, considera-se o teor de CaO. MgO.

Equação 3 Fator de Emissão da Cal Dolomítica

$$FE_{CaO \cdot MgO} = Tr_{CaO \cdot MgO} \cdot RM$$

onde:

$FE_{CaO \cdot MgO}$	Fator de emissão da cal dolomítica	$[t_{CO_2} \cdot (t_{CaO \cdot MgO})^{-1}]$
$Tr_{CaO \cdot MgO}$	Teor de óxido de magnésio (CaO·MgO)	[adimensional]
RM	Relação da massa molar do CO ₂ e CaO·MgO	$[t_{CO_2} \cdot t_{CaO \cdot MgO}^{-1}]$

A estimativa da relação molar do CO₂ e CaO. MgO é apresentada pela equação abaixo.

Equação 4 Massa Molar do CaO.MgO

$$RM = \frac{2M_{CO_2}}{M_{CaO \cdot MgO}}$$

onde:

RM^3	Relação da massa molar do CO ₂ e CaO.MgO	$[g_{CO_2} \cdot g_{CaO \cdot MgO}^{-1}]$
--------	---	---

- A RC apresentada está em $g_{CO_2} \cdot g_{CaO}^{-1}$ e nas estimativas do FE foi empregada em $t_{CO_2} \cdot t_{CaO}^{-1}$. A grandeza pode variar desde que a proporção seja mantida.
- A RM apresentada está em $g_{CO_2} \cdot g_{CaO \cdot MgO}^{-1}$ e nas estimativas do FE foi empregada em $t_{CO_2} \cdot t_{CaO \cdot MgO}^{-1}$. A grandeza pode variar desde que a proporção seja mantida.

2	Coefficiente do cálculo estequiométrico*	[adimensional]
M_{CO_2}	Massa molar de CO_2	$[g_{CO_2} \cdot mol^{-1}]$
$M_{CaO \cdot MgO}$	Massa molar de $CaO \cdot MgO$	$[g_{CaO \cdot MgO} \cdot mol^{-1}]$

* Conforme apresentado na Equação 3.

Dados

De acordo com as equações “Massa Molar do CaO” e “Massa Molar do CaO.MgO”, os dados a serem usados na determinação de fatores de emissão são os apresentados na Tabela 6.

Observa-se que não foi possível obter uma caracterização completa das cales do Estado de São Paulo, sendo necessária a adoção dos dados médios presentes no inventário nacional (BRASIL, 2010). Porém, para inventários futuros, ao se completarem as informações necessárias, fatores de emissão locais podem ser desenvolvidos e aplicados.

Tabela 1 Dados para Fator de Emissão da Cal (FE)

Dado	Descrição	Quantidade	Unidade
Tr_{CaO}	Teor de óxido de cálcio (CaO)	-	[adimensional]
$Tr_{CaO \cdot MgO}$	Teor de óxido de cálcio e magnésio (CaO.MgO)	-	[adimensional]
RC	Relação do peso molecular $CO_2 \cdot CaO^{-1}$	0,785	$[g_{CO_2} \cdot g_{CaO}^{-1}]$
RM	Relação do peso molecular $2CO_2 \cdot (CaO \cdot MgO)^{-1}$	0,913	$[g_{CO_2} \cdot g_{CaO \cdot MgO}^{-1}]$
Mg_{CO_2}	Massa molar de CO_2	44,01	$[g \cdot mol^{-1}]$
M_{CaO}	Massa molar de CaO	56,08	$[g \cdot mol^{-1}]$
$M_{CaO \cdot MgO}$	Massa molar de CaO.MgO	96,38	$[g \cdot mol^{-1}]$



PARTE III

PRODUÇÃO QUÍMICA

PARTE III - Ficha Técnica

Coordenação

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Obdulio Fanti - ABIQUIM

Revisão Técnica

Bruna Patrícia de Oliveira - Consultora Técnica

Colaboração

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz

Francisco do Espírito Santo Filho

Gabriela Pacheco Rotondaro

Gisele dos Anjos Passareli

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência foi elaborado pela CETESB em parceria com a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) em 2009, no âmbito do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE III - PRODUÇÃO QUÍMICA	77
1 Introdução	83
2 Ácido Adípico	84
2.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico	84
2.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico	84
2.2.1 Fator de Emissão de N_2O na Produção de Ácido Adípico (FE_{aa})	84
2.2.2 Produção de Ácido Adípico (P_{aa})	84
2.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico	85
3 Ácido Fosfórico	86
3.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico	86
3.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico	86
3.2.1 Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Concentrado Fosfórico (FE_{cf})	86
3.2.2 Produção de Concentrado Fosfórico (P_{cf})	86
3.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico	87
4 Ácido Nítrico	88
4.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico	88
4.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico	89
4.2.1 Fator de Emissão de N_2O na Produção de Ácido Nítrico (FE_{an})	89
4.2.2 Produção de Ácido Nítrico (P_{an})	89
4.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico	89
4.4 Emissões de CO_2 na Produção de Ácido Nítrico	90
5 Amônia	91
5.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Amônia	92
5.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Amônia	92
5.2.1 Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Amônia (FE_{am})	92
5.2.2 Produção de Amônia (P_{am})	92
5.3 Emissões de GEE na Produção de Amônia	92
6 Dicloroetano e Cloreto de Vinila	93
6.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila	94

6.2	Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila	94
6.2.1	Fator de Emissão (FE_{dcv}) de CO_2 na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila	94
6.2.2	Fator de Emissão de CH_4 na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila.....	94
6.2.3	Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila (P_{dcv}).....	94
6.3	Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila	94
7	Eteno	96
7.1	Método para a Estimativa de Emissões de GEE (CO_2) na Produção de Eteno.....	96
7.2	Método para a Estimativa de Emissões de GEE (CH_4) na Produção de Eteno.....	96
7.3	Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Eteno.....	97
7.3.1	Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Eteno (FE_{ete}).....	97
7.3.2	Fator de Ajuste Geográfico (FA).....	97
7.3.3	Fator de Emissão de CH_4 na Produção de Eteno.....	97
7.3.4	Produção de Eteno (P_{ete}).....	97
7.4	Emissões de GEE na Produção de Eteno	97
8	Negro de Fumo	99
8.1	Método para a Estimativa de GEE na Produção de Negro de Fumo	99
8.2	Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Negro de Fumo.....	99
8.2.1	Fator de Emissão de CH_4 na Produção de Negro de Fumo (FE_{nf}).....	99
8.2.2	Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Negro de Fumo (FE_{nf}).....	100
8.2.3	Produção de Negro de Fumo (P_{nf}).....	100
8.3	Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo.....	100
9	Óxido de Eteno	101
9.1	Método para a Estimativa de GEE na Produção de Óxido de Eteno	101
9.2	Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Óxido de Eteno.....	101
9.2.1	Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Óxido de Eteno (FE_{oe}).....	101
9.2.2	Fator de Emissão de CH_4 na Produção de Óxido de Eteno (FE_{oe}).....	102
9.2.3	Produção de Óxido de Eteno (P_{oe}).....	102
9.3	Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno	102
10	Consolidação das Emissões de Gases	103
	Referências	105
	Anexos.....	106

TABELAS

Tabela 1	Produção de Ácido Adípico no Estado de São Paulo de 1990 a 2005	85
Tabela 2	Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	85
Tabela 3	Produção de Concentrado Fosfórico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	87
Tabela 4	Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	87
Tabela 5	Produção de Ácido Nítrico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	89
Tabela 6	Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	89
Tabela 7	Produção de Amônia de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	92
Tabela 8	Emissões de GEE na Produção de Amônia de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	92
Tabela 9	Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	95
Tabela 10	Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	95
Tabela 11	Produção de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	97
Tabela 12	Emissões de GEE na Produção de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	98
Tabela 13	Produção de Negro de Fumo de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	100
Tabela 14	Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	100
Tabela 15	Produção de Óxido de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	102
Tabela 16	Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	102
Tabela 17	Emissões Anuais de GEE de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo	103
Tabela 18	Emissões Máximas pela Capacidade Instalada	103
Tabela 19	Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos Gases	103
Tabela 20	Emissões Anuais de GEE	104

EQUAÇÕES

Equação 1	Emissões de N_2O na Produção de Ácido Adípico	84
Equação 2	Emissões de CO_2 na Produção de Ácido Fosfórico	86
Equação 3	Emissões de N_2O na Produção de Ácido Nítrico	88
Equação 4	Emissões de CO_2 na Produção de Amônia	92
Equação 5	Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila	94
Equação 6	Emissões de CO_2 na Produção de Eteno	96
Equação 7	Emissões de CH_4 na Produção de Eteno	96
Equação 8	Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo	99
Equação 9	Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno	101

1 Introdução

O inventário de emissões atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos processos de produção da indústria química no Estado de São Paulo foi realizado pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM).

O presente trabalho tem por objetivo consolidar as informações relacionadas com a indústria química brasileira e, em particular, com a indústria associada à ABIQUIM, localizada no Estado de São Paulo, sobre os gases com Potencial de Aquecimento Global (GWP), emitidos nos processos produtivos.

Os métodos utilizados para o cálculo dos gases com potencial de contribuir com o efeito estufa como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), emitidos para a atmosfera durante os processos de produção, correlacionam, através de fatores de emissão (FE), as quantidades emitidas com as quantidades produzidas por produtos químicos.

Para as estimativas de emissões de GEE de processos nas indústrias químicas consideraram-se os subsetores para os quais o IPCC (2006) apresentou método para a realização das estimativas e que são representativas no Estado, sendo a única exceção às emissões no processo de ácido fosfórico (H_3PO_4) para as quais o IPCC (2006) não apresenta método, mas considera-se de relevância no Estado. A estimativa feita pela ABIQUIM inclui as empresas associadas e estas representam mais de 90% do universo estimado conforme as diretrizes do IPCC.

As tipologias industriais que foram analisadas correspondem a empresas associadas à ABIQUIM são: produção de ácido adípico, produção de ácido fosfórico, produção de ácido nítrico, produção de amônia, produção de dicloroetano e cloreto de vinila, produção de etileno, produção de negro de fumo e produção de óxido de etileno.

A maioria dos fatores de emissão (FE) de CO_2 e de N_2O foi obtida por balanço de massa nas unidades produtivas. Outros fatores, como os de CH_4 , foram calculados baseados nos coeficientes de emissão listados pelo IPCC (2006) que apresenta métodos para estimar os GEE emitidos nos processos produtivos e uso de produtos.

2 Ácido Adípico

O ácido adípico ($C_6H_{10}O_4$) é um sólido cristalino branco que é utilizado como intermediário na fabricação de fibras sintéticas, plásticos, poliuretanos e lubrificantes sintéticos. Comercialmente é o mais importante ácido alifático dicarboxílico, usado na fabricação de poliéster e nylon (IPCC, 2006).

No Brasil, a planta de ácido adípico existente, utiliza um processo de produção baseada na oxidação, por meio de ácido nítrico (HNO_3), de ciclohexanol ($(CH_2)_6O$) ou de uma mistura ciclohexanol/ciclohexanona ($(CH_2)_5CO$) na presença de um catalisador. O óxido nitroso (N_2O) é gerado na reação de oxidação nítrica.



2.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico

Embora a produção de ácido adípico possa resultar em emissões de GEE indiretos como os Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (NMVOC)¹, monóxido de carbono (CO) e óxido de nitrogênio (NOx), neste inventário foram apresentadas apenas as emissões de GEE diretos, no caso o N_2O (IPCC, 2006). A estimativa foi realizada conforme o método Tier 1 apresentado pelo IPCC em 2006.

O grau de rigor Tier 1 para a emissão de N_2O na produção de ácido adípico é apresentado pela Equação 1.

Equação 1 Emissões de N_2O na Produção de Ácido Adípico

$$E_{N_2O} = FE_{aa} \cdot P_{aa}$$

onde:

E_{N_2O}	Emissões de N_2O	[t_{N_2O}]
FE_{aa}	Fator de emissão	[$t_{N_2O} \cdot t_{\text{ácido_adípico}}^{-1}$]
P_{aa}	Produção de ácido adípico	[$t_{\text{ácido_adípico}}$]
aa	Ácido adípico	

2.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico

2.2.1 Fator de Emissão de N_2O na Produção de Ácido Adípico (FE_{aa})

O fator de emissão, estabelecido após uma serie de medições, é de $270 \text{kg}_{N_2O} \cdot t_{\text{ácido_adípico}}^{-1}$.

2.2.2 Produção de Ácido Adípico (P_{aa})

A capacidade máxima licenciada em 2005 para produção de ácido adípico ($C_6H_{10}O_4$) no Estado de São Paulo é de $87.000 t_{\text{ácido_adípico}} \cdot \text{ano}^{-1}$. Na Tabela 1, são apresentados os dados de produção de ácido adípico no Estado de São Paulo no período de 1990 a 2005.

1 Neste documento considera-se que NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compound) é igual à VOC (Volatile Organic Compound), pois os VOCs são precursores de gases de efeito estufa e o metano (CH_4) é um GEE pouco reativo. A especificação NM representa apenas uma garantia de que as substâncias estimadas são somente os precursores, pois o CH_4 é reportado separadamente.

Tabela 1 Produção de Ácido Adípico no Estado de São Paulo de 1990 a 2005

Ano	Produção
	[t _{ácido_adípico} .ano ⁻¹]
1990	31.951
1991	41.676
1992	38.538
1993	51.264
1994	51.825
1995	55.864
1996	41.554
1997	35.767
1998	62.055
1999	61.572
2000	64.862
2001	51.486
2002	65.931
2003	59.979
2004	71.438
2005	75.147

Tabela 2 Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão	
	[t _{N₂O} .ano ⁻¹]	[Gg _{CO₂eq} .ano ⁻¹]
1990	8.627	2.674
1991	11.252	3.488
1992	10.405	3.226
1993	13.841	4.291
1994	13.993	4.338
1995	15.083	4.676
1996	11.220	3.478
1997	9.657	2.994
1998	16.755	5.194
1999	16.624	5.153
2000	17.513	5.429
2001	13.901	4.304
2002	17.801	5.518
2003	16.194	5.020
2004	19.288	5.979
2005	20.290	6.290

Nota: Empregou-se para N₂O o GWP igual a 310.

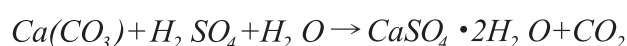
2.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Adípico

Considerando a capacidade máxima licenciada de ácido adípico, estima-se uma geração potencial de 23.490t_{N₂O}.ano⁻¹. Conforme dito anteriormente, embora a produção de ácido adípico possa resultar em emissões de GEE indiretos como o NMVOC, CO e NO_x. Neste inventário, foi apresentado apenas às emissões de GEE diretos, no caso o N₂O. A Tabela 2 apresenta as emissões no período de 1990 a 2005.

3 Ácido Fosfórico

O ácido fosfórico (H_3PO_4) é utilizado principalmente para a produção de fertilizantes fosfatados, sendo os mais representativos o fosfato monoamônico, o fosfato diamônico, o superfosfato simples e o superfosfato triplo.

As matérias primas utilizadas para a produção de ácido fosfórico são o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e a rocha fosfática, fluorapatita ($CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4)_2$), como fonte de fósforo. A rocha fosfática contém, em menor ou maior concentração, carbono inorgânico na forma de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) que é parte integrante do mineral; o carbonato contido na rocha reage com o ácido sulfúrico produzindo como subprodutos gesso agrícola e CO_2 , conforme a seguinte reação:



O principal gás gerado no processo de produção de ácido fosfórico com potencial de contribuir para o efeito estufa é o CO_2 .

3.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico

Apesar do IPCC não apresentar método para a estimativa das emissões de GEE no processamento da rocha fosfática para a produção de ácido fosfórico (H_3PO_4), estimou-se as emissões seguindo a Equação 2.

Equação 2 Emissões de CO_2 na Produção de Ácido Fosfórico

$$E_{CO_2} = FE_{cf} \cdot P_{cf} \cdot cf$$

onde:

E_{CO_2}	Emissões de CO_2	$[t_{CO_2}]$
FE_{cf}	Fator de emissão	$[t_{CO_2} \cdot t_{concentrado_fosfórico}^{-1}]$
P_{cf}	Produção de concentrado fosfórico	$[t_{concentrado_fosfórico}]$
cf	Concentrado fosfórico	

3.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico

3.2.1 Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Concentrado Fosfórico (FE_{cf})

Como a composição da rocha fosfática varia dependendo do local de procedência, foi assumido, tomando como referência o concentrado com as rochas de Catalão, Tapira, Araxá, um valor médio do conteúdo de carbono inorgânico ($CaCO_3$) de 0,006tC. trocha-1 que representa 2,2% de CO_2 .

Entretanto, como dito anteriormente, esse valor varia segundo a procedência da rocha fosfática. Na rocha fosfática da Flórida (EUA), por exemplo, o conteúdo de carbono inorgânico representa 5,2% de CO_2 . O FE_{cf} empregado no estudo foi $0,022 t_{CO_2} \cdot t_{concentrado_fosfórico}^{-1}$.

3.2.2 Produção de Concentrado Fosfórico (P_{cf})

O consumo estimado máximo de rocha fosfática, em função da capacidade instalada de processamento do concentrado fosfórico, é de 1.300.000t em 2005. Os dados de produção do concentrado fosfórico foram

estimados para o período de 1990 a 2005 e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Produção de Concentrado Fosfórico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t _{concentrado_fosfórico} ·ano ⁻¹]
1990	778.793
1991	838.170
1992	629.805
1993	783.389
1994	784.737
1995	903.840
1996	970.588
1997	1.101.259
1998	1.041.536
1999	1.003.802
2000	1.146.166
2001	1.158.988
2002	1.181.267
2003	1.379.145
2004	1.286.335
2005	1.278.073

3.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico

Considerando a capacidade instalada de processamento de rocha fosfática em 2005, a emissão potencial máxima é de até 28.600t_{CO₂}·ano⁻¹ de CO₂.

As emissões de CO₂ ocorrem no processamento do concentrado fosfático, para o período de 1990 a 2005 é apresentada na Tabela 4, considerando também para a análise a capacidade de ácido fosfórico e o fator de utilização.

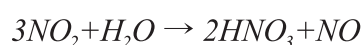
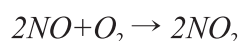
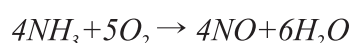
Tabela 4 Emissões de GEE na Produção de Ácido Fosfórico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão	
	[t _{CO₂} ·ano ⁻¹]	[Gg _{CO₂} ·ano ⁻¹]
1990	17.133	17
1991	18.440	18
1992	13.856	14
1993	17.235	17
1994	17.264	17
1995	19.884	20
1996	21.353	21
1997	24.228	24
1998	22.914	23
1999	22.084	22
2000	25.216	25
2001	25.498	25
2002	25.988	26
2003	30.341	30
2004	28.299	28
2005	28.118	28

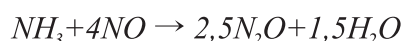
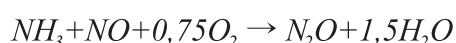
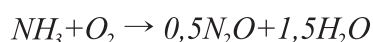
4 Ácido Nítrico

O ácido nítrico (HNO_3) é um composto inorgânico usado principalmente na fabricação de fertilizantes sintéticos. Este é utilizado frequentemente como insumo na fabricação de ácido adípico, como intermediário na produção de ácido nítrico concentrado, para agente de nitração de compostos orgânicos, na fabricação de explosivos, por exemplo, a dinamite, e também na gravura de metais e processamento de metais ferrosos (IPCC, 2006).

O processo de produção tradicional e comercialmente disponível envolve as etapas de reação e absorção. A tecnologia usada na reação é a da oxidação catalítica de amônia (NH_3) com ar, conforme se observa nas reações químicas abaixo:



Porém o óxido nítrico (NO), um intermediário na produção de ácido nítrico, pode reagir rapidamente e vir a formar N_2O e NO_x como subprodutos indesejáveis e não intencionais, conforme reações químicas abaixo (IPCC, 2006).



A quantidade de N_2O formada depende das condições de combustão (pressão e temperatura), composição de catalisador e idade, e o projeto de queimadores (EFMA, 2000b apud IPCC, 2006).

As fábricas instaladas no país cobrem todas as possíveis alternativas de combinação de processos nas etapas de reação e absorção, desde a operação a vácuo, baixa pressão, média pressão até a alta pressão de operação passando pela combinação das duas últimas pressões, condições que determinam a característica da planta.

Nas unidades de produção no Brasil, há controle da emissão de NO e NO_2 (normalmente denominados NO_x). As tecnologias utilizadas no Brasil para o controle de emissões são: destruição catalítica não seletiva e destruição catalítica seletiva. Nessas condições tecnológicas os GEE emitidos são N_2O e CO_2 .

4.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico

A estimativa de N_2O foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). As emissões de CO_2 consideradas no processo foram estimadas considerando o balanço de massa. O grau de rigor *Tier 1* para a emissão de N_2O na produção de ácido nítrico é apresentado pela Equação 3.

Equação 3 Emissões de N_2O na Produção de Ácido Nítrico

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = FE_{\text{an}} \cdot P_{\text{an}}$$

onde:

$E_{\text{N}_2\text{O}}$	Emissões de N_2O	$[\text{t}_{\text{N}_2\text{O}}]$
FE_{an}	Fator de emissão	$[\text{t}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido nítrico}}^{-1}]$
P_{an}	Produção de ácido nítrico	$[\text{t}_{\text{ácido nítrico}}]$
an	Ácido nítrico	

4.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico

4.2.1 Fator de Emissão de N₂O na Produção de Ácido Nítrico (FE_{an})

Em decorrência da diversidade de arranjos de processo, foram adotados os seguintes FE de N₂O:

- Planta de vácuo: $5\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ - default IPCC;
- Planta de baixa pressão: $4,89\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ - medido;
- Plantas de média pressão: $8,14\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ e $6,01\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ - medidos.

Considerando os valores acima, o FE médio de N₂O é $6,09\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$.

Para a unidade de alta pressão, que utiliza a tecnologia de destruição catalítica não seletiva, adotou-se como valor de emissão de óxido nitroso o default do IPCC de $2,0\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$. Assim, o valor médio considerando as duas tecnologias para controle de emissões como a destruição catalítica não seletiva, destruição catalítica seletiva e as respectivas capacidades de produção, foi de $4,57\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$.

4.2.2 Produção de Ácido Nítrico (P_{an})

Em 2005, considerou-se que a capacidade licenciada de produção de ácido nítrico no Estado de São Paulo é de $555.360\text{t}_{\text{ácido_nítrico}} \cdot \text{ano}^{-1}$. Na Tabela 5 são apresentados os dados de produção de ácido nítrico para o período de 1990 a 2005.

4.3 Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico

Considerando a capacidade licenciada em 2005, para cada uma das tecnologias avaliadas, verificou-se, em função do valor médio de geração acima calculado de $4,57\text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ uma emissão potencial

Tabela 5 Produção de Ácido Nítrico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t _{ácido_nítrico} ·ano ⁻¹]
1990	392.351
1991	402.571
1992	397.650
1993	421.623
1994	475.919
1995	476.672
1996	499.053
1997	511.724
1998	499.191
1999	487.695
2000	505.923
2001	512.305
2002	527.188
2003	466.052
2004	485.207
2005	545.019

máxima de $2.538\text{t}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $5.000\text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$. A Tabela 6 apresenta as emissões de N₂O e CO₂ na produção de ácido nítrico para o período de 1990 a 2005.

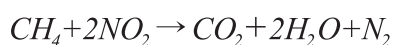
Tabela 6 Emissões de GEE na Produção de Ácido Nítrico de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão		
	[t _{N2O} ·ano ⁻¹]	[t _{CO2} ·ano ⁻¹]	[Gg _{CO2eq} ·ano ⁻¹]
1990	1.891	6.058	592
1991	1.985	5.299	621
1992	1.960	7.005	615
1993	2.071	6.773	649
1994	2.183	7.096	684
1995	2.210	7.072	692
1996	2.269	11.098	714
1997	2.321	8.020	728
1998	2.255	7.358	706
1999	2.241	4.288	699
2000	2.283	3.900	712
2001	2.278	3.825	710
2002	2.366	3.512	733
2003	2.258	2.837	703
2004	2.329	3.083	725
2005	2.473	3.667	770

Nota: Nas estimativas os fatores de emissão (FE_{an}) foram calculados considerando as produções de cada ano para cada uma das cinco plantas industriais instaladas no Estado de São Paulo.

4.4 Emissões de CO₂ na Produção de Ácido Nítrico

As emissões de CO₂ são geradas nas unidades de tecnologia de alta pressão, através da redução catalítica sobre um catalisador de platina a alta temperatura, dos óxidos de nitrogênio (NO₂) contidos nos gases exaustos. A energia necessária, para atingir a temperatura desejada, é obtida utilizando como insumo gases combustíveis. No caso da utilização de gás de purga (mistura de CH₄ e H₂) como insumo, as reações de redução são as seguintes:



A geração de CO₂ foi estimada por balanço de massa, considerando a característica do insumo utilizado na destruição catalítica dos óxidos de nitrogênio que são reduzidos a nitrogênio (N₂).

5 Amônia

A amônia (NH_3) é um dos produtos químicos básicos, produzido em grandes quantidades, utilizado como fonte de nitrogênio. É matéria-prima para a fabricação de ureia, o principal fertilizante nitrogenado, e ácido nítrico, intermediário na produção de nitrato de amônio fertilizante e nitrato de amônio explosivo. Aproximadamente 10% da produção de amônia é destinada à produção de aminas e outros compostos orgânicos, como fluido refrigerante, substituindo compostos listados no Protocolo de Montreal, e na produção de ureia, grau técnico utilizada como insumo químico em outros processos produtivos.

A produção de amônia requer uma fonte de hidrogênio e uma fonte de nitrogênio. A fonte de nitrogênio é o ar atmosférico. A fonte de hidrogênio pode ser obtida de diferentes matérias-primas, como:

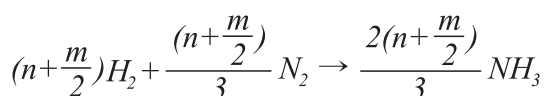
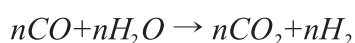
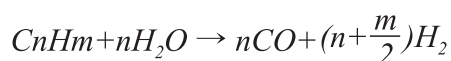
- Resíduo asfáltico (tecnologia desenvolvida pela Shell e pela Texaco);
- Gás residual de refinaria (tecnologia desenvolvida pela PETROBRAS, ULTRAFÉRTIL e Vale Fertilizantes);
- Gás natural (tecnologia com uma dezena de fornecedores);
- Nafta petroquímica (tecnologia com uma dezena de fornecedores);
- Etanol (matéria-prima já processada na unidade industrial da Vale Fertilizantes, com adaptação tecnológica desenvolvida pela Vale Fertilizantes e Ultrafertil).

Como subproduto da fabricação de amônia é gerado CO_2 , que pode ser enviado (ventado) para a atmosfera ou pode ser recuperado, como no caso da unidade industrial localizada em São Paulo, para ser utilizado como gaseificante para líquidos ou como gás inerte.

A geração de $t_{\text{CO}_2} \cdot t_{\text{amônia}}^{-1}$ produzida em função das matérias primas citadas segue a seguinte ordem decrescente:

- Resíduo asfáltico;
- Nafta petroquímica;
- Gás de refinaria;
- Etanol;
- Gás natural.

O processo envolve as etapas de geração de hidrogênio e a de síntese de amônia. A tecnologia usada na reação é a da redução catalítica de gás de refinaria, com vapor de água. O nitrogênio necessário à relação estequiométrica para a síntese de amônia é fornecido pelo ar. O CO_2 é gerado na etapa de geração de hidrogênio. Algumas das reações químicas envolvidas no processo são:



5.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Amônia

A estimativa foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). O grau de rigor *Tier 1* para as estimativas de emissões de CO₂ na produção de amônia é apresentado pela Equação 4.

Equação 4 Emissões de CO₂ na Produção de Amônia

$$E_{CO_2} = FE_{am} \cdot P_{am}$$

onde:

E_{CO_2}	Emissões de CO ₂	[t _{CO2}]
FE_{am}	Fator de emissão	[t _{CO2} ·t _{produto} ⁻¹]
P_{am}	Produção de amônia	[t _{produto}]

5.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Amônia

5.2.1 Fator de Emissão de CO₂ na Produção de Amônia (FE_{am})

A planta de amônia localizada em São Paulo utiliza como matéria-prima o gás residual de refinaria, processo patenteado e que valorizou um resíduo gasoso produzido pela refinaria de petróleo, reduzindo, na época, a emissão de CO₂. Assim, o FE_{am} é de 1,3t_{CO2}·t_{amônia}⁻¹.

5.2.2 Produção de Amônia (P_{am})

A capacidade licenciada para produção de amônia no Estado de São Paulo é de 216.000t_{amônia}·ano⁻¹. A Produção de Amônia no Estado de São Paulo de 1990 a 2005 é apresentada na Tabela 7.

5.3 Emissões de GEE na Produção de Amônia

Considerando a capacidade licenciada para a produção de amônia estima-se uma geração máxima de 280.800t_{CO2}·ano⁻¹. A Tabela 8 apresenta as emissões de CO₂ na produção de amônia no período de 1990 a 2005.

Tabela 7 Produção de Amônia de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t _{amônia} ·ano ⁻¹]
1990	142.234
1991	105.399
1992	148.251
1993	107.024
1994	165.710
1995	158.598
1996	136.514
1997	162.033
1998	154.319
1999	161.804
2000	171.295
2001	126.102
2002	209.600
2003	124.196
2004	193.281
2005	194.088

Tabela 8 Emissões de GEE na Produção de Amônia de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão	
	[t _{CO2} ·ano ⁻¹]	[Gg _{CO2} ·ano ⁻¹]
1990	184.904	185
1991	137.019	137
1992	192.726	193
1993	139.131	139
1994	215.423	215
1995	206.177	206
1996	177.468	177
1997	210.643	211
1998	200.615	201
1999	210.345	210
2000	222.684	223
2001	163.933	664
2002	272.480	272
2003	161.455	161
2004	251.265	251
2005	252.314	252

6 Dicloroetano e Cloreto de Vinila

O dicloroetano (1,2 dicloroetano) ou dicloreto de etileno ($C_2H_4Cl_2$) é um dos primeiros hidrocarbonetos clorados sintetizado em 1795, apresentando-se como um líquido oleoso de cor clara com odor adocicado de clorofórmio. É utilizado como intermediário na produção de mono-cloreto de vinila (MVC), solventes, hidrocarbonetos policlorados, etilenoglicol e outros. Também é empregado como solvente para graxas, óleos e gorduras, limpeza industrial, aditivo para combustíveis e em formulações de solventes. Bastante difundido na extração de produtos naturais como esteróides, vitamina A, cafeína e nicotina.

O cloreto de vinila (CH_2CHCl), é utilizado como intermediário na produção do cloreto de polivinila, amplamente utilizado na fabricação de materiais e fios elétricos, material de construção civil, tubos, conexões e embalagens.

A produção de cloreto de vinila e dicloroetano, no Brasil, utiliza o processo de cloração direta e oxidação do eteno (C_2H_4), sendo usado o cloreto de hidrogênio (HCl) gerado no craqueamento do dicloroetano.

A planta de produção de cloreto de vinila e dicloroetano pode operar como processo balanceado entre os dois produtos. Como o processo não atinge 100% de conversão do eteno, uma pequena porcentagem da matéria-prima não é convertida. Assim, os gases exaustos do processo são tratados para eliminar os compostos clorinados, formados em reações secundárias, e o eteno não reagido.

O eteno não reagido é convertido em CO_2 e os compostos clorinados são reduzidos através de um processo de redução catalítica ou incineração, assim, os gases limpos são enviados para a atmosfera atendendo as exigências do órgão de controle ambiental. Desta forma, o principal GEE emitido é o CO_2 .

Em função da característica do insumo utilizado no processo de destruição dos compostos clorinados mencionados, reação de incineração, é calculada também a emissão fugitiva de outro GEE, o CH_4 .

O processo de produção do dicloroetano e cloreto de vinila ocorre conforme as reações a seguir:

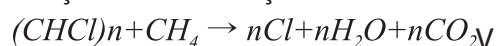
Reação de Cloração



Reação de Craqueamento



Reação de Incineração



6.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

A estimativa de CO₂ foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). As emissões de CO₂ na produção de dicloroetano e cloreto de vinila são estimadas pela Equação 5.

Equação 5 Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

$$E_{(i)} = FE_{dcv(i)} \cdot P_{dcv}$$

onde:

E	Emissões de GEE	[t _{GEE(i)}]
FE _{dcv}	Fator de emissão de dicloroetano e cloreto de vinila	[t _{GEE(i)} · t _{dcv}] ⁻¹
P _{dcv}	Produção de dicloroetano e cloreto de vinila	[t _{dcv}]
i	Tipo de GEE	
dcv	Dicloroetano e cloreto de vinila	

As emissões de CH₄ nas unidades de produção de dicloroetano e cloreto de vinila podem ser emissões fugitivas ou geradas pelos sistemas de alívio da unidade de processo. As emissões fugitivas surgem a partir de flanges, válvulas e outros equipamentos de processo. As emissões dos sistemas de alívio estão associadas à eficiência da combustão dos gases na tocha de controle do processo de produção. Embora o método IPCC considere duas etapas para a estimativa de CH₄, em decorrência da indisponibilidade de dados considerou-se apenas uma etapa, realizando-se a estimativa conforme a Equação 5, que emprega um fator de emissão (FE) default sugerido pelo IPCC (2006). Esse fator de emissão inclui as emissões fugitivas e de abertura do sistema.

6.2 Dados para a Estimativa de Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

6.2.1 Fator de Emissão (FE_{dcv}) de CO₂ na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

Os fatores de emissão para o CO₂ considerados para o cálculo são os *default* de 0,196t_{CO2}·(t_{dicloroetano})⁻¹ e de 0,294t_{CO2}·(t_{cloreto_de_vinila})⁻¹ do IPCC (2006).

6.2.2 Fator de Emissão de CH₄ na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

O fator de emissão para CH₄ é *default* do IPCC de 0,0226kg_{CH4}·(t_{dcv})⁻¹.

6.2.3 Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila (P_{dcv})

A capacidade instalada para produção de dicloroetano e cloreto de vinila no Estado de São Paulo é de 420.000t_{dcv}·ano⁻¹. A Tabela 9 apresenta os dados de produção de dicloroetano e cloreto de vinila para o período de 1990 a 2005.

Desde 1990 até 1996 os valores de produção são calculados usando a capacidade instalada devido à falta de dados consolidados. A partir de 1997, os valores são calculados usando a capacidade instalada com o fator de produção e, também, a produção declarada.

6.3 Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila

Considerando a capacidade instalada o que caracteriza uma emissão máxima potencial de 119.760t_{CO2}·ano⁻¹ e 9,5 t_{CH4}·ano⁻¹ em 2005. Na Tabela 10, abaixo, são apresentadas as emissões de CH₄ e CO₂ da produção de dicloroetano e cloreto de vinila no período de 1990 a 2005.

Tabela 9 Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[tdcv.ano ⁻¹]
1990	41.000
1991	41.000
1992	41.000
1993	41.000
1994	41.000
1995	41.000
1996	41.000
1997	106.332
1998	109.841
1999	129.334
2000	112.537
2001	76.415
2002	92.098
2003	221.602
2004	223.353
2005	234.460

Tabela 10 Emissões de GEE na Produção de Dicloroetano e Cloreto de Vinila de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão		
	[tCH ₄ .ano ⁻¹]	[tCO ₂ .ano ⁻¹]	[Ggt _{CO₂eq.} .ano ⁻¹]
1990	0,9	12.054	12
1991	0,9	12.054	12
1992	0,9	12.054	12
1993	0,9	12.054	12
1994	0,9	12.054	12
1995	0,9	12.054	12
1996	0,9	12.054	12
1997	2,4	24.859	25
1998	2,5	25.547	26
1999	2,9	29.367	29
2000	2,5	26.075	26
2001	1,7	18.995	19
2002	2,1	22.069	22
2003	5,0	47.452	48
2004	5,0	59.457	60
2005	5,3	61.634	62

7 Eteno

O eteno ou etileno (C_2H_4) é o hidrocarboneto primário produzido em maior quantidade e um dos principais da cadeia de valor da indústria petroquímica, utilizado no processo de produção de plásticos incluindo os polietilenos de alta e baixa densidade, cloreto de polivinila e como matéria-prima para a fabricação de cloreto de vinila, óxido de eteno, etilbenzeno e dicloroeteno.

Universalmente, é produzido através do craqueamento de matérias-primas petroquímicas, seja em uma planta petroquímica, seja em uma refinaria de petróleo. A produção de eteno também produz como materiais petroquímicos secundários propileno, butadieno e compostos aromáticos. O processo de produção utilizado pela indústria petroquímica instalada em São Paulo é o tradicional processo de craqueamento de nafta². Os principais GEE associados à produção de etileno são o CO_2 e CH_4 .

7.1 Método para a Estimativa de Emissões de GEE (CO_2) na Produção de Eteno

A estimativa de CO_2 foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). As emissões de CO_2 na produção de eteno está associada ao tipo de matéria-prima utilizada que no caso paulista, é a nafta.

Equação 6 Emissões de CO_2 na Produção de Eteno

$$E_{CO_2} = FE_{ete} \cdot P_{ete} \cdot FA$$

onde:

E_{CO_2}	Emissões de CO_2	[t_{CO_2}]
FE_{ete}	Fator de emissão	[$t_{CO_2} \cdot t_{eteno}$]
P_{ete}	Produção de eteno	[t_{eteno}]
FA	Fator de ajuste geográfico	[%]
ete	Eteno	

7.2 Método para a Estimativa de Emissões de GEE (CH_4) na Produção de Eteno

As emissões de CH_4 nas unidades de produção de eteno podem ser emissões fugitivas ou geradas pelos sistemas de alívio da unidade de processo. As emissões fugitivas

surtem a partir de flanges, válvulas e outros equipamentos de processo. As emissões dos sistemas de alívio estão associadas à eficiência da combustão dos gases na tocha de controle do processo de produção (IPCC, 2006). Embora o método do IPCC considere duas etapas para a estimativa de CH_4 , em decorrência da indisponibilidade de dados, considerou-se apenas uma etapa, realizando-se a estimativa conforme a Equação 7, que emprega um FE default sugerido pelo IPCC (2006). Esse FE inclui as emissões fugitivas e de abertura do sistema.

Equação 7 Emissões de CH_4 na Produção de Eteno

$$E_{CH_4} = FE_{ete} \cdot P_{ete}$$

onde:

E_{CH_4}	Emissões de CH_4	[t_{CH_4}]
FE_{ete}	Fator de emissão	[$t_{CH_4} \cdot t_{eteno}$]
P_{ete}	Produção	[t_{eteno}]

2 A nafta petroquímica é um líquido incolor, com faixa de destilação próxima à da gasolina. Em seu processamento os principais produtos obtidos são o eteno, propeno, butadieno e correntes aromáticas. A PETROBRAS é a única produtora de nafta petroquímica no Brasil, atendendo parcialmente à demanda nacional com produção própria e com importações (PETROBRAS, 2010).

7.3 Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Eteno

7.3.1 Fator de Emissão de CO₂ na Produção de Eteno (FE_{ete})

Os FE_{ete} escolhidos são os recomendados pelo IPCC (2006). Assim, o fator de emissão empregado foi de $1,73\text{kg}_{\text{CO}_2} \cdot \text{t}_{\text{eteno}}^{-1}$, recomendado para estimar as emissões da obtenção de eteno a partir da nafta.

7.3.2 Fator de Ajuste Geográfico (FA)

O IPCC (2006) apresenta fatores de ajuste para os *default* de fatores de emissão de CO₂. O fator empregado foi de 110%, recomendado para a América do Norte, América do Sul e Austrália.

7.3.3 Fator de Emissão de CH₄ na Produção de Eteno

O fator de emissão empregado foi o default do IPCC (2006), para a produção de eteno a partir da nafta petroquímica de $3,00\text{kg}_{\text{CH}_4} \cdot \text{t}_{\text{eteno}}^{-1}$.

7.3.4 Produção de Eteno (P_{ete})

A capacidade licenciada para produção de eteno em 2005 no Estado de São Paulo, é de $700.000\text{t}_{\text{eteno}} \cdot \text{ano}^{-1}$, porém está prevista uma expansão da capacidade produtiva de eteno petroquímico em 2014 para até $1.200.000\text{t}_{\text{eteno}} \cdot \text{ano}^{-1}$. A Tabela 11 apresenta os dados de produção de eteno no período de 1990 a 2005.

7.4 Emissões de GEE na Produção de Eteno

Considerando a capacidade instalada, a geração máxima de CO₂ seria de $1.330\text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $2.100\text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$. Caso ocorra a expansão da capacidade instalada, a emissão máxima será de até $2.280\text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $3.600\text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Destaca-se que há previsão de incorporar, de forma pioneira na indústria química paulista, a partir de 2013, uma nova matéria-prima

Tabela 11 Produção de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t _{eteno} ·ano ⁻¹]
1990*	347.706
1991*	260.559
1992*	270.809
1993*	312.305
1994*	318.785
1995*	315.500
1996*	367.061
1997	447.400
1998	458.800
1999	477.840
2000	472.990
2001	454.220
2002	415.870
2003	463.930
2004	488.060
2005	466.260

Obs.: (*) valores de produção calculados usando a capacidade instalada e o fator de produção.

para a produção de eteno, o etanol, derivado da cana-de-açúcar.

Segundo a empresa Braskem (2010), a utilização de etanol para a produção de eteno confere ao ciclo de vida do polietileno derivado do eteno de cana-de-açúcar, vantagens ambientais: cada quilograma de polietileno produzido captura e fixa entre 2 e 2,5 kg de CO₂, colaborando com a redução do dióxido de carbono na atmosfera. Esta é uma das iniciativas da indústria química paulista, visando à utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para viabilizar a produção de eteno verde e seus produtos derivados, a partir de álcool.

Tabela 12 Emissões de GEE na Produção de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão		
	[t _{CH4} .ano ⁻¹]	[t _{CO2} .ano ⁻¹]	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]
1990	1.043	661	23
1991	782	495	17
1992	812	515	18
1993	937	593	20
1994	956	606	21
1995	947	599	20
1996	1.101	697	24
1997	1.342	850	29
1998	1.376	872	30
1999	1.434	908	31
2000	1.419	899	31
2001	1.363	863	29
2002	1.248	790	27
2003	1.392	881	30
2004	1.464	927	32
2005	1.399	886	30

8 Negro de Fumo

O principal uso do negro de fumo é como aditivo na borracha para a fabricação de pneumáticos. Outro uso importante é como pigmento na fabricação de tintas.

O processo de produção de negro de fumo parte da combustão incompleta ou parcial de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos, sendo que, no Brasil, o resíduo aromático é a principal matéria-prima associada ao óleo combustível pesado (naftênico), na etapa de geração do negro de fumo. Como insumo secundário ou matéria-prima secundária se utiliza gás natural ou óleo combustível.

A reação abaixo apresenta, genericamente, o mecanismo de formação de negro de fumo:



Durante o processo de produção é gerado um gás de purga que contém CO e compostos orgânicos voláteis (VOC), que são processados em presença de ar atmosférico visando à conversão dos poluentes citados em CO₂.

8.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Negro de Fumo

A estimativa para CO₂ foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). A equação empregada para esta estimativa foi a Equação 8.

Equação 8 Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo

$$E_{GEE} = FE_{nf(i)} \cdot P_{nf}$$

onde:

E _{GEE}	Emissões de GEE	[t _{GEE}]
FE _{nf}	Fator de emissão	[t _{GEE} ·t _{negro_de_fumo} ⁻¹]
P _{nf}	Produção	[t _{negro_de_fumo}]
i	Tipo de GEE	
nf	Negro de fumo	

As emissões de CH₄ nas unidades de produção de negro de fumo podem ser emissões fugitivas ou geradas pelos sistemas de alívio da unidade de processo. As emissões fugitivas surgem a partir de flanges, válvulas e outros equipamentos de processo. As emissões dos sistemas de alívio estão associadas à eficiência da combustão dos gases na tocha de controle do processo de produção (IPCC, 2006). Embora o método do IPCC considere

duas etapas para a estimativa de CH₄, em decorrência da indisponibilidade de dados, considerou-se apenas uma etapa, realizando-se a estimativa conforme a Equação 8, que emprega um fator de emissão default sugerido pelo IPCC (2006). Esse FE inclui as emissões fugitivas e de abertura do sistema.

8.2 Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Negro de Fumo

8.2.1 Fator de Emissão de CH₄ na Produção de Negro de Fumo (FE_{nf})

O fator de emissão de CH₄ empregado foi de 0,06kg_{CH4}·t_{negro_de_fumo}⁻¹ do IPCC (2006) para o *Thermal Treatment (default process)* de negro de fumo. A existência de dois fatores de emissão está associada à entrada em operação, no período considerado, de uma planta com uma emissão de CO₂ diferente das existentes.

8.2.2 Fator de Emissão³ de CO₂ na Produção de Negro de Fumo (FE_{nf})

Para o CO₂ foi empregado *default* (Tier 1) de $2,62 \text{ t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{t}_{\text{negro_de_fumo}}^{-1}$.

8.2.3 Produção de Negro de Fumo (P_{nf})

A capacidade produtiva instalada em 2005 para produção de negro de fumo no Estado de São Paulo é de $322.000 \text{ t}_{\text{negro_de_fumo}} \cdot \text{ano}^{-1}$. Porém, há uma previsão de expansão da capacidade produtiva em 2014, de até $362.000 \text{ t}_{\text{negro_de_fumo}} \cdot \text{ano}^{-1}$. A Tabela 13 apresenta a produção de negro de fumo no período de 1990 a 2005.

Tabela 13 Produção de Negro de Fumo de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[$\text{t}_{\text{negro_de_fumo}} \cdot \text{ano}^{-1}$]
1990	178.395
1991	182.567
1992	186.422
1993	197.248
1994	204.301
1995	200.554
1996	202.183
1997	207.761
1998	211.138
1999	221.501
2000	229.860
2001	215.359
2002	222.204
2003*	229.863
2004*	278.327
2005*	280.140

Nota: * Valores de produção calculados usando a capacidade instalada e o fator de produção.

8.3 Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo

Considerando a capacidade produtiva instalada ocorreria uma geração máxima de $843.640 \text{ t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $19,32 \text{ t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$. Caso ocorra a expansão da capacidade, a emissão máxima seria de até $948.440 \text{ t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $21,72 \text{ t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$. A Tabela 14 apresenta as emissões de CH₄ e CO₂ da produção de negro de fumo no período de 1990 a 2005.

Tabela 14 Emissões de GEE na Produção de Negro de Fumo de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão		
	[$\text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$]	[$\text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$]	[$\text{Gg}_{\text{CO}_2\text{eq}} \cdot \text{ano}^{-1}$]
1990	10,7	467.395	468
1991	10,9	478.326	479
1992	11,2	488.426	489
1993	11,8	516.790	517
1994	12,2	535.269	536
1995	12,0	525.451	526
1996	12,1	529.719	530
1997	12,5	544.334	545
1998	12,7	553.182	553
1999	12,9	580.333	581
2000	13,8	602.233	603
2001	12,9	564.241	565
2002	13,3	582.174	582
2003	13,8	602.241	603
2004	16,7	729.217	730
2005	16,8	733.967	734

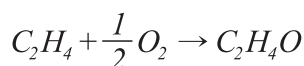
3 Por solicitação da ABIQUIM, o fator de emissão (FE) empregado nas estimativas de negro de fumo foi alterado, modificando assim os resultados. Por conta dessa alteração, os resultados presentes neste relatório estão diferentes dos apresentados na Comunicação Estadual (CETESB, 2011).

9 Óxido de Eteno

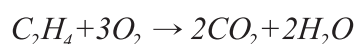
O óxido de eteno ou etileno (C_2H_4O) é um dos mais importantes derivados do eteno, produzido a partir da sua reação de oxidação catalítica. Sua estrutura peculiar torna-o uma das principais matérias-primas da indústria química e petroquímica.

O óxido de eteno é utilizado principalmente como matéria-prima na produção de etilenoglicóis, éteres glicólicos, etoxilados, acetatos de éteres e especialidades químicas. Estes produtos, por sua vez, são utilizados como matérias-primas para uma série de aplicações, nos segmentos de alimentos, limpeza, agroquímicos, têxteis, catalisadores, construção civil, cosméticos, couros, higiene pessoal, farmacêuticos, fluidos automobilísticos, petróleo, tintas, resinas e vernizes.

Pode ser produzido por dois processos. Um que inicia com a reação do cloro sobre o eteno na presença de água, seguida da desidrocloração da cloridrina de eteno formada, e outro que utiliza oxidação direta do eteno por meio do ar. A produção, no Estado de São Paulo, é obtida pela segunda tecnologia mencionada, oxidação direta do eteno, conforme a reação:



Simultaneamente, ocorre a reação completa do eteno a CO_2 e água:



Sendo, portanto, essa emissão intrínseca ao processo de fabricação de óxido de eteno.

9.1 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Óxido de Eteno

A estimativa foi realizada conforme o método *Tier 1* apresentado pelo IPCC (2006). O grau de rigor *Tier 1* para a emissão de CO_2 na produção de óxido de eteno é apresentado pela Equação 9.

Equação 9 Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno

$$E_{GEE} = FE_{oe(i)} \cdot P_{oe}$$

onde:

E_{GEE}	Emissões de GEE	[t_{GEE}]
FE_{oe}	Fator de emissão	[$t_{GEE} \cdot t_{\text{óxido_de_eteno}}$]
P_{oe}	Produção de óxido de eteno	[$t_{\text{óxido_de_eteno}}$]
i	Tipo de GEE	
oe	Óxido de eteno	

As emissões de CH_4 nas unidades de produção de óxido de eteno podem ser emissões fugitivas ou geradas pelos sistemas de alívio da

unidade de processo. As emissões fugitivas surgem a partir de flanges, válvulas e outros equipamentos de processo. As emissões dos sistemas de alívio estão associadas à eficiência da combustão dos gases na tocha de controle do processo de produção (IPCC, 2006). Embora o método do IPCC considere duas etapas para a estimativa de CH_4 , em decorrência da indisponibilidade de dados, considerou-se apenas uma etapa, realizando-se a estimativa conforme a Equação 9, que emprega um FE *default* sugerido pelo IPCC (2006). Esse FE inclui as emissões fugitivas e de abertura do sistema.

9.2 Dados para a Estimativa de GEE na Produção de Óxido de Eteno

9.2.1 Fator de Emissão de CO_2 na Produção de Óxido de Eteno (FE_{oe})

O FE empregado na estimativa para o CO_2 é o *default* do IPCC (2006) para *Air Process* de $0,863 t_{CO_2} \cdot t_{\text{óxido_de_eteno}}^{-1}$.

9.2.2 Fator de Emissão de CH₄ na Produção de Óxido de Eteno (FE_{oe})

Para calcular as emissões de CH₄ foi utilizado o FE_{oe} default do IPCC (2006) para o *Thermal Treatment* de $1,79\text{kg}_{\text{CH}_4}\cdot\text{t}_{\text{óxido_de_eteno}}^{-1}$.

9.2.3 Produção de Óxido de Eteno (P_{oe})

A capacidade licenciada de produção de óxido de eteno no Estado de São Paulo em 2005 é de $52.000\text{ t}_{\text{óxido_de_eteno}}\cdot\text{ano}^{-1}$. Porém, está licenciado um novo patamar de produção anual de até 95.000t. A Tabela 15 apresenta os dados e produção de óxido de eteno para o período de 1990 a 2005.

Tabela 15 Produção de Óxido de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t _{óxido_de_eteno} ·ano ⁻¹]
1990	33.917
1991	40.526
1992	36.448
1993	37.965
1994	37.225
1995	35.377
1996	34.401
1997	48.629
1998	45.026
1999	49.440
2000	47.891
2001	50.068
2002	45.358
2003	49.367
2004	51.704
2005	51.998

9.3 Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno

Considerando a capacidade produtiva licenciada em 2005, a emissão potencial é de até $44.876\text{t}_{\text{CO}_2}\cdot\text{ano}^{-1}$ e $93,1\text{t}_{\text{CH}_4}\cdot\text{ano}^{-1}$. Em função da licença de expansão da capacidade de produção, a emissão máxima potencial seria, em 2010, de até $81.985\text{t}_{\text{CO}_2}\cdot\text{ano}^{-1}$ e $170\text{t}_{\text{CH}_4}\cdot\text{ano}^{-1}$. Na Tabela 16 são apresentadas as emissões de CH₄ e CO₂ da produção de óxido de eteno para o período de 1990 a 2005.

Tabela 16 Emissões de GEE na Produção de Óxido de Eteno de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão		
	[t _{CH₄} ·ano ⁻¹]	[t _{CO₂} ·ano ⁻¹]	[Gg _{CO₂eq} ·ano ⁻¹]
1990	60,7	29.169	30
1991	72,5	34.852	36
1992	65,2	31.345	33
1993	68,0	32.650	34
1994	66,6	32.014	33
1995	63,3	30.424	32
1996	61,6	29.585	31
1997	87,0	41.821	44
1998	80,6	38.722	40
1999	88,5	42.518	44
2000	85,7	41.186	43
2001	89,6	43.058	45
2002	81,2	39.008	41
2003	88,4	42.456	44
2004	92,6	44.465	46
2005	93,1	44.718	47

10 Consolidação das Emissões de Gases

A Tabela 17 apresenta os resultados das emissões de GEE na produção de ácido adípico, ácido fosfórico, ácido nítrico, amônia, dicloroetano e cloreto de vinila, eteno, negro de fumo e óxido de eteno, no período 1990 a 2005.

Tabela 17 Emissões Anuais de GEE de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

Ano	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
	[Gg]		
1990	717,37	10,52	1,12
1991	686,49	13,24	0,87
1992	745,93	12,37	0,89
1993	725,23	15,91	1,02
1994	819,73	16,18	1,04
1995	801,66	17,29	1,02
1996	781,97	13,49	1,18
1997	854,76	11,98	1,44
1998	849,21	19,01	1,47
1999	889,84	18,87	1,54
2000	922,19	19,80	1,52
2001	820,41	16,18	1,47
2002	946,02	20,17	1,35
2003	887,66	18,45	1,50
2004	1116,71	21,62	1,58
2005	1125,30	22,76	1,51

Considerando a capacidade de produção instalada para cada uma das tipologias industriais apresentadas, a emissão máxima para a capacidade atualmente instalada/licenciada é apresentada na Tabela 18.

Para se comparar as emissões de GEE aqui apresentadas, foram adotados fatores de conversão que permitem equalizar as diferentes quantidades emitidas, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 17 Emissões Máximas pela Capacidade Instalada

Gás	Emissões
	[Gg]
CO ₂	1.324
N ₂ O	26
CH ₄	2

Tabela 18 Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos Gases

Gases	Fórmula	GWP
Dióxido de Carbono	CO ₂	1Gg _{CO2eq} .Gg _{CO2} ⁻¹
Metano	CH ₄	21Gg _{CO2eq} .Gg _{CH4} ⁻¹
Óxido nítrico	N ₂ O	310Gg _{CO2eq} .Gg _{N2o} ⁻¹

Nota: Estes dados indicam o GWP comparados ao CO₂.

Assim, multiplicando os valores do potencial de cada substância química pelas quantidades emitidas aqui apresentadas, obtêm-se os seguintes valores das emissões em Gg_{CO_2eq} .

Tabela 19 Emissões Anuais de GEE

Ano	Emissão
	[Gg_{CO_2eq}]
1990	4.001
1991	4.808
1992	4.598
1993	5.679
1994	5.856
1995	6.184
1996	4.988
1997	4.598
1998	6.773
1999	6.770
2000	7.091
2001	5.867
2002	7.226
2003	6.639
2004	7.851
2005	8.214

Considerando a capacidade de produção instalada para cada uma das tipologias industriais apresentadas, a emissão máxima de CO_{2eq} para a capacidade instalada e/ou licenciada em 2005 é de: 9.439 Gg_{CO_2eq} .

Referências

ABIQUIM **Guia da Indústria Química Brasileira** 1991/1992. São Paulo: ABIQUIM, 1992. Citação não localizada no texto

ABIQUIM **Guia da Indústria Química Brasileira** 2010. São Paulo: ABIQUIM, 2010. Citação não localizada no texto

BRASKEM. **Dúvidas frequentes: plástico verde**. São Paulo, c2013. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/site.aspx/FAQ_PeVerde>. Acesso em: jun. 2013.

CETESB. **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo**: comunicação estadual. 2. ed. São Paulo, 2011. 192 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/inventario_estadual/sao_paulo/inventario_sp/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

CARVALHO, M. E. S. (Coord.). **MEIQ - manual econômico da indústria química: matérias primas e grupos químicos**. 8. ed. Camaçari: CEPED, 2007. 3 v.

IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.

PETROBRAS. **Produtos e serviços: nafta petroquímica**. Disponível em: <www2.petrobras.com.br/produtos_servicos/port/produtos/Nafta_Petroquimica/nafta_petroquimica.asp>. Acesso em: 22 out. 2011.

Anexos

Projeção das Emissões de GEE

Para projetar os valores potenciais das emissões de GEE, CO₂, CH₄ e N₂O para o ano de 2014, foram consideradas as seguintes bases: as capacidades licenciadas para a produção de amônia, dicloroetano, cloreto de vinila e, ainda, a expansão da capacidade produtiva prevista e a implementação de projetos de Produção Mais Limpa (P+L) através do MDL, para as tipologias destacadas conforme segue.

Ácido Adípico

Com a implementação de um projeto MDL para instalação de um sistema para redução das emissões de N₂O, há uma redução substancial no fator de emissão. O valor estimado é de $6,25 \text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_adípico}}^{-1}$.

Assim, considerando a capacidade instalada e a projeção de expansão em 10% para produção de ácido adípico no Estado de São Paulo, as emissões estimadas ficarão em torno de $598 \text{t}_{\text{N}_2\text{O}}$ e de $18.700 \text{t}_{\text{CO}_2}$. As emissões de CO₂ resultantes da implementação do projeto estão associadas ao tipo de insumo utilizado para destruição do N₂O.

Ácido Nítrico

Com a implementação de sistemas para redução das emissões de N₂O, utilizando projetos MDL, nas unidades de produção de ácido nítrico haverá uma redução no fator de emissão médio esperado para o parque industrial instalado em São Paulo. O valor estimado é de $2,67 \text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$.

Assim, considerando que a capacidade produtiva instalada para produção de ácido nítrico no Estado de São Paulo é de $566.000 \text{t}_{\text{ácido_nítrico}} \cdot \text{ano}^{-1}$, a emissão anual estimada reduzirá e poderá ficar em torno de $1.511 \text{t}_{\text{N}_2\text{O}}$ e $5.000 \text{t}_{\text{CO}_2}$.

Em função da previsão de uma expansão da capacidade produtiva em $240.000 \text{t}_{\text{ácido_nítrico}} \cdot \text{ano}^{-1}$ até 2014 e considerando o FE resultante, após a implementação de projetos MDL, de $2,67 \text{kg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{t}_{\text{ácido_nítrico}}^{-1}$ a emissão máxima de N₂O estimada poderá ser de até $2.163 \text{t}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Eteno

Está prevista uma expansão da capacidade produtiva de eteno petroquímico até $1.200.000 \text{t}_{\text{eteno}} \cdot \text{ano}^{-1}$, sendo que, em função dos FE mencionados, a emissão máxima será de até $2.280 \text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $3.600 \text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Negro de Fumo

Está prevista uma expansão da capacidade produtiva até $362.000 \text{t}_{\text{negro_de_fumo}} \cdot \text{ano}^{-1}$, sendo que, em função dos FE mencionados, a emissão máxima será de até $948.440 \text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $21,72 \text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Óxido de Eteno

Considerando a capacidade de expansão licenciada em 2010 de $95.000 \text{t}_{\text{óxido_de_eteno}} \cdot \text{ano}^{-1}$ e prevendo-se uma expansão da capacidade de produção de até 10% dessa nova capacidade, as emissões previstas serão de $90.183 \text{t}_{\text{CO}_2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $187 \text{t}_{\text{CH}_4} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Outros

A previsão é que as emissões de ácido fosfórico, amônia, dicloroetano e cloreto de vinila sejam mantidas nos níveis atuais.

Emissões Máximas Previstas

Considerando as informações apresentadas, as emissões máximas para 2014 estão apresentadas na Tabela 21.

Tabela 1 Emissões Máximas Previstas para 2014

Gás	Emissões Máximas Estimadas para a Capacidade Instalada Incluindo Expansões Previstas	
	[Gg]	[Gg _{CO2eq}]
CO ₂	1.407	1.407
N ₂ O	2	654
CH ₄	4	80

The image shows a large industrial facility, likely a metal processing plant. Two prominent white cylindrical towers with dark, flat tops are visible. They are surrounded by a complex network of yellow metal walkways, ladders, and structural beams. In the center, there is a large, dark, multi-tiered structure that appears to be a furnace or a large-scale processing unit. The sky is clear and blue. The overall scene is industrial and complex.

PARTE IV

PRODUÇÃO METALÚRGICA

PARTE IV - Ficha Técnica

Coordenação da Parceria CETESB / IABr / IMT

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Instituto Aço Brasil - IABr e suas Associadas

Instituto Mauá de Tecnologia - IMT

Roberto Kenji Fujimoto - Consultor Técnico

Bruna Patrícia de Oliveira - Consultora Técnica

Revisão Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboração

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Francisco Emilio Baccaro Nigro

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Lucila Caselato

Mariana Pedrosa Gonzalez

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência é produto da parceria entre a CETESB e o Instituto Aço Brasil (IABr) edo convênio entre a CETESB e o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE IV - PRODUÇÃO METALÚRGICA	109
1 Introdução	115
2 A Indústria do Aço	116
2.1 Panorama Internacional	116
2.2 Panorama Nacional	116
2.3 Processo Siderúrgico	117
2.3.1 Preparação do Minério de Ferro e do Carvão	118
2.3.2 Redução do Minério de Ferro	119
2.3.2.1 Altos-Fornos a Coque	119
2.3.2.2 Altos-fornos a Carvão Vegetal	119
2.3.3 Redução Direta	119
2.3.4 Refino	119
2.3.5 Conformação Mecânica	120
2.4 Uso de Energia na Produção de Aço	121
2.5 Energia e Custos	121
2.5.1 Medidas Adotadas pela Siderurgia para Melhorar a Eficiência Energética	121
2.6 A Ecoeficiência no Processo Siderúrgico	122
2.7 Emissões de CO ₂ no Processo Siderúrgico	122
2.7.1 Gases Siderúrgicos (Subproduto)	123
3 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Aço	124
4 Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Aço	126
4.1 Fatores de Emissão de Carbono	126
4.2 Produção de Aço no Estado de São Paulo	126
5 A Indústria do Alumínio	127
5.1 Tecnologia da Indústria de Alumínio e Emissões de PFC	128
5.2 Indústria de Alumínio no Brasil	130
5.3 Indústria de Alumínio no Estado de São Paulo	130
6 Método de Estimativa de Emissões	131
6.1 Emissões de CO ₂	131
6.2 Emissões de PFC	131

7	Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Alumínio	132
7.1	Produção.....	132
7.2	Fatores de Emissão.....	132
8	Resultados	133
	Referências	134

TABELAS

Tabela 1	Produção de Aço no Mundo de 2005 a 2008 na América Latina e Brasil	116
Tabela 2	Produção de Aço e Sínter de 2005 a 2008 no Brasil	116
Tabela 3	Tabela 3. Fatores de Emissão de Carbono na Indústria do Aço	126
Tabela 4	Produção de Aço e Sínter de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo	126
Tabela 5	Produção de Alumínio por Tecnologia Empregada	128
Tabela 6	Produção de Alumínio de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo	132
Tabela 7	Emissões de CO ₂ e CO _{2eq} da Indústria Metalúrgica no Estado de São Paulo de 2005 a 2008	133

GRÁFICOS

Gráfico 1	Produção de Aço de 2005 a 2008 no Brasil	116
Gráfico 2	Consumo Médio de Energia por Tonelada de Aço Bruto de 1975 a 2004 na América do Norte, União Europeia e Japão	121
Gráfico 3	Produção de Aço de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo	126
Gráfico 4	Histórico da Produção de Alumínio por País	127
Gráfico 5	Total de Emissões de PFC no Mundo	128
Gráfico 6	Emissões de GEE da Indústria Metalúrgica em CO _{2eq} e CO ₂ de 2005 a 2008	133

FIGURAS

Figura 1	Fluxograma Simplificado de Produção de Aço via Rota Integrada e Semi-integrada	117
Figura 2	Usinas Integradas	118
Figura 3	Usinas Semi-integradas (EAF)	118
Figura 4	Siderurgia a Carvão	120
Figura 5	Emissões de CO ₂ no Processo	123
Figura 6	Tecnologia <i>Prebake</i>	130
Figura 7	Tecnologia <i>Söderberg</i>	130

EQUAÇÕES

Equação 1	Reação de Decomposição da Bauxita de Hidróxido de Alumínio	129
Equação 2	Redução do Metal Alumínio	129
Equação 3	Reação na Célula que Produz os Compostos CF ₄	129
Equação 4	Reação na Célula que Produz os Compostos C ₂ F ₆	129
Equação 5	Emissão de CO ₂ com o Consumo de Ânodo com <i>Tier 1</i>	131
Equação 6	Emissão de CF ₄ no Processo, por <i>Tier 1</i>	131
Equação 7	Emissão de C ₂ F ₆ no Processo, por <i>Tier 1</i>	131

1 Introdução

O presente inventário apresenta as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de uma significativa parcela do subsetor metalúrgico do Estado de São Paulo de 2005 a 2008.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é a principal base para a elaboração de inventários nacionais. O IPCC sugere cinco setores a serem inventariados: Energia, Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos, Processos Industriais e Uso de Produtos, Agropecuária e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Os métodos para a elaboração de inventários da indústria metalúrgica encontram-se nos volumes de Processos Industriais e Uso de Produtos.

O IPCC apresentou, em 2006, métodos para a elaboração de inventários das emissões de GEE da produção de metais como ferro, aço e a produção de coque metalúrgico, ferro-ligas, alumínio, magnésio, chumbo e zinco. Porém, em decorrência da indisponibilidade de dados e por serem consideradas as mais representativas no âmbito metalúrgico, este inventário incluiu apenas as emissões da indústria de aço e alumínio.

Na elaboração dos inventários da indústria metalúrgica, o IPCC (2006) adverte sobre as inúmeras possibilidades de se realizar dupla contagem de emissões, pois o carbono utilizado como reagente dos processos e o carbono utilizado como fonte de calor para conduzir as reações químicas estão frequentemente relacionados.

As emissões da indústria do aço foram estimadas seguindo o método desenvolvido pelo *World Steel Association* (WSA) denominado *Climate Change Emissions Calculation Tool* ou *GHG Tool*, por ser considerado mais abrangente e representativo pelo setor no Estado de São Paulo. O método da WSA foi adotado como base para elaboração de norma ISO sobre inventários das emissões de dióxido de carbono (CO₂) da siderurgia, atualmente em curso. Já as emissões de GEE na indústria do alumínio, por sua vez, foram estimadas seguindo o método apresentado pelo IPCC (2006).

2 A Indústria do Aço

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Uma parcela deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte, após a combustão, é emitida na forma de CO₂, seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a cogeração de energia a partir dos mesmos.

No processo siderúrgico, dentre os gases considerados com potencial de aquecimento global, destaca-se o dióxido de carbono (CO₂). Os demais gases como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) não são relevantes para essa tipologia industrial.

Até 75% das emissões de CO₂ oriundas da produção do aço ocorrem no alto forno para obtenção de ferro gusa, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. O percentual restante resulta das demais unidades de produção, do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor.

2.1 Panorama Internacional

O Brasil ocupou, em 2005, a nona posição no ranking mundial da indústria de aço, com uma produção de 31,6 milhões de toneladas. Isso representou 2,8% da produção mundial de aço e 50,2% da produção da América Latina.

Tabela 1 Produção de Aço no Mundo de 2005 a 2008 na América Latina e Brasil

Produção de Aço Bruto	2005	2006	2007	2008
	[106t]			
Mundial (A)	1.144,3	1.246,9	1.351,5	1.329,1
América Latina (B)	62,9	62,7	67,2	65,7
Brasil (C)	31,6	30,9	33,8	33,7
C/A (%)	2,8	2,5	2,5	2,5
C/B (%)	50,2	49,3	50,3	51,3
Posição Relativa do Brasil no Mundo	9º	10º	9º	9º
Posição Relativa do Brasil na América Latina	1º	1º	1º	1º

Fonte: WSA, ILAFA, IABr apud IABr (2011).

2.2 Panorama Nacional

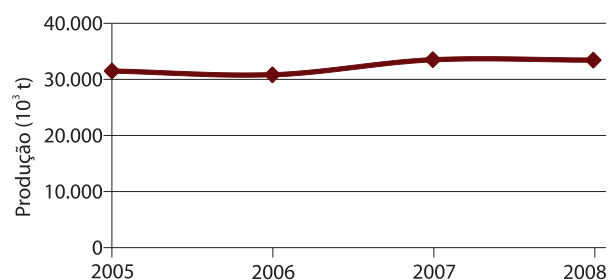
A produção nacional de aço e sinter no período de 2005 a 2008 é apresentada na Tabela 2 e no Gráfico 1.

A produção de aço no Brasil sofreu uma variação positiva de 6,6% em 2008, em relação a 2005.

Tabela 2 Produção de Aço e Sinter de 2005 a 2008 no Brasil

Ano	Brasil	
	Aço	Sinter
	[103t]	
2005	31.610	28.296
2006	30.901	27.385
2007	33.782	30.325
2008	33.716	31.246

Gráfico 1 Produção de Aço de 2005 a 2008 no Brasil



2.3 Processo Siderúrgico

O fluxograma simplificado de produção de aço via rotas integradas e semi-integradas é apresentado na Figura 1.

As principais rotas de produção primária de aço no mundo são:

- Alto-forno + Aciaria LD: 66%;
- Alto-forno + Forno de Soleira Aberta (Forno Siemens-Martin): 3%;
- Redução Direta (DR) + Forno Elétrico a Arco (EAF): 6%;
- Forno Elétrico a Arco com Base em Sucata (EAF): 25%.

A produção de aço via rota integrada é, atualmente, responsável por cerca de 75% da produção mundial de aço e consiste na redução de óxido de ferro a ferro-gusa e posterior refino para reduzir o teor de carbono, transformando-o em aço propriamente dito. Os principais insumos são o minério de ferro e o carvão.

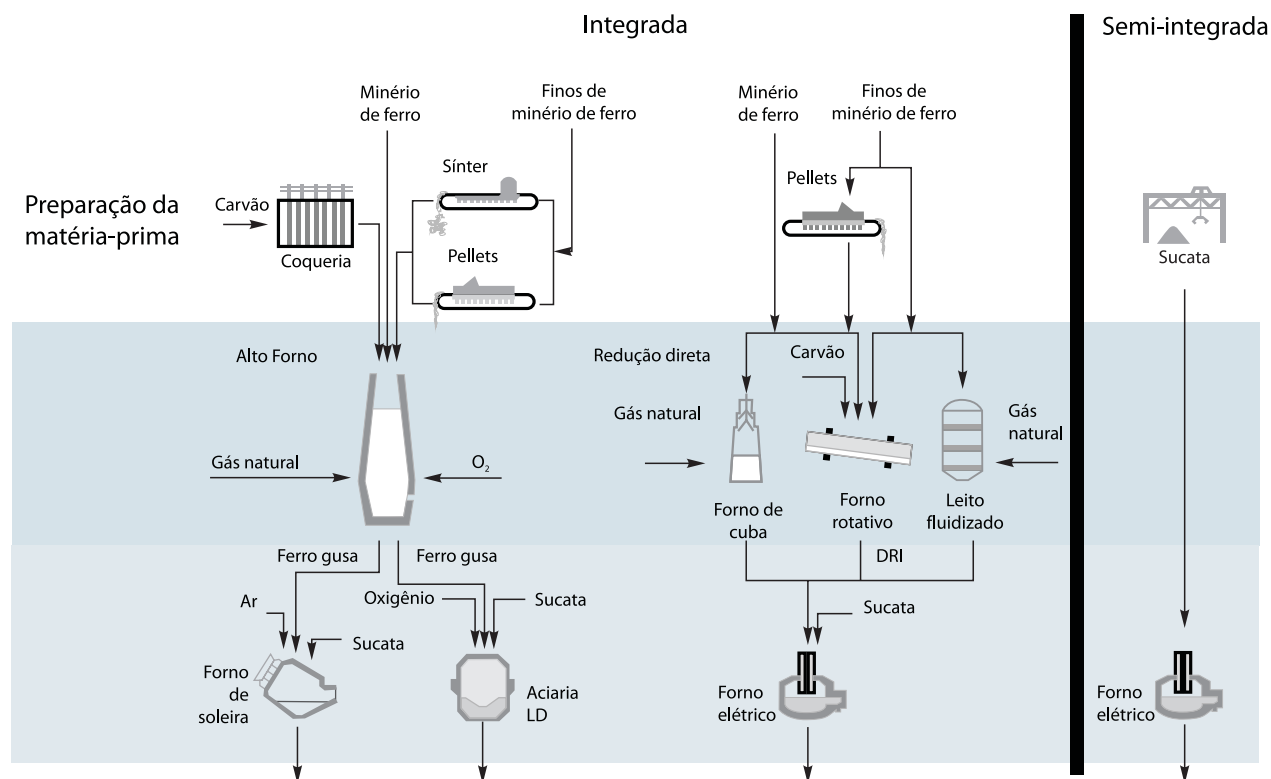
A produção por meio da rota tecnológica de Forno de Soleira Aberta (OHF) é pequena e estes tipos de plantas estão sendo eliminadas devido às suas desvantagens ambientais e econômicas. No Brasil, essa rota não é mais utilizada.

A produção via redução direta (DR) depende da disponibilidade de gás natural a preços que permitam a produção de aço a preços competitivos frente às demais rotas tecnológicas, o que não é o caso do Brasil. Há apenas uma planta de menor capacidade operando no país com esta rota.

A produção de aço via rota semi-integrada é obtida por meio da reciclagem do aço em forno elétrico a arco (EAF). Os principais insumos são sucata e eletricidade. Essa produção depende diretamente da disponibilidade de sucata e essa, por sua vez, está diretamente relacionada ao consumo de aço de cada país.

O setor fabrica uma grande variedade de produtos, como por exemplo, placas, lingotes,

Figura 1 Fluxograma Simplificado de Produção de Aço via Rota Integrada e Semi-integrada



Fonte: IABr (2011).

chapas, bobinas, fio-máquina, vergalhão e folhas metálicas, os quais são, posteriormente, utilizados por diversos setores consumidores, como o automotivo, a linha branca, a construção civil e naval.

Em termos gerais, o processo siderúrgico pode ser agrupado em quatro grandes etapas:

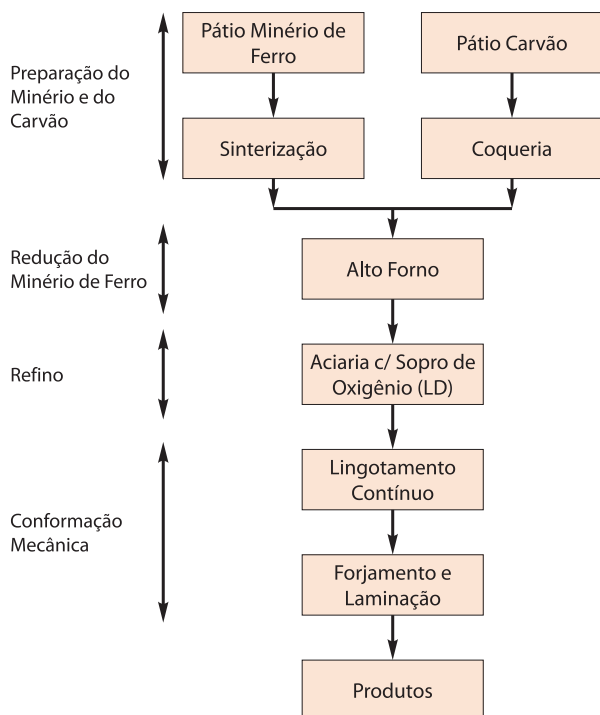
- Preparação do Minério de Ferro e do Carvão;
- Redução do Minério de Ferro;
- Refino;
- Conformação Mecânica.

Os fluxos de produção de usinas siderúrgicas, com as principais etapas, encontram-se apresentados na Figura 2 e na Figura 3.

A Figura 2 apresenta o processo em usinas integradas.

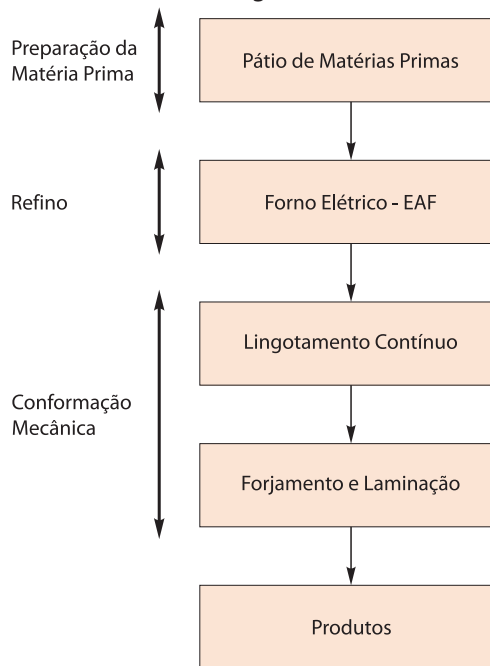
A Figura 3 apresenta o processo em usinas semi-integradas (EAF).

Figura 2 Usinas Integradas



Fonte: IABr (2011).

Figura 3 Usinas Semi-integradas (EAF)



Fonte: IABr (2011).

Apresenta-se, a seguir, uma breve descrição de cada etapa apresentada nas figuras anteriores:

2.3.1 Preparação do Minério de Ferro e do Carvão

Os finos de minério de ferro passam por um processo de aglomeração em plantas de sinterização ou pelletização, originando, respectivamente, o sinter ou as pelotas, que são posteriormente utilizados na carga do alto-forno.

O carvão mineral contém compostos voláteis indesejáveis ao processo de produção do aço. Para a retirada desses voláteis, o carvão é aquecido nos fornos da coqueria e após ter sido convertido em coque, é utilizado no alto-forno como redutor do minério de ferro.

A coqueificação gera o gás de coqueria que, posteriormente, é usado como combustível para aquecimento da própria coqueria, sendo ainda utilizado como insumo energético nos altos-fornos e fornos de reaquecimento e para a geração de energia elétrica. A partir do gás de coqueria, algumas usinas extraem alcatrão, óleo BTX, amônia, entre outros.

Para a produção do carvão vegetal, da mesma forma que o carvão mineral, a madeira passa por um processo de carbonização em fornos de alvenaria para a retirada de compostos indesejáveis.

2.3.2 Redução do Minério de Ferro

É nesta fase que se dá a remoção do oxigênio contido no óxido de ferro, através de um agente redutor: o coque, o carvão vegetal ou o gás natural, dependendo da rota utilizada. Essa remoção ocorre nos altos-fornos a coque ou carvão vegetal, dependendo do tipo de carvão empregado, ou nos fornos de redução direta, quando se utiliza o gás natural.

O produto resultante desta etapa é o ferro-gusa (liga de ferro e carbono), que ainda contém algumas impurezas que necessitam ser retiradas, tais como: fósforo, enxofre e sílica. No caso da redução direta, com gás natural, o produto resultante é o ferro esponja.

2.3.2.1 Altos-Fornos a Coque

Nos altos-fornos ocorre a redução do minério de ferro, por meio da gaseificação do coque, que age como agente redutor ao mesmo tempo em que fornece a energia necessária ao processo. Resulta dessa etapa, o ferro-gusa, carbono e manganês, além de pequenas quantidades de silício (Si), potássio (K) e enxofre (S). Há também a geração de subprodutos, tais como: escórias (óxidos de cálcio, silício e magnésio) e gás de alto-forno.

O gás de alto-forno, cujo poder calorífico pode ser reaproveitado, é empregado no pré-aquecimento do ar a ser injetado pelas ventaneiras do alto-forno e como combustível em outras etapas do processo.

Esse gás também pode ser utilizado para geração de energia elétrica através da conversão da energia física do gás com alta pressão utilizando uma turbina de expansão (Turbina de Topo).

No alto-forno também são utilizados outros

insumos energéticos auxiliares, tais como: óleos combustíveis, alcatrão e PCI (finos de carvão pulverizado).

2.3.2.2 Altos-fornos a Carvão Vegetal

A Figura 4 apresenta o processo siderúrgico a carvão vegetal. Nas usinas integradas que utilizam esta rota, há necessidade de uma planta de carbonização, que usa a lenha para obtenção do carvão vegetal.

Os altos-fornos que utilizam carvão vegetal têm menor capacidade de produção que aqueles que usam coque. O carvão vegetal é material bastante friável, esta característica limita sua utilização em altos fornos de grande porte, sendo pois uma desvantagem em termos de economia de escala.

2.3.3 Redução Direta

No processo de redução direta, os minérios de ferro empregados são a hematita e a magnetita. Esses óxidos metálicos sofrem redução no estado sólido e o produto desse processo é o ferro esponja. O ferro esponja é o minério de ferro do qual foi retirado, em grande parte, o oxigênio combinado.

Nessa rota alternativa, os redutores utilizados são o nitrogênio (N_2), o monóxido de carbono (CO), certas misturas desses dois gases e o carbono (C). A viabilidade desta rota depende da disponibilidade de gás natural e de seu preço.

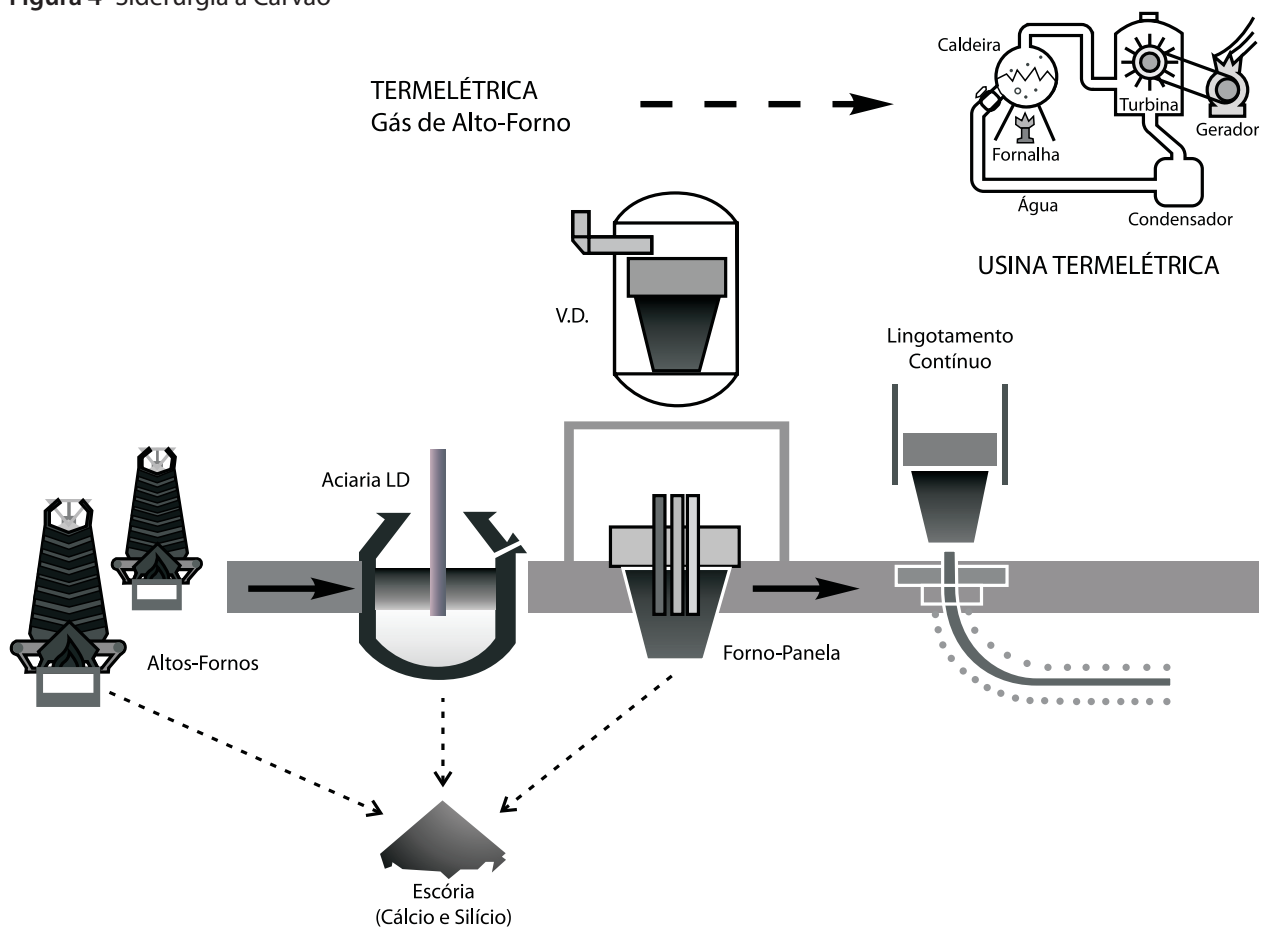
2.3.4 Refino

É nas aciarias que o ferro gusa é transformado em aço. As tecnologias de refino mais empregadas são os conversores a oxigênio *Basic Oxygen Furnace* (BOF), do qual o mais utilizado é o da tecnologia LD (*Linz-Donawitz*), e o arco elétrico (EAF).

No conversor LD, o ferro gusa é oxidado por um fluxo de oxigênio (O_2) que sai de uma lança diretamente sobre o banho metálico.

Nos fornos elétricos a arco, ocorre a fusão da sucata devido à formação de um arco

Figura 4 Siderurgia a Carvão



Fonte: V&M Tubes apud IABr (2011).

elétrico entre os eletrodos e a carga metálica. As plantas que utilizam esta rota prescindem da etapa de redução.

2.3.5 Conformação Mecânica

O aço produzido nas aciarias é encaminhado para máquinas de lingotamento contínuo, onde é cortado na forma de produtos semiacabados (placas ou tarugos).

Os produtos resultantes do lingotamento convencional ou contínuo são transformados, através da laminação, forjamento e outros processos mecânicos, em uma grande variedade de produtos tais como: bobinas, barras, chapas, vergalhões, fio-máquinas e perfis.

O aço líquido, depois de solidificado, precisa ser reaquecido em fornos para ser posteriormente laminado. O aquecimento é realizado em fornos de reaquecimento que podem

utilizar gases siderúrgicos, óleo combustível ou gás natural.

Na laminação, ocorre o processo de transformação mecânica que consiste na passagem do material metálico entre dois cilindros giratórios, com redução progressiva da espessura ou transformação do material no perfil desejado por efeito do esforço de compressão exercido pelos cilindros. Esta operação tem um consumo energético baixo, pois há apenas a conformação mecânica do produto.

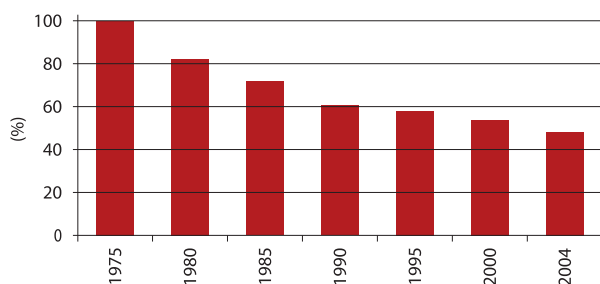
Os produtos laminados a frio são, geralmente, recozidos antes das etapas finais do processamento ou embarque.

Os fornos de recozimento são equipamentos que, normalmente, utilizam gases siderúrgicos (gás de coqueria e alto-forno), óleo combustível e gás natural como insumo energético.

2.4 Uso de Energia na Produção de Aço

A produção de aço faz uso intenso de energia. No entanto, as tecnologias de controle de processo garantem o seu uso eficiente e sua recuperação para posterior reutilização, sempre que possível. Melhorias em eficiência energética levaram a uma redução de cerca de 50% da energia necessária para produzir uma tonelada de aço bruto, de 1975 a 2004, conforme pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 Consumo Médio de Energia por Tonelada de Aço Bruto de 1975 a 2004 na América do Norte, União Europeia e Japão



Fonte: WSA apud IABr (2011).

2.5 Energia e Custos

O consumo de energia constitui parcela significativa do custo de produção de aço, de 20% a 40%, dependendo do país.

Portanto, a melhoria na eficiência energética leva a uma redução dos custos de produção e, conseqüentemente, melhoria da competitividade entre as empresas.

A eficiência energética em usinas siderúrgicas pode variar em função da rota de produção, do tipo de minério de ferro e do carvão utilizado, da mistura de produtos siderúrgicos produzidos, da tecnologia empregada, das condições de operação e da eficiência no consumo de matérias-primas.

Além das etapas de processo, a energia é também consumida nas etapas de mineração, preparação e transporte das matérias-primas, processos que consomem cerca de 8% da energia necessária para produzir aço.

Cerca de 95% da energia necessária para operação de uma usina siderúrgica integrada

é proveniente de combustíveis sólidos (principalmente carvão), 3 a 4% de combustíveis gasosos e 1 a 2% de combustíveis líquidos.

2.5.1 Medidas Adotadas pela Siderurgia para Melhorar a Eficiência Energética

Empresas siderúrgicas no Brasil e em outros países, já estão operando próximo aos menores níveis de emissões de CO₂ possíveis com a atual tecnologia. Ainda assim, a indústria do aço continua a atuar no sentido de reduzir as emissões de CO₂ resultantes de suas atividades. Algumas destas iniciativas estão descritas a seguir:

- Pesquisa e desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para reduzir significativamente os níveis das emissões de CO₂ na atmosfera - Com os esforços coordenados pela WSA, empresas siderúrgicas e associações siderúrgicas no mundo todo estão financiando pesquisas em cooperação com universidades, institutos de pesquisa e outras indústrias para identificar e desenvolver novas abordagens para a produção do aço e estocagem de CO₂. Os objetivos são ambiciosos, porém de longo prazo. Prevê-se que novas tecnologias estejam disponíveis somente daqui a 20 anos.

- Otimização e maximização da reciclagem da sucata de aço - O aço é o material mais reciclado no mundo, em quantidade. Porém, muito mais pode ser feito para maximizar a reciclagem do aço, principalmente aquele oriundo do pós consumo de bens intensivos em aço (automóveis, geladeiras, fogões, etc.). Isso depende da colaboração dos governos locais para coleta e segregação e incentivos econômicos.

- Agregação de valor aos subprodutos da indústria do aço - O uso dos subprodutos da indústria do aço como, a escória, pode economizar energia e reduzir as emissões de CO₂ em outros processos. A escória, que no passado era desperdiçada, agora é amplamente usada na indústria cimenteira reduzindo assim, consideravelmente, as emissões de CO₂ na produção de cimento. Além disso,

as escórias de aciaria, quando utilizadas na construção civil, possuem vantagens sobre matérias primas naturais como brita e argila.

– Inovação tecnológica que propicia nova geração de aços e melhora a eficiência energética dos produtos intensivos em aço - A indústria siderúrgica continua a desenvolver novos tipos de aço para diversas aplicações. Por exemplo, novos aços elétricos foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos motores elétricos. Da mesma forma, novos aços automotivos, de alta resistência, permitiram grandes reduções no peso dos carros, sem, no entanto, comprometer sua segurança. Novos produtos de aço continuam sendo desenvolvidos para aplicações que contribuem para redução total das emissões de CO₂.

2.6 A Ecoeficiência no Processo Siderúrgico

Os avanços tecnológicos incorporados ao parque produtor trouxeram aprimoramento à qualidade do aço e contribuíram expressivamente para a melhoria da ecoeficiência do setor.

Os novos processos produtivos destacam-se por minimizar a geração de efluentes e de emissões em cada linha de produção, ao mesmo tempo em que reduzem a demanda por recursos naturais não renováveis, como o minério de ferro, os combustíveis fósseis e a água.

A energia elétrica tem sensível repercussão na estrutura de custos do aço e, portanto, a autogeração e redução de consumo são indicadores de eficiência relevantes na operação das usinas.

A eficiência do uso de energia é objeto de continuada atenção e aprimoramento tecnológico, tais como: o lingotamento contínuo em substituição ao convencional, injeção de finos de carvão, aproveitamento dos gases, troca de combustíveis, pré-aquecimento de sucata e uso de gusa líquido nos fornos elétricos.

O consumo específico de energia reduziu de

0,594MWh.t⁻¹, em 1990, para 0,482MWh.t⁻¹, em 2006. Essa redução, tomando-se como base o ano de 2006, representou uma economia de 2.699.302MWh.

Há alguns processos e medidas ecoeficientes que vêm sendo adotados pelo setor:

– O consumo de óleo combustível no processo caiu de 18kg.t⁻¹ em 1990 para 4,3kg.t⁻¹ no ano de 2006;

– Os finos de carvão, anteriormente pouco utilizados, hoje contribuem progressivamente para redução do consumo de coque. Em 1996, empregavam-se 96kg de finos por tonelada de gusa, nível que se elevou, em 2006, para 115kg por tonelada.

2.7 Emissões de CO₂ no Processo Siderúrgico

A siderurgia usa o C para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (esse último no caso de usinas integradas). Posteriormente, uma fração desse carbono é incorporada aos produtos e a outra parte após a combustão é emitida na forma de CO₂.

Segundo o WSA apud IABr (2011), o processo de produção de ferro-gusa (coqueria, sinterização e alto-forno) utiliza de 60 a 70% do total da energia consumida em usinas integradas, devido, principalmente, ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro-gusa.

No processo siderúrgico, as outras fontes de C, além do carvão e do coque, podem ser o óleo diesel, o óleo combustível, o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou o gás natural.

As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução e, conseqüentemente, consomem C para fins de ajustes metalúrgicos e energéticos.

Segundo o WSA apud IABr (2011), o C consumido em usinas integradas é de 550kg.t_{aço bruto}⁻¹, enquanto que o consumo de C em usinas a forno elétrico a arco é de 130kg.t_{aço bruto}⁻¹, ou seja, 1/4 do C é consumido nas usinas integradas.

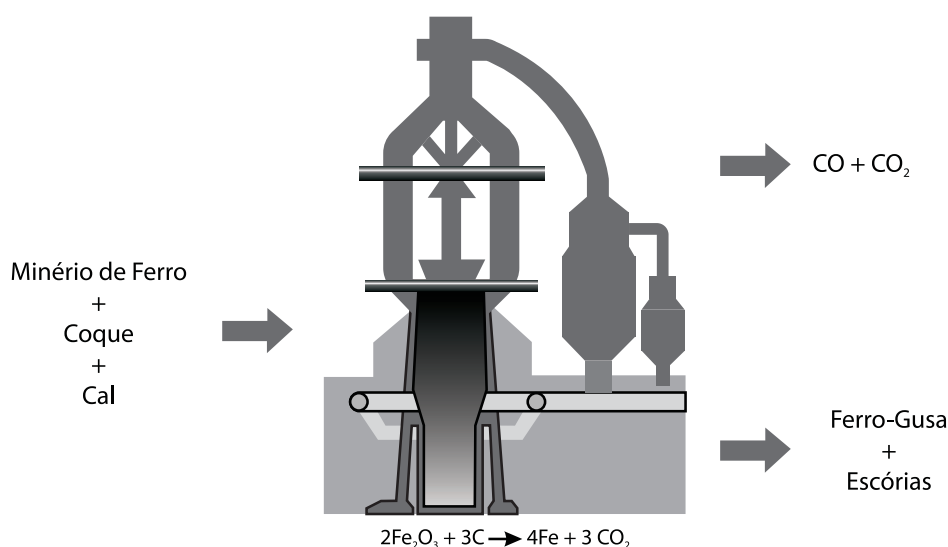
A maior parte das emissões de CO₂ em uma usina siderúrgica integrada resulta da produção de ferro-gusa no alto-forno, conforme a Figura 5.

O consumo energético das usinas siderúrgicas brasileiras é de aproximadamente 21GJ.t _{aço}⁻¹. Esse valor está próximo da média mundial e posiciona as usinas brasileiras no nível das usinas siderúrgicas da Europa e do Japão (IABr, 2009; WSA, 2008 apud IABr, 2011).

2.7.1 Gases Siderúrgicos (Subproduto)

Os gases produzidos nos fornos de coque (COG), no alto-forno (GAF) e na aciaria forno a oxigênio (BOF) *Linz-Donawitz Gas* (LDG) podem ser reutilizados em outras etapas do processo, substituindo combustíveis fósseis ou produzindo energia elétrica para uso interno ou externo. Eles fornecem grande parte da energia necessária para a produção de aço.

Figura 5 Emissões de CO₂ no Processo



Fonte: IABr (2011).

3 Método para a Estimativa de GEE na Produção de Aço

Para a realização do inventário das emissões de CO₂ da indústria do aço instalada no Estado de São Paulo, o Instituto Aço Brasil (IABr) constituiu um Grupo de Trabalho formado por representantes das usinas siderúrgicas localizadas no Estado. Utilizou-se o método desenvolvido pela WSA¹ denominada *Climate Change Emissions Calculation Tool* ou *GHG Tool*.

Inicialmente, estabeleceu-se os escopos aos quais as emissões de CO₂ estariam submetidas, conforme abaixo:

- Escopo 1: Emissões diretas de CO₂ decorrentes de fontes próprias ou controladas pelas empresas, incluindo emissões da queima de combustíveis e processos de fabricação;
- Escopo 2: Emissões decorrentes da geração de energia elétrica adquirida pela empresa;
- Escopo 3: Emissões indiretas decorrentes das atividades das empresas em relação à obtenção de matérias-primas ou transporte de produtos e serviços. O reporte desse escopo é opcional, pois se trata de emissões indiretas que consistirão em emissões diretas em outros inventários.

As emissões de Escopo 2 e 3 não foram consideradas neste levantamento para que se possa ter comparabilidade com o método do IPCC (2006).

Segundo o WSA apud IABr (2011), o método do WSA utilizado possui as seguintes características:

- a) Atendimento às necessidades do setor siderúrgico brasileiro no tocante à elaboração de um inventário representativo e que possa ser base para tomadas de decisões futuras;
- b) Possui, dentro de sua abrangência, os processos de produção de aço via rota integrada (coque e carvão vegetal), rota semi-integrada, e redução direta, contendo as suas principais unidades produtivas;
- c) O cálculo das emissões de CO₂ é realizado por um balanço de massa, baseado nos teores de C existentes entre as entradas (insumos e matérias-primas) e as saídas (produtos, emissões e resíduos);
- d) A escolha da alocação das emissões foi em 100% no local em questão, ou seja, não há transferência das emissões repassadas aos processos e indústrias subsequentes à siderurgia;
- e) Os teores de C de cada insumo considerado foram assumidos como aqueles apontados como *default* pela WSA, de acordo com a ferramenta *GHG Tool*;
- f) Uma vez que as emissões decorrentes do Escopo 3 não serão abordadas neste inventário, os créditos de carbono decorrentes de uso de resíduos do processo siderúrgico, tal como escória de alto-forno na produção de cimento, não serão contabilizados;
- g) O uso de carvão vegetal foi considerado como isento de emissões de CO₂ uma vez que o ciclo de sua produção possibilita o sequestro pelas florestas dos gases emitidos nas plantas industriais. Os procedimentos existentes no mundo que abordam os cálculos das emissões de CO₂ não fazem menção ao uso de biomassa e, especificamente, ao uso de carvão vegetal como fonte de energia. Não se vê, neste sentido, abordagem relacionada ao sequestro deste gás decorrente do manejo sustentável de florestas para a produção do carvão, variável esta imprescindível para a construção de balanços mássico e energético coerentes para o uso deste combustível. Torna-se, desta forma, necessário o estabelecimento de premissas

1 No subsetor metalúrgico foi empregado o método desenvolvido pela WSA. Esse método incorpora nas estimativas, parte das emissões de combustíveis, e essas serão descontadas do setor de energia para não ocorrer dupla contagem.

quanto ao uso da energia renovável no escopo do inventário;

h) O sequestro de CO₂ é classificado no inventário como Escopo 1, compensando as emissões industriais, independentemente da posse ou controle do setor florestal já que, no caso em que não há posse, são estabelecidos contratos de longo prazo com as empresas, o que garante a constante reposição desse recurso e a igualdade das velocidades de emissão e absorção (sequestro) de CO₂.

4 Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Aço

4.1 Fatores de Emissão de Carbono

Os fatores de emissão (FE) de C utilizados neste inventário foram os recomendados pela WSA e expressam a quantidade de C por unidade de massa do insumo. Na Tabela 3 encontra-se uma listagem dos principais insumos e seus respectivos FE.

Tabela 3 Tabela 3. Fatores de Emissão de Carbono na Indústria do Aço

Insumo	Fator de Emissão
	[t _C .GJ ⁻¹]
Gás de Coqueria	0,0120
Gás de Alto-Forno	0,0751
Gás de Aciação	0,0475
Carvão para Coqueria	0,8200
Carvão para PCI	0,8200
Antracito	0,8500
BTX	0,9130
Benzol	0,9231
Pó de Alto-Forno	0,3400
Lama de Alto-Forno	0,2450
Coque	0,8800
Coque Fino	0,8500
Óleo Diesel	0,7297
Dolomita	0,1304
Óleo Combustível	0,9130
Querosene	0,0201
Óleo Leve	0,8543
Calcário	0,1200
GLP	0,0170
Pelotas	0,0120
Coque de Petróleo	0,8500
Sucata de Aço	0,0035
Alcatrão	0,9250
Óleo Residual	0,8650

Fonte: WSA apud IABr (2011)

4.2 Produção de Aço no Estado de São Paulo

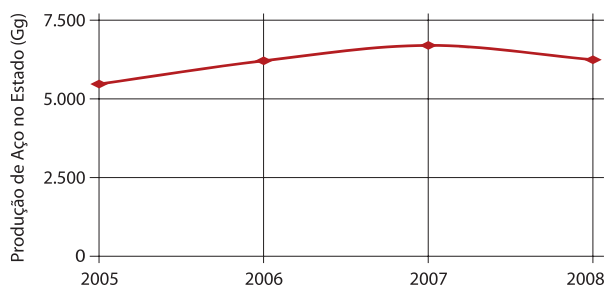
A Tabela 4 e o Gráfico 3 apresentam a produção de aço no período de 2005 a 2008.

Tabela 4 Produção de Aço e Sinter de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	São Paulo	
	Aço	Sinter
	[Gg]	
2005	5.650	5.130
2006	6.314	5.168
2007	6.753	5.878
2008	6.344	5.389

Fonte: IABr (2011)

Gráfico 3 Produção de Aço de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo



5 A Indústria do Alumínio

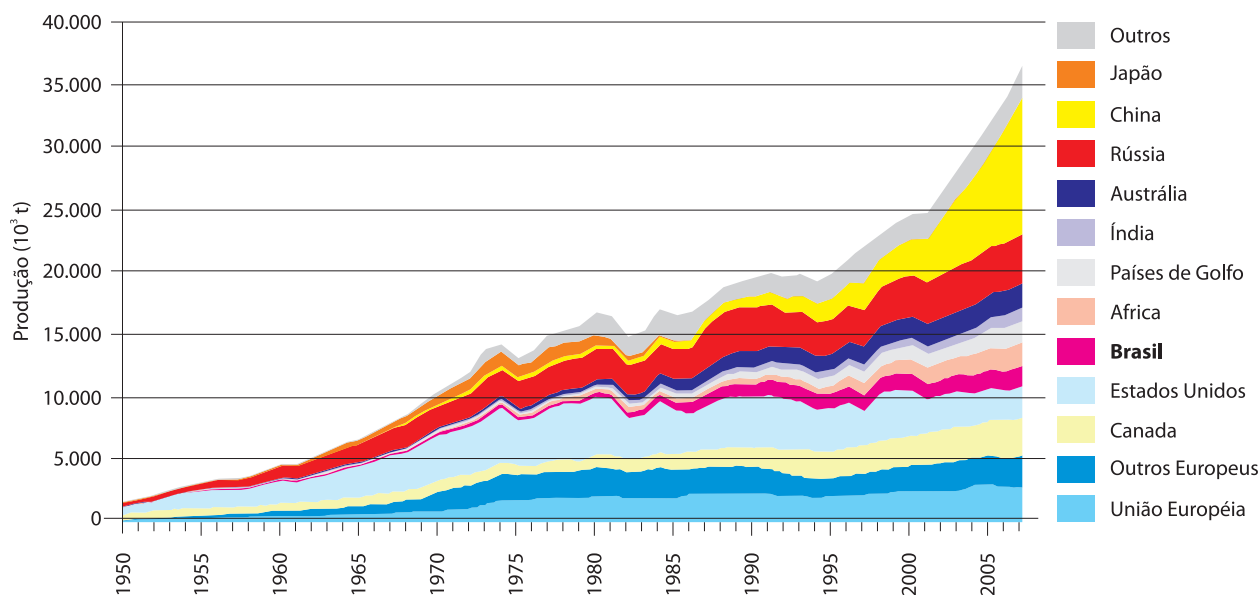
Segundo o Instituto Internacional do Alumínio (IAI, 2001), as indústrias de alumínio primário são consideradas as principais fontes de emissões de dois compostos de perfluorcarbono (PFC): o tetrafluoreto de metano (CF_4) e o hexafluoreto de etano (C_2F_6), os quais contribuem para o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento global. Esses compostos são gases com alto potencial de aquecimento global se comparados com o CO_2 .

Na operação de uma célula eletrolítica para a produção de alumínio, esses gases são produzidos durante um breve distúrbio das condições de operação da célula conhecido como efeito anódico (FUJIMOTO, 2007).

Segundo o IAI (2001), as indústrias de alumínio primário foram identificadas como uma das maiores fontes de emissões de GEE no que se refere aos gases PFCs. Conforme relatório apresentado pelo instituto (IAI, 2009), em um estudo sobre as tecnologias utilizadas nas indústrias a fim de comparar seu desempenho, verificou-se que as emissões globais de PFC representam, com base em 2008, cerca de 28 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Ainda conforme o IAI (2009), a produção de alumínio tem crescido sensivelmente nos últimos 20 anos.

O IAI (2009) considera que tal crescimento do metal alumínio se iniciou na década de 1950, devido ao seu uso na construção civil e, posteriormente, houve um interesse, na década de 1970, para uso na produção de latas de refrigerantes. A produção de alumínio também apresentou maior crescimento na década de 90, com a inserção de peças e produção de veículos e desde 95 com a emergente ascensão econômica da China e outros países como Índia e Brasil. O Gráfico 4 apresenta um histórico da produção de alumínio em alguns países.

Gráfico 4 Histórico da Produção de Alumínio por País

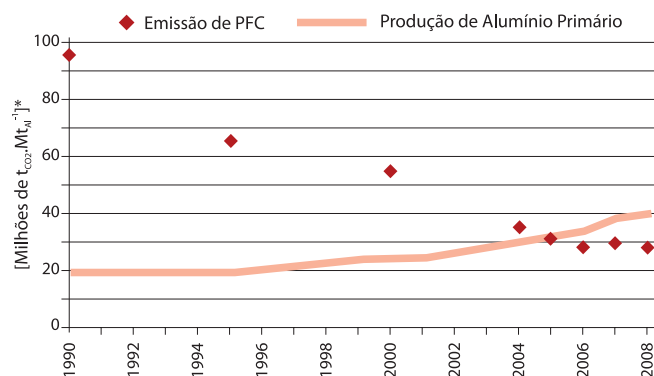


Fonte: IMT (2011)

A China foi o país que mais se destacou quanto à produção de alumínio primário durante essas décadas. Em 1990, a China representa 4% da produção mundial de 20 milhões (IAI, 2009). Em 2008, com a produção mundial de 40 milhões de toneladas de alumínio, a China representa 34% da produção. O Brasil duplicou sua produção nesse mesmo período e isso manteve sua participação global, ou seja, 5%.

Assim, com o crescimento da produção mundial de alumínio primário e com as novas indústrias sendo instaladas, melhores tecnologias vêm sendo utilizadas, visando melhores desempenhos na produção, considerando os impactos ambientais e sociais. O Gráfico 5 apresenta uma estimativa das emissões mundiais de PFCs, desde 1990 até 2008 (IAI, 2009). Observa-se que houve uma grande redução das emissões de PFCs nesse período.

Gráfico 5 Total de Emissões de PFC no Mundo



Fonte: IMT (2011)

5.1 Tecnologia da Indústria de Alumínio e Emissões de PFC

As tecnologias utilizadas atualmente são classificadas em cinco categorias, que se distinguem pelos tipos de ânodos utilizados e pela configuração de alimentação de

alumina, ambos os fatores importantes para as emissões de PFC. Tais categorias são diferenciadas no Quadro 1, a seguir:

A produção de alumínio no mundo, separado por suas categorias, se resume conforme a Tabela 5.

Quadro 1 Categorias de Tecnologias Empregadas na Indústria de Alumínio

Tecnologia	Simbologia	Tipo de Ânodo / Configuração de Instalação	Configuração de Alimentação de Alumina
Centre Worked Prebake	CWPB	Ânodo Pré-cozido / Vertical	Alimentação Central por Barra
Point Feed Prebake	PFPB	Ânodo Pré-cozido / Vertical	Alimentação Multi Pontos por Barra
Side Worked Prebake	SWPB	Ânodo Pré-cozido / Vertical	Alimentação Lateral das Células
Vertical Stud Söderberg	VSS	Cozimento em Situ / Vertical	Alimentação Lateral de Forma Manual ou Multi Pontos
Horizontal Stud Söderberg	HSS	Cozimento em Situ / Horizontal	Alimentação Lateral de Forma Manual, Barras ou Multi Pontos

Fonte: IAI (2009)

Tabela 5 Produção de Alumínio por Tecnologia Empregada

Simbologia	[1.000t]
CWPB	1.939
PFPB	31.472
SWPB	689
VSS	4.415
HSS	1.016
Total	3.950

Fonte: IAI (2009)

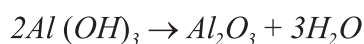
O processo de produção de alumínio metálico consiste na redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3), um óxido de alumínio de alta pureza presente em cerca de 40 a 60% da bauxita, o mais importante minério para a produção do alumínio.

Para a obtenção da alumina, faz-se necessário destacar dois processos imprescindíveis: o processo *Hall-Héroult* e o processo *Bayer*. No processo de *Hall-Héroult*, a bauxita é moldada e moída para misturar-se com o carvão (ou coque). Em seguida, eleva-se a temperatura (em torno de $1.000^\circ C$), de modo que, ao introduzir mais carvão, haja uma maior pureza das substâncias. A alumina obtida é tratada com água quente e ácido sulfúrico, liberando os possíveis óxidos de titânio (composto sólido branco), antes de ser refinada a alumínio metálico (ZIEGLER; KOZAREK, 1991).

O processo *Bayer* é o principal processo industrial de obtenção de alumina e é essencial ao processo de *Hall-Héroult* de produção de alumínio. A bauxita é lavada com uma solução quente de hidróxido de sódio (NaOH) a $250^\circ C$, quando se converte a bauxita em hidróxido de alumínio $Al(OH)_3$ (ZIEGLER; KOZAREK, 1991).

Os componentes não dissolvidos da bauxita são precipitados e considerados como impurezas sólidas (ZIEGLER; KOZAREK, 1991). Então, a solução de hidróxido é resfriada e o $Al(OH)_3$ dissolvido na forma de um precipitado branco. Ao ser aquecido (em torno de $1.000^\circ C$), por meio de uma reação de decomposição, o $Al(OH)_3$ forma a alumina e vapor d'água, segundo a equação a seguir:

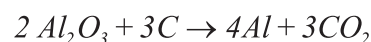
Equação 1 Reação de Decomposição da Bauxita de Hidróxido de Alumínio



No processo industrial, utiliza-se uma cuba eletrolítica na qual a alumina é dissolvida em um banho de criolita (Na_3AlF_6), um solvente do processo eletrolítico que apresenta baixo ponto de fusão, e, sais fundidos de fluoreto, que é reduzida à alumínio primário (ZIEGLER;

KOZAREK, 1991). Assim, a reação de redução pode ser descrita a seguir:

Equação 2 Redução do Metal Alumínio



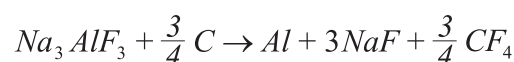
Entretanto, a produção só ocorre quando é introduzida uma corrente elétrica no banho da cuba eletrolítica através dos ânodos, atravessando o cátodo e novamente o ânodo da próxima cuba, formando um circuito em série entre as cubas. Essa corrente serve para que a alumina seja dissociada e o banho mantido a uma temperatura elevada (aproximadamente $1.000^\circ C$) (ZIEGLER; KOZAREK, 1991). Desse modo, a alumina é depositada no cátodo, como alumínio líquido.

Ainda no processo industrial, na produção comum de uma célula eletrolítica para a produção de alumínio, os gases PFCs são emitidos durante breves distúrbios das condições de operação da célula, conhecido como efeito anódico (ZIEGLER; KOZAREK, 1991).

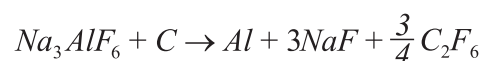
O efeito anódico ocorre quando a quantidade de alumina no banho eletrolítico está abaixo da taxa ideal para a produção de alumínio e resulta em uma sobrecarga na tensão elétrica. Quando essa deficiência ocorre, a diferença de potencial elétrico da célula aumenta do nível normal de 4,3V para 15 a 50V (ZIEGLER; KOZAREK, 1991).

O crescimento dessa diferença de potencial elétrico provoca outra reação eletroquímica na célula, que produz os dois compostos de PFC através da reação eletroquímica entre a criolita e o carbono dos ânodos. A reação pode ser visualizada na Equação 3 e Equação 4, a seguir.

Equação 3 Reação na Célula que Produz os Compostos CF_4

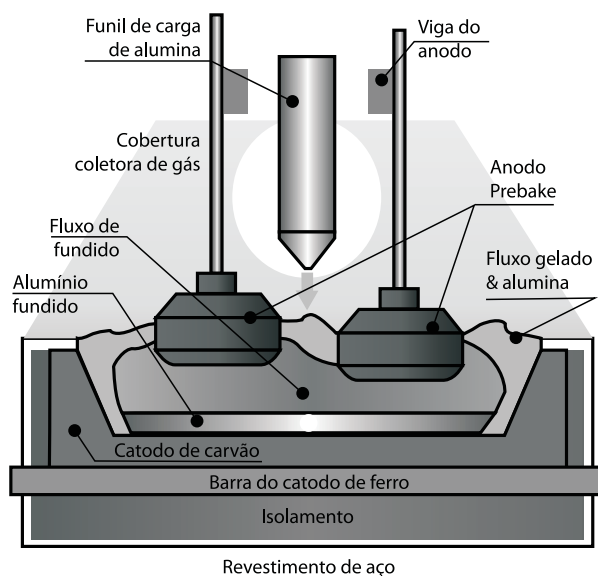


Equação 4 Reação na Célula que Produz os Compostos C_2F_6



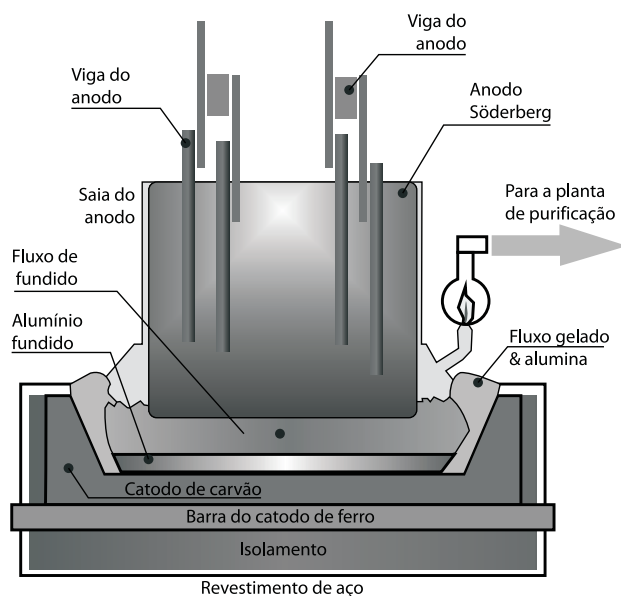
A Figura 6 e a Figura 7 ilustram os principais tipos de tecnologia para a redução de alumina para alumínio, a *Prebake*, uma tecnologia que utiliza a alimentação pontual de alumina e ânodos múltiplos nas células eletrolíticas e a *Söderberg* que é uma tecnologia que envolve um único ânodo contínuo em cada célula.

Figura 6 Tecnologia *Prebake*



Fonte: Fujimoto (2007)

Figura 7 Tecnologia *Söderberg*



Fonte: Fujimoto (2007)

5.2 Indústria de Alumínio no Brasil

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de alumínio primário, precedido pela China, Rússia, Canadá, Estados Unidos e Austrália. No total, são 46 países produtores de alumínio primário, conforme dados da *World Metal Statistics*. O Brasil detém a terceira maior jazida de bauxita do planeta, e é o quarto maior produtor de alumina.

No mercado brasileiro, a maior parte do alumínio e seus produtos são aplicados nos segmentos de embalagens e transporte, eletricidade, construção civil, bens de consumo, máquinas e equipamentos e outros. Segundo a Associação Brasileira do Alumínio: "a produção de semimanufaturados de alumínio no Brasil está concentrada na Região Sudeste. Os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro abrigam empresas produtoras de chapas, folhas, produtos extrudados e cabos. A indústria também está presente nos estados do Pará, Maranhão, Ceará, Pernambuco, Bahia, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul" (ABAL, 2010).

5.3 Indústria de Alumínio no Estado de São Paulo

Segundo o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT, 2011), a produção do alumínio primário no Estado de São Paulo se iniciou em 1955. As tecnologias utilizadas são *Söderberg*, *Elken* e *Montecatini*.

6 Método de Estimativa de Emissões

De acordo com o IPCC (2006) no processo de *Hall-Heroult*, duas emissões principais são passíveis de serem calculadas:

- Emissões de CO₂ oriundo do consumo do C dos ânodos;
- Emissões de PFCs produzidos durante o processo.

Outras emissões são monitoradas, como CO, SO₂ e VOCs que, segundo o IPCC (2006) não são consideradas nas estimativas.

6.1 Emissões de CO₂

A Equação 5, considera a tecnologia utilizada no Estado de São Paulo.

Equação 5 Emissão de CO₂ com o Consumo de Ânodo com *Tier 1*

$$E_{CO_2} = FE_P \cdot MP_P + FE_S \cdot MP_S$$

onde:

E_{CO_2}	Emissões de CO ₂ do consumo de ânodo	[t _{CO2}]
FE_P	Fator de Emissão específico para Tecnologia <i>Prebake</i>	[t _{CO2} ·t ⁻¹]
MP_P	Produção do Metal para processo <i>Prebake</i>	[t]
FE_S	Fator de Emissão específico para Tecnologia <i>Söderberg</i>	[t _{CO2} ·t ⁻¹]
MP_S	Produção do Metal para processo <i>Söderberg</i>	[t]

6.2 Emissões de PFC

Durante a eletrólise de redução de alumina para alumínio, a alumina é dissolvida em uma solução de íons com fluoreto. Essa solução é conhecida como criolita (Na₃AlF₆) e, durante o fenômeno anormal de produção chamado de efeito anódico. Esta, por sua vez, reage com o C do ânodo resultando compostos de PFCs: tetrafluorometano (CF₄) e hexafluoroetano (C₂F₆).

As Equações apresentadas a seguir, consideram a tecnologia utilizada no Estado de São Paulo.

Equação 6 Emissão de CF₄ no Processo, por *Tier 1*

$$E_{CF_4} = \sum_i (FE_{CF_4,i} \cdot MP_i)$$

onde:

E_{CF_4}	Emissões de CF ₄ da produção de alumínio	[kg _{CF4}]
$FE_{CF_4,i}$	Fator de Emissão default por célula e tecnologia tipo i para CF ₄	[kg _{CF4} ·t _{Al} ⁻¹]
MP_i	Produção do metal para processo por célula e tecnologia tipo i	[t _{Al}]

Equação 7 Emissão de C₂F₆ no Processo, por *Tier 1*

$$E_{C_2F_6} = \sum_i (FE_{C_2F_6,i} \cdot MP_i)$$

onde:

$E_{C_2F_6}$	Emissões de C ₂ F ₆ da produção de alumínio	[kg _{C2F6}]
$FE_{C_2F_6,i}$	Fator de emissão default por célula e tecnologia tipo i para C ₂ F ₆	[kg _{C2F6} ·t _{Al} ⁻¹]
MP_i	Produção do metal para processo por célula e tecnologia tipo i	[t _{Al}]

7 Dados para a Estimativa de GEE na Indústria do Alumínio

7.1 Produção

A produção de alumínio no Estado de São Paulo está apresentada na Tabela 6.

Observa-se, conforme apresentado na Tabela 6, que houve um crescimento de mais de 25% na produção entre 2005 e 2008.

Tabela 6 Produção de Alumínio de 2005 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produção de Al
	[t]
2005	370.368
2006	404.922
2007	450.872
2008	465.700

Fonte: ABAL (2005, 2007, 2010) apud IMT (2011)

7.2 Fatores de Emissão

Tomando-se como base os estudos apresentados no Segundo Inventário Nacional de Emissões de GEE (BRASIL, 2010), obtiveram-se FE relativos à tecnologia apresentada no Estado de São Paulo, ou seja, a rota tecnológica *Söderberg*. O GWP dos gases emitidos foi de 6.500 para o gás CF_4 e 9.200 para o gás C_2F_6 (IPCC, 2007).

8 Resultados

Em relação ao período de 2005 a 2008, a Tabela 7, apresenta os resultados das emissões de CO₂ e CO_{2eq} provenientes do processo da indústria metalúrgica no Estado de São Paulo.

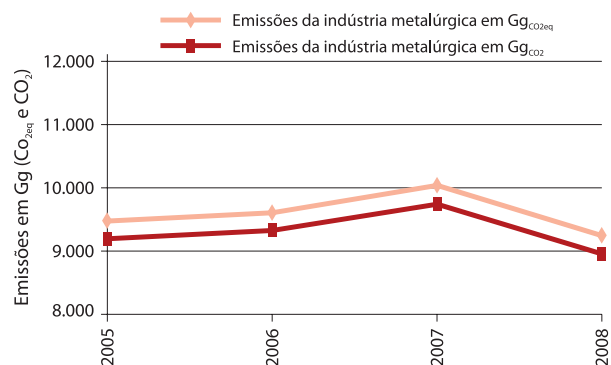
O Gráfico 6 apresenta as emissões de GEE da indústria metalúrgica no Estado de São Paulo.

Tabela 7 Emissões de CO₂ e CO_{2eq} da Indústria Metalúrgica no Estado de São Paulo de 2005 a 2008

Ano	Emissões	
	[Gg _{CO2}]	[Gg _{CO2eq}]*
2005	9.175	9.467
2006	9.306	9.595
2007	9.726	10.032
2008	8.935	9.233

* As emissões em CO_{2eq} incluem emissões de outros GEE não CO₂.

Gráfico 6 Emissões de GEE da Indústria Metalúrgica em CO_{2eq} e CO₂ de 2005 a 2008



Referências

- ABAL. **Anuário estatístico ABAL 2005**. São Paulo: ABAL, 2006.
- _____. **Anuário estatístico ABAL 2007**. São Paulo: ABAL, 2008.
- _____. **Dados estatísticos**. Disponível em: <www.abal.org.br>. Acesso em: 28 mar. 2010.
- BRASIL. MCT. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Produção de metais**. Brasília: MCT, 2010. Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais. (Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/330037/Processos_Industriais.html>. Acesso em: out. 2012.
- FUJIMOTO R. K. Desenvolvimento Sustentável: Oportunidades MDL na Indústria de Alumínio. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DO ALUMÍNIO, 2007, São Paulo. **Coletânea dos trabalhos...** São Paulo: ABAL, 2007, p. 47-60.
- IABr. **Inventário das emissões de CO₂ da indústria do aço no estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 2011. 32 p. Documento interno.
- _____. **Relatório de sustentabilidade 2009**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>>. Acesso em: jun. 2013.
- IAI. **Perfluorocarbon emissions reduction programme 1990-2000**. London: International Aluminium Institute, 2001. Disponível em: <https://unfccc.int/files/methods/other_methodological_issues/interactions_with_ozone_layer/application/pdf/pfc2000.pdf> Acesso em: jun. 2013.
- _____. **Report on the aluminium industry's global perfluorocarbon gases emissions reduction programme: Results of the 2008 Anode Effect Survey**. London: International Aluminium Institute, 2009. Disponível em: <http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/f10000300.pdf> Acesso em: jun. 2013.
- IMT. **Inventário das emissões no estado de São Paulo para o período de 1990 a 2008 na indústria do alumínio**. São Paulo, 2011. 26p. Documento interno.
- IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.
- _____. IPCC. **Mudança do Clima 1995: A Ciência da Mudança do Clima: Sumário para Formuladores de Políticas e Sumário Técnico do Relatório do Grupo de Trabalho I**. Traduzido pelo MCT. Brasília: MCT, 2000.
- ZIEGLER, D. P.; KOZAREK, R. L. Hall-héroult Cell Magnetics Measurements and Comparison with Calculations. In: TMS Annual Meeting 1991. **Light metals**, 1991, p. 381-391.
- WRI. **Calculating Greenhouse Gas Emissions from Iron and Steel Production**. [s.l.], 2008.



PARTE V

PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E BEBIDAS



PARTE V – Ficha Técnica

Coordenação

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Gabriela Pacheco Rotondaro – Consultora Técnica

Revisão Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboração

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Cleber Sabonaro

Daniel Soler Huet

Francisco do Espírito Santo Filho

Gisele dos Anjos Passareli

Ligia Prangutti Orlandi

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência foi realizado pela CETESB em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE V - PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E BEBIDAS	135
1 Introdução	141
1.1 Panorama Nacional e Estadual	141
2 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC	143
3 Dados	144
3.1 Produção de Alimentos (P_a)	144
3.2 Produção de Bebidas (P_b)	148
3.3 Fator de Emissão de Alimentos (FE_a)	150
3.4 Fator de Emissão de Bebidas (FE_b)	150
4 Resultados	151
5 Considerações Finais	155
Referências	156

TABELAS

Tabela 1	Produção Nacional e Estadual de Alimentos em 2005	141
Tabela 2	Produção Nacional e Estadual de Bebidas em 2005.....	141
Tabela 3	Estimativa dos Dados Primários para Produção de Alimentos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	148
Tabela 4	Dados Primários da Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	148
Tabela 5	Estimativa Complementar dos Dados Primários para a Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	150
Tabela 6	Fatores de Emissão default do IPCC para Produção de Alimentos.....	150
Tabela 7	Fatores de Emissão <i>default</i> do IPCC para Produção de Bebidas	150
Tabela 8	Estimativa das Emissões de NMVOC da Produção de Alimentos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	151
Tabela 9	Estimativas das Emissões Atmosféricas para a Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	152
Tabela 10	Estimativas das Emissões Atmosféricas para a Produção de Alimentos e Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	153

GRÁFICOS

Gráfico 1	Produção Nacional e Estadual de Alimentos em 2005.....	141
Gráfico 2	Relação entre a Produção Nacional e Estadual de Bebidas em 2005.....	142
Gráfico 3	Estimativa da Produção de Carne Bovina no Estado de São Paulo de 1990 a 2008.....	144
Gráfico 4	Estimativa da Produção de Carne Suína de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	145
Gráfico 5	Estimativa da Produção de Carne de Aves de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	145
Gráfico 6	Estimativa da Produção de Açúcar de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	146
Gráfico 7	Estimativa da Produção de Biscoitos, Cereais e Bolos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	146
Gráfico 8	Estimativa da Produção de Pães de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	147
Gráfico 9	Estimativa da Produção de Café Torrado de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	147
Gráfico 10	Estimativa da Produção de Cerveja de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	149
Gráfico 11	Estimativa da Produção de Destilado de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	149
Gráfico 12	Estimativas das Emissões de NMVOC da Produção de Alimentos com Exceção do Açúcar de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	151
Gráfico 13	Estimativas das Emissões de NMVOC da Produção de Açúcar no Estado de São Paulo	152
Gráfico 14	Estimativa de Emissões de NMVOC na Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	153
Gráfico 15	Emissões de NMVOC na Produção de Alimentos e Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ...	154

EQUAÇÕES

Equação 1 Emissão Atmosférica da Produção de Alimentos.....	143
Equação 2 Emissão Atmosférica da Produção de Bebidas.....	143
Equação 3 Produção de Carne Bovina no Estado de São Paulo.....	144
Equação 4 Produção de Carne Suína no Estado de São Paulo.....	145
Equação 5 Produção de Carne de Aves.....	145
Equação 6 Produção de Açúcar.....	146
Equação 7 Produção de Biscoitos, Cereais e Bolos.....	146
Equação 8 Produção de Pães.....	147
Equação 9 Produção de Café Torrado.....	147
Equação 10 Produção de Cerveja.....	149
Equação 11 Produção de Destilado.....	149

1 Introdução

Este documento apresenta um panorama do setor de produção de alimentos e bebidas no Estado de São Paulo, onde são estimadas as emissões atmosféricas de *Non Methanic Volatile Organic Compounds* (NMVOC) dos processos produtivos para o período 1990 a 2008. Para estimar as emissões atmosféricas da produção de alimentos e bebidas foi empregado o método do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1996). As estimativas das emissões atmosféricas de NMVOC para o ano de 2005 foram de 168 Gg.ano⁻¹ para alimentos e 83 Gg.ano⁻¹ para bebidas.

1.1 Panorama Nacional e Estadual

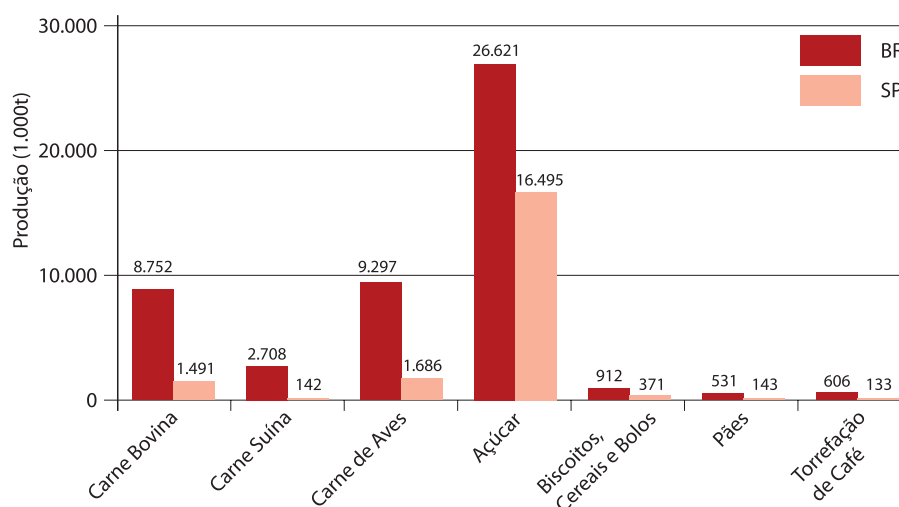
A Tabela 1 e o Gráfico 1 apresentam a produção nacional e estadual de alimentos no ano de 2005.

Tabela 1 Produção Nacional e Estadual de Alimentos em 2005

Produção em 2005	Carne Bovina	Carne Suína	Carne de Aves	Açúcar	Biscoitos, Cereais e Bolos	Pães	Torrefação de Café
	[1.000t]						
Brasil	8.752	2.708	9.297	26.621	912	531	606
São Paulo	1.491	142	1.686	16.495	371	143	133

Fonte: ABIA, IBGE, IEA-SP, UBABEF, CNPC, ABIPECS, ABIEC apud ABIA (2010)

Gráfico 1 Produção Nacional e Estadual de Alimentos em 2005



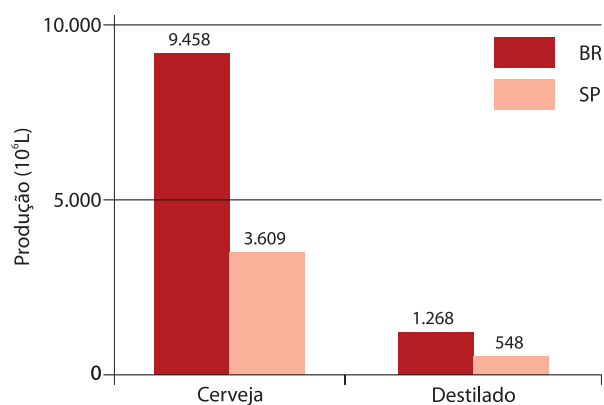
A Tabela 2 e o Gráfico 2 apresentam a produção nacional e estadual de bebidas no ano de 2005.

Tabela 2 Produção Nacional e Estadual de Bebidas em 2005

Produção em 2005	Cerveja	Destilado
	10 ⁶ L	
Brasil	9.458	1.268
São Paulo	3.609	548

Fonte: ABIA, IBGE, IEA-SP, UBABEF, CNPC, ABIPECS, ABIEC apud ABIA (2010)

Gráfico 2 Relação entre a Produção Nacional e Estadual de Bebidas em 2005



Fonte: ABIA, IBGE, IEA-SP, UBABEF, CNPC, ABIPECS, ABIEC apud ABIA (2010)

2 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC

Para se estimar a emissão anual de compostos orgânicos voláteis não metânicos, os NMVOCs (*non methanic volatile organic compounds*) da produção de alimentos, utiliza-se a Equação 1 abaixo (IPCC, 1996).

Equação 1 Emissão Atmosférica da Produção de Alimentos

$$E_a = (P_a \cdot FE_a) \cdot 10^{-6}$$

onde:

E_a	Emissão	[Gg.ano ⁻¹]
P_a	Produção de alimentos	[t.ano ⁻¹]
FE_a	Fator de emissão	[kg _{NMVOC} ·t _{alimento} ⁻¹]
a	Carnes, peixes, aves, açúcar, margarina, gorduras sólidas, biscoitos, cereais, bolos, pães, rações animais e torrefação de café	[adimensional]
10^{-6}	Conversão de kg para Gg	[Gg.kg ⁻¹]

Para se estimar a emissão anual de NMVOC da produção de bebidas utiliza-se a Equação 2 abaixo (IPCC, 1996).

Equação 2 Emissão Atmosférica da Produção de Bebidas

$$E_b = (P_b \cdot FE_b) \cdot 10^{-6}$$

onde:

E_b	Emissão	[Gg.ano ⁻¹]
P_b	Produção de bebida alcoólica	[hL.ano ⁻¹]
b	Vinho (branco e tinto), cerveja e destilados (cachaça)	[adimensional]
FE_b	Fator de emissão	[kg _{NMVOC} ·hL _{bebida} ⁻¹]
10^{-6}	Conversão de kg para Gg	[Gg.kg ⁻¹]

3 Dados

3.1 Produção de Alimentos (P_a)

Segundo o IPCC (1996), durante os processos de aquecimento, cozimento e fermentação dos alimentos há emissão de NMVOC.

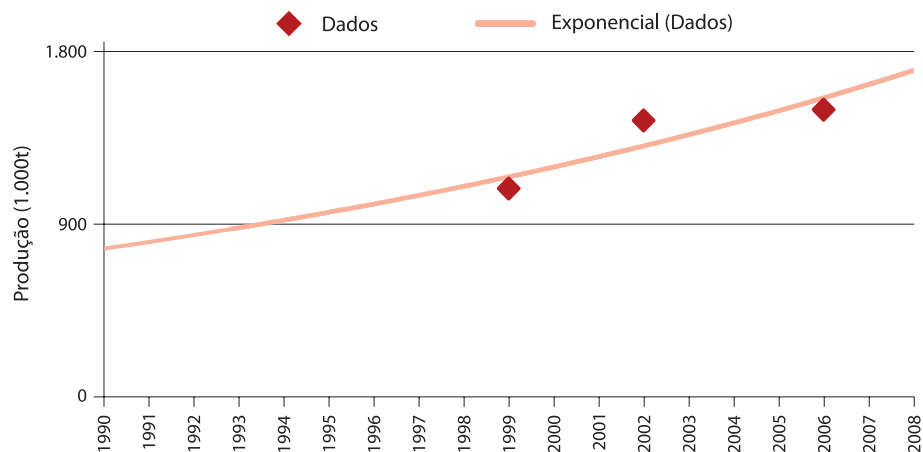
Os alimentos margarina, gordura sólida e ração animal, não foram estimados neste documento devido à ausência de dados. Alguns dados foram fornecidos pela ABIA (2010), porém, a maioria foi estimada por meio de regressões demonstradas nos gráficos e equações abaixo.

A Equação 3 e o Gráfico 3 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de carne bovina (P_b).

Equação 3 Produção de Carne Bovina no Estado de São Paulo

$$P_b = 1,23552929 \cdot 10^{(-35)} \cdot e^{0,0437335089 \cdot ano}$$

Gráfico 3 Estimativa da Produção de Carne Bovina no Estado de São Paulo de 1990 a 2008

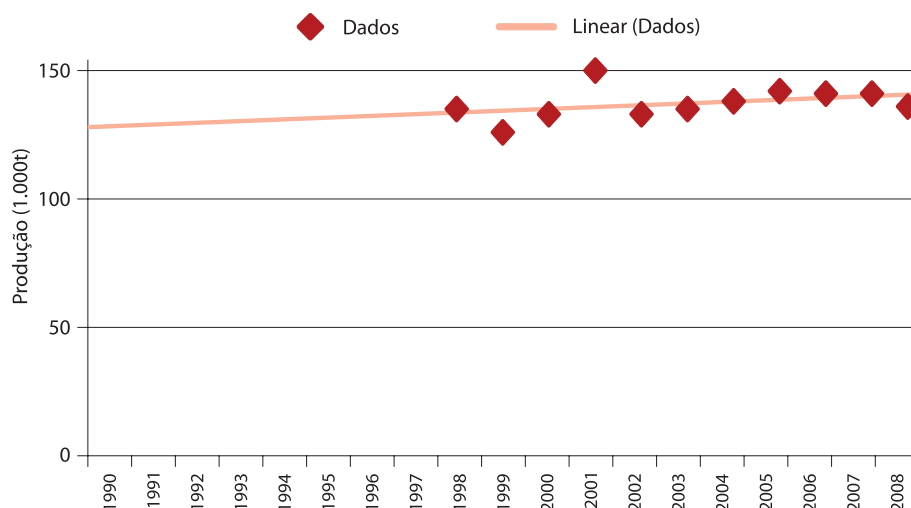


A Equação 4 e o Gráfico 4 apresentam o comportamento da equação linear que foi empregada para estimar as produções estaduais de carne suína (P_s).

Equação 4 Produção de Carne Suína no Estado de São Paulo

$$P_s = 0,70909091 \cdot \text{ano} - 1.283,03636364$$

Gráfico 4 Estimativa da Produção de Carne Suína de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

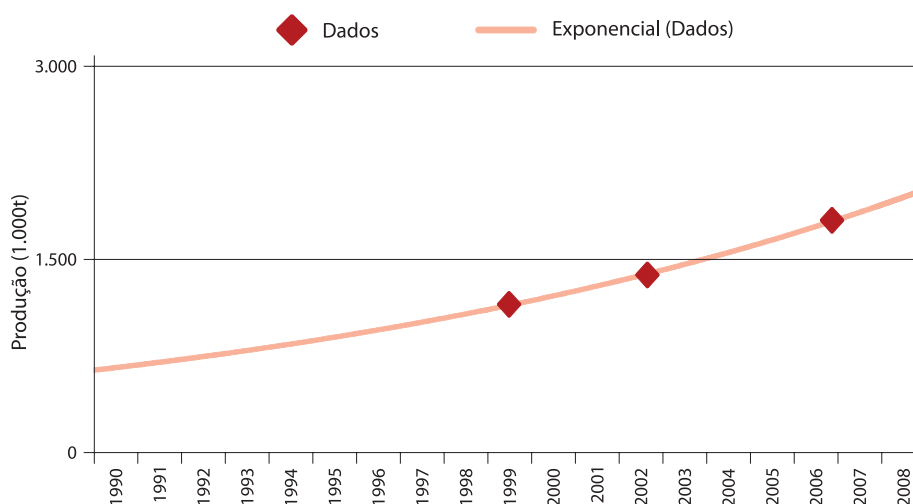


A Equação 5 e o Gráfico 5 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de carne de aves (P_{av}).

Equação 5 Produção de Carne de Aves

$$P_{av} = 2,56452969 \cdot 10^{(-53)} \cdot e^{0,06410257 \cdot \text{ano}}$$

Gráfico 5 Estimativa da Produção de Carne de Aves de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

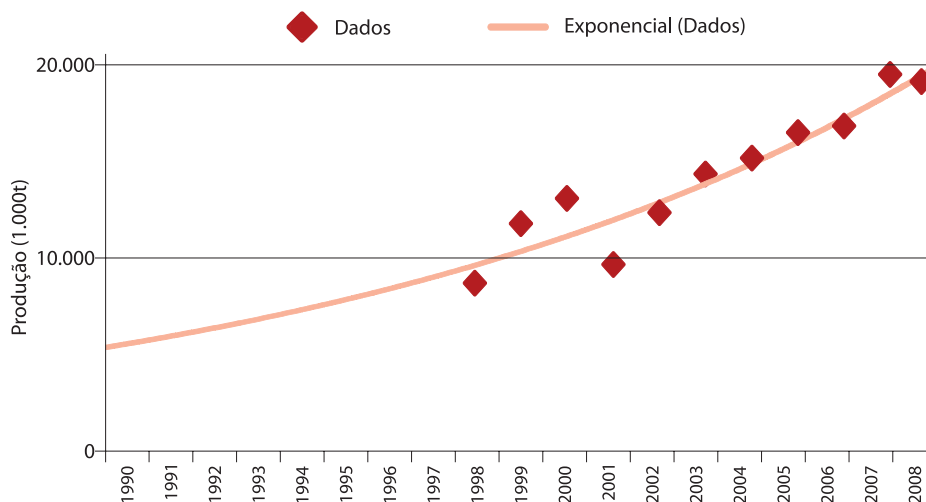


A Equação 6 e o Gráfico 6 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de açúcar (P_a).

Equação 6 Produção de Açúcar

$$P_a = 1,07719389 \cdot 10^{(-59)} \cdot e^{0,0725485863 \cdot \text{ano}}$$

Gráfico 6 Estimativa da Produção de Açúcar de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

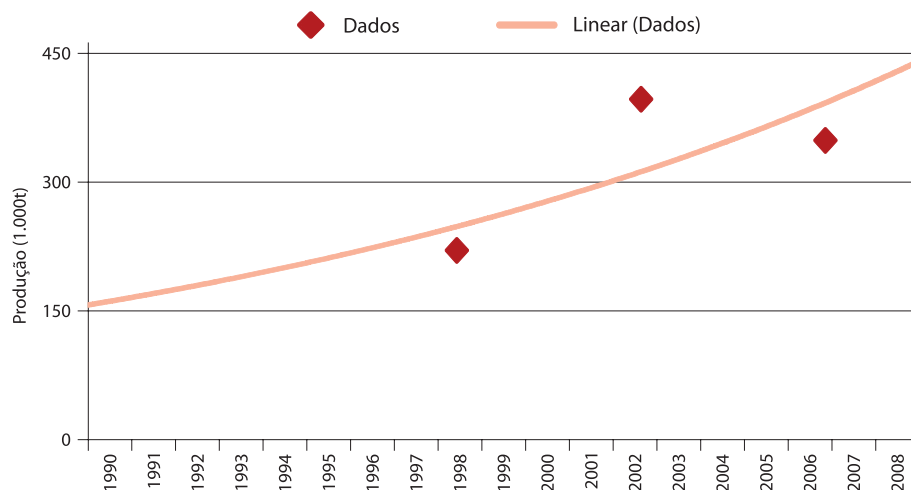


A Equação 7 e o Gráfico 7 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de biscoitos cereais e bolos (P_{bi}).

Equação 7 Produção de Biscoitos, Cereais e Bolos

$$P_{bi} = 6,87764036 \cdot 10^{(-48)} \cdot e^{0,05711365 \cdot \text{ano}}$$

Gráfico 7 Estimativa da Produção de Biscoitos, Cereais e Bolos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

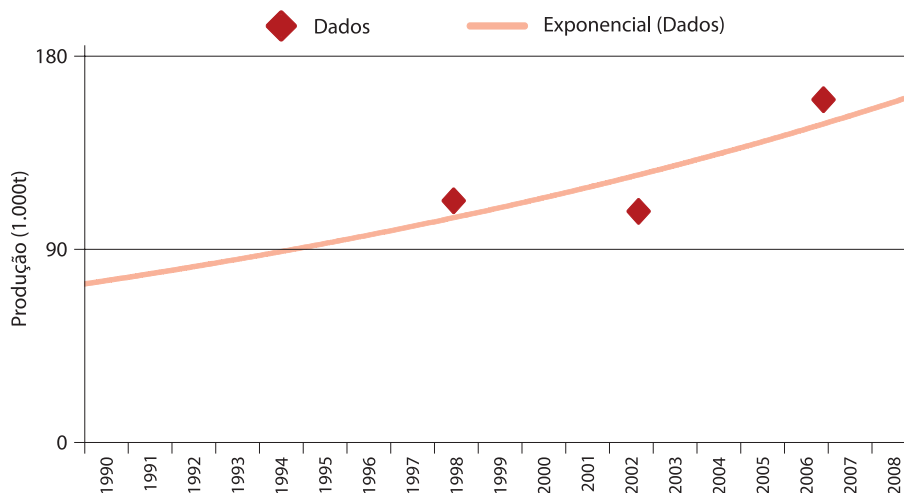


A Equação 8 e o Gráfico 8 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de pães (P_p).

Equação 8 Produção de Pães

$$P_p = 1,98943101^{(-36)} \cdot e^{0,04347325 \cdot \text{ano}}$$

Gráfico 8 Estimativa da Produção de Pães de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

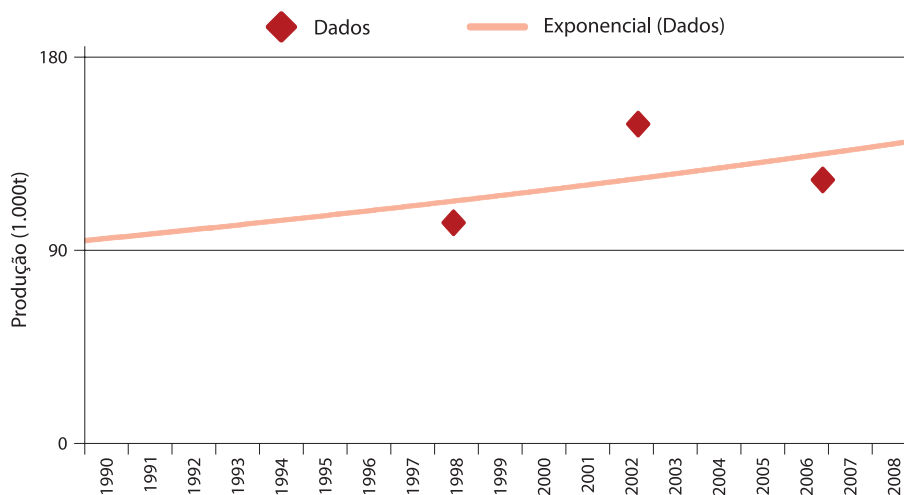


A Equação 9 e o Gráfico 9 apresentam o comportamento da equação exponencial que foi empregada para estimar as produções estaduais de café torrado (P_{ct}).

Equação 9 Produção de Café Torrado

$$P_{ct} = 6,39348346 \cdot 10^{(-18)} \cdot e^{0,02218192 \cdot \text{ano}}$$

Gráfico 9 Estimativa da Produção de Café Torrado de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



A Tabela 3, reproduz os dados da Tabela 1, dados primários e a estimativa complementar para o período de 1990 a 2008.

Tabela 3 Estimativa dos Dados Primários para Produção de Alimentos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Carne Bovina	Carne Suína	Carne de Aves	Açúcar	Biscoitos, Cereais e Bolos	Pães	Café Torrado
	[1.000t]						
1990	773	128	645	5.397	158	74	95
1991	808	129	687	5.803	167	77	97
1992	844	129	733	6.239	177	81	99
1993	882	130	781	6.709	187	85	101
1994	921	131	833	7.214	198	88	103
1995	962	132	888	7.756	210	92	106
1996	1.005	132	947	8.340	222	96	108
1997	1.050	133	1.010	8.968	235	101	111
1998	1.097	135*	1.077	8.705*	221*	113*	103*
1999	1.085*	126*	1.153*	11.788*	264	110	116
2000	1.198	133*	1.224	13.091*	279	115	118
2001	1.251	150*	1.305	9.675*	295	120	121
2002	1.439*	133*	1.381*	12.350*	397*	108*	149*
2003	1.365	135*	1.484	14.348*	331	131	126
2004	1.426	138*	1.582	15.172*	351	136	129
2005	1.490	142*	1.687	16.495*	371	142	132
2006	1.494*	141*	1.804*	16.834*	349*	160*	123*
2007	1.626	141*	1.917	19.503*	416	155	138
2008	1.699	136*	2.044	19.139*	441	162	141

*Dados fornecidos pela ABIA (2010)

Fontes: ABIA, IBGE, IEA-SP, UBABEF, CNPC, ABIPECS, ABIEC apud ABIA (2010)

3.2 Produção de Bebidas (P_b)

Segundo o IPCC (1996), durante a utilização de cereais e frutas no processo de fermentação das bebidas, há a emissão NMVOC.

Na Tabela 4 são apresentados os dados primários, fornecidos da ABIA (2010), para a produção estadual de bebidas no período de 1990 a 2008.

Tabela 4 Dados Primários da Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Cerveja	Destilado
	[hL]*	
1990	-	-
1991	-	-
1992	-	-
1993	-	-
1994	-	-
1995	-	-
1996	-	-
1997	-	-
1998	-	5.350.000
1999	24.030.000	-
2000	-	-
2001	-	-
2002	35.270.000	5.120.000
2003	-	-
2004	-	-
2005	-	-
2006	35.890.000	5.640.000
2007	-	-
2008	-	-

* 1 hectolitro (hL) equivale a 100 litros.

Fontes: ABIA, IBGE, IEA-SP, UBABEF, CNPC, ABIPECS, ABIEC apud ABIA (2010).

Os dados ausentes foram estimados por regressão, demonstrados nos gráficos e equações abaixo.

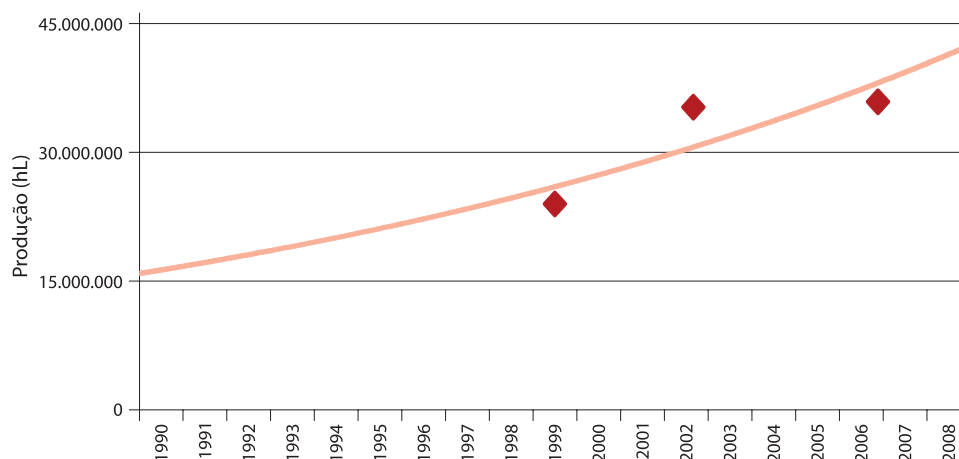
Equação 10 Produção de Cerveja

$$P_c = 1,51180E - 44e^{5,44098E-02 \cdot ano}$$

onde:

Pc	Produção de cerveja	[hL]
----	---------------------	------

Gráfico 10 Estimativa da Produção de Cerveja de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



Equação 11 Produção de Destilado

$$P_d = 3,66771 \cdot ano - 6.805,82052$$

onde:

Pd	Produção de destilado	[hL]
----	-----------------------	------

Gráfico 11 Estimativa da Produção de Destilado de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

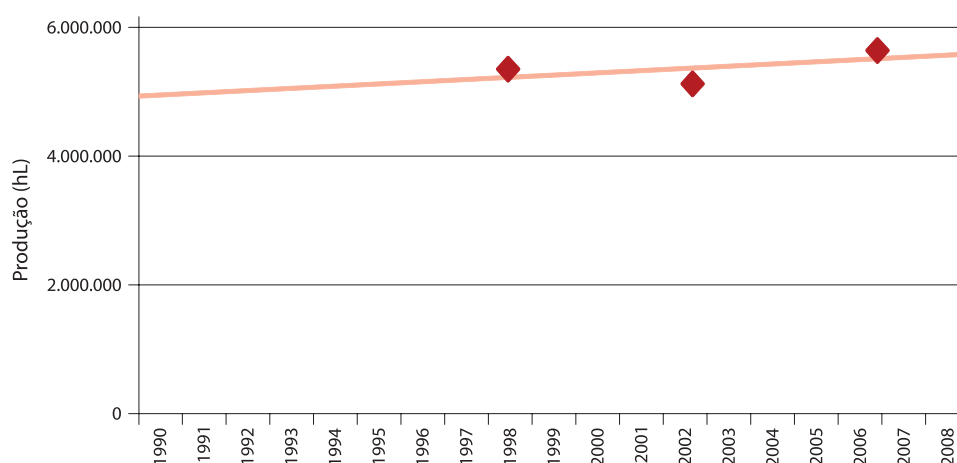


Tabela 5 Estimativa Complementar dos Dados Primários para a Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Cerveja	Destilado
	[hL]	
1990	15.949.612	4.935.000
1991	16.842.075	4.971.250
1992	17.784.475	5.007.500
1993	18.779.608	5.043.750
1994	19.830.424	5.080.000
1995	20.940.038	5.116.250
1996	22.111.741	5.152.500
1997	23.349.007	5.188.750
1998	24.655.504	5.350.000
1999	24.030.000	5.261.250
2000	27.491.905	5.297.500
2001	29.030.218	5.333.750
2002	35.270.000	5.120.000
2003	32.369.891	5.406.250
2004	34.181.153	5.442.500
2005	36.093.765	5.478.750
2006	35.890.000	5.640.000
2007	40.246.038	5.551.250
2008	42.498.011	5.587.500

A Tabela 5, a seguir, reproduz os dados da Tabela 4, dados primários e a estimativa complementar para o período de 1990 a 2008.

Tabela 6 Fatores de Emissão default do IPCC para Produção de Alimentos

Produção de Alimento	Fatores de Emissão
	$[\text{kg}_{\text{NMVOC}} \cdot \text{t}_{\text{alimento}}^{-1}]$
Carnes, Peixes e Aves	0,3
Açúcar	10
Margarina, Gorduras Sólidas	10
Biscoitos, Cereais e Bolos	1
Pães	8
Ração Animal	1
Torrefação de Café	0,55

Fonte: IPCC (1996)

3.3 Fator de Emissão de Alimentos (FE_a)

Segundo o IPCC (1996), para estimar a emissão anual de NMVOC, recomenda-se utilizar os fatores de emissão da Tabela 6.

3.4 Fator de Emissão de Bebidas (FE_b)

Segundo o IPCC (1996), para estimar a emissão anual de NMVOC, recomenda-se utilizar os fatores de emissão da Tabela 7.

Tabela 7 Fatores de Emissão default do IPCC para Produção de Bebidas

Bebidas	Fatores de Emissão
	$[\text{kg}_{\text{NMVOC}} \cdot \text{hL}_{\text{bebida}}^{-1}]$
Cerveja	0,035
Destilado	15

4 Resultados¹

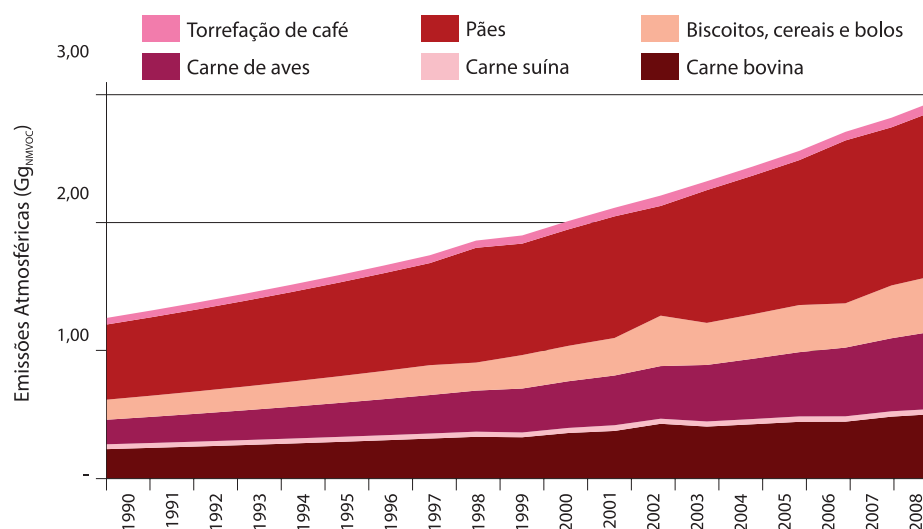
A Tabela 8, apresenta os resultados das emissões atmosféricas considerando, conforme a Tabela 3, os dados da produção de alimentos do Estado de São Paulo e *default* de fatores de emissão apresentados na Tabela 6 deste documento.

Tabela 8 Estimativa das Emissões de NMVOC da Produção de Alimentos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Carne Bovina	Carne Suína	Carne de Aves	Açúcar	Biscoitos, Cereais e Bolos	Pães	Torrefação de Café	Total
	[Gg _{NMVOC} .ano ⁻¹]							
1990	0,23	0,04	0,19	53,97	0,16	0,59	0,05	55,23
1991	0,24	0,04	0,21	58,03	0,17	0,62	0,05	59,35
1992	0,25	0,04	0,22	62,39	0,18	0,65	0,05	63,78
1993	0,26	0,04	0,23	67,09	0,19	0,68	0,06	68,54
1994	0,28	0,04	0,25	72,14	0,20	0,71	0,06	73,66
1995	0,29	0,04	0,27	77,56	0,21	0,74	0,06	79,16
1996	0,30	0,04	0,28	83,40	0,22	0,77	0,06	85,08
1997	0,32	0,04	0,30	89,68	0,24	0,80	0,06	91,43
1998	0,33	0,04	0,32	87,05	0,22	0,90	0,06	88,92
1999	0,33	0,04	0,35	117,88	0,26	0,88	0,06	119,79
2000	0,36	0,04	0,37	130,91	0,28	0,92	0,07	132,94
2001	0,38	0,05	0,39	96,75	0,30	0,96	0,07	98,89
2002	0,43	0,04	0,41	123,50	0,40	0,86	0,08	125,73
2003	0,41	0,04	0,45	143,48	0,33	1,04	0,07	145,82
2004	0,43	0,04	0,47	151,72	0,35	1,09	0,07	154,17
2005	0,45	0,04	0,51	164,95	0,37	1,14	0,07	167,53
2006	0,45	0,04	0,54	168,34	0,35	1,28	0,07	171,06
2007	0,49	0,04	0,58	195,03	0,42	1,24	0,08	197,87
2008	0,51	0,04	0,61	191,39	0,44	1,30	0,08	194,37

O Gráfico 12, apresenta o resultado das estimativas das emissões atmosféricas do período de 1990 a 2008 para a produção de alimentos no estado.

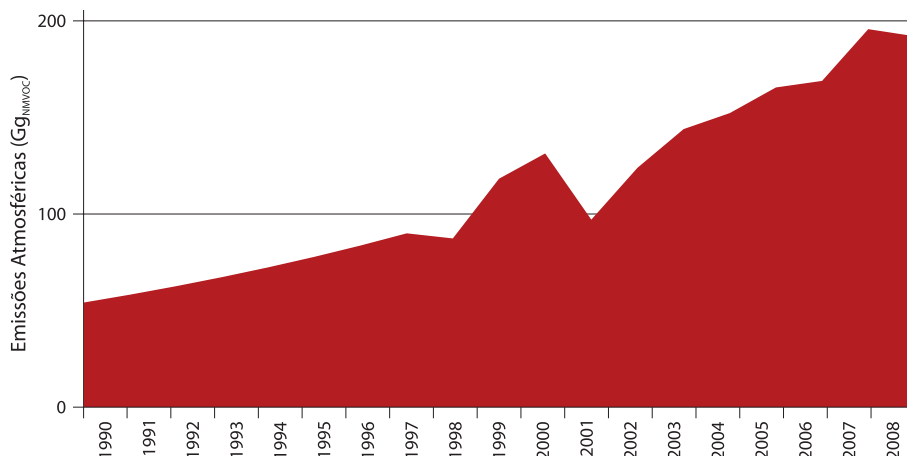
Gráfico 12 Estimativas das Emissões de NMVOC da Produção de Alimentos com Exceção do Açúcar de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



¹ Após revisão dos resultados ocorreram ajustes, e os resultados das emissões de NMVOCs na Produção de Alimentos e Bebidas presentes estão diferentes dos apresentados na Comunicação Estadual (CETESB, 2011).

As emissões atmosféricas da categoria açúcar de alimentos são superiores as demais categorias do Gráfico 12. Suas emissões estão apresentadas no Gráfico 13, abaixo.

Gráfico 13 Estimativas das Emissões de NMVOC da Produção de Açúcar no Estado de São Paulo



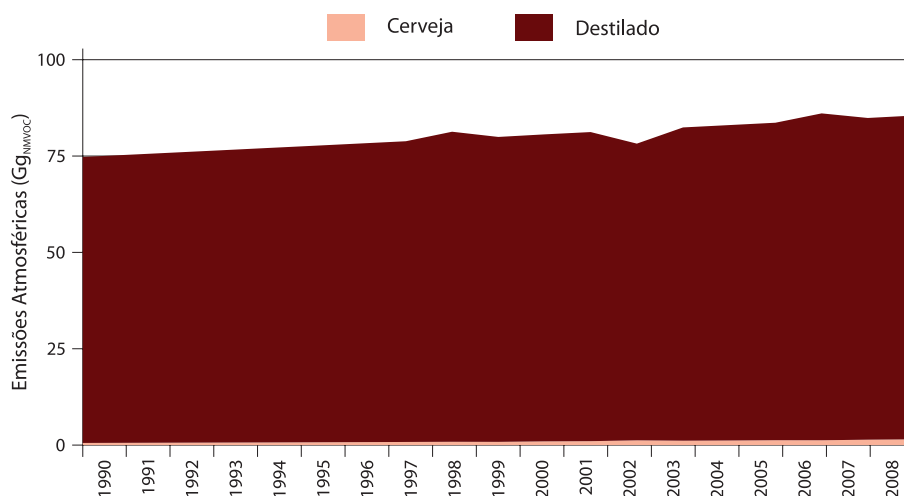
A Tabela 9, apresenta os resultados das emissões atmosféricas considerando, conforme a Tabela 5, os dados da produção de bebidas do Estado de São Paulo e *default* de fatores de emissão apresentados na Tabela 7 deste documento.

Tabela 9 Estimativas das Emissões Atmosféricas para a Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Cerveja	Destilado	Total
	[Gg _{NMVOC}]		
1990	0,6	74,0	74,6
1991	0,6	74,6	75,2
1992	0,6	75,1	75,7
1993	0,7	75,7	76,3
1994	0,7	76,2	76,9
1995	0,7	76,7	77,5
1996	0,8	77,3	78,1
1997	0,8	77,8	78,6
1998	0,9	80,3	81,1
1999	0,8	78,9	79,8
2000	1,0	79,5	80,4
2001	1,0	80,0	81,0
2002	1,2	76,8	78,0
2003	1,1	81,1	82,2
2004	1,2	81,6	82,8
2005	1,3	82,2	83,4
2006	1,3	84,6	85,9
2007	1,4	83,3	84,7
2008	1,5	83,8	85,3

O Gráfico 14 apresenta os resultados das estimativas das emissões de NMVOC do período de 1990 a 2008 para a produção de bebidas.

Gráfico 14 Estimativa de Emissões de NMVOC na Produção de Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



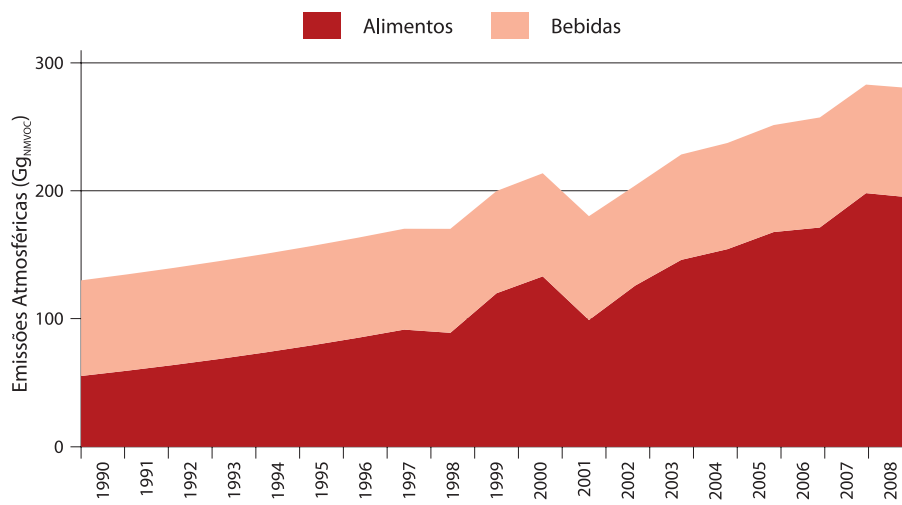
A Tabela 10 apresenta as emissões de NMVOC do subsetor de produção de alimentos e bebidas.

Tabela 10 Estimativas das Emissões Atmosféricas para a Produção de Alimentos e Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Alimentos	Bebidas	Total
	[Gg _{NMVOC}]		
1990	55,23	74,6	129,82
1991	59,35	75,2	134,51
1992	63,78	75,7	139,52
1993	68,54	76,3	144,86
1994	73,66	76,9	150,56
1995	79,16	77,5	156,64
1996	85,08	78,1	163,14
1997	91,43	78,6	170,08
1998	88,92	81,1	170,04
1999	119,79	79,8	199,55
2000	132,94	80,4	213,37
2001	98,89	81,0	179,91
2002	125,73	78,0	203,77
2003	145,82	82,2	228,05
2004	154,17	82,8	237,01
2005	167,53	83,4	250,97
2006	171,06	85,9	256,92
2007	197,87	84,7	282,55
2008	194,37	85,3	279,67

O Gráfico 15 apresenta as emissões de NMVOC do Subsetor de Produção de Alimentos e Bebidas

Gráfico 15 Emissões de NMVOC na Produção de Alimentos e Bebidas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



5 Considerações Finais

As estimativas das emissões atmosféricas desse documento não são de gases de efeito estufa. São poluentes convencionais que foram incluídos no método de inventário do IPCC (1996). Não foram considerados neste documento margarina, gorduras sólidas, ração animal e vinho, relacionados à produção de alimentos e bebidas no Estado de São Paulo, devido à ausência de dados.

Os dados usados nesse documento foram estimados por regressão linear para o período de 1990 a 2008. O método empregado deixa claro que o aumento das emissões atmosféricas de NMVOC está diretamente relacionado com o aumento da produção de alimentos e bebidas. A adoção de tecnologias menos poluidoras deve ser incentivada. Fatores de emissão locais devem ser desenvolvidos.

Referências

ABIA. **Evolução da produção de alimentos e bebidas selecionados - Brasil e estado de São Paulo**. [mensagem via e-mail] Mensagem enviada por <cleber@abia.org.br> em 07 out. 2010.

CETESB. **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**: comunicação estadual. 2.ed. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/inventario_estadual/sao_paulo/inventario_sp/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reporting instructions. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.



PARTE VI

PRODUÇÃO DE VIDRO

PARTE VI – Ficha Técnica

Coordenação

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Gabriela Pacheco Rotondaro – Consultora Técnica

Gisele dos Anjos Passareli

Revisão Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboração

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz

Francisco do Espírito Santo Filho

José Carlos Dallacqua

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Lucien Belmonte

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência foi realizado pela CETESB em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

PARTE VI - PRODUÇÃO DE VIDRO	157
1 Introdução	161
1.1 Panorama Nacional e Estadual	162
2 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC e CO₂	163
2.1 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC Segundo IPCC (1996)	163
2.2. Método para Estimativa de Emissão de CO ₂ Segundo IPCC (2006)	163
3 Dados	164
3.1 Produção de Vidro (P_v)	164
3.2 Fator de Emissão (FE_{NMVOC})	164
3.3 Fator de Emissão (FE_{CO_2})	164
3.3.1 Fator de Emissão da Produção de Vidro (FE_{vidro})	164
3.3.2 Razão de Caco de Vidro (RC)	164
4 Resultados	165
5 Considerações Finais	167
Referências	168

TABELAS

Tabela 1	Dados da Produção de Vidro de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	164
Tabela 2	Fatores de Emissão <i>Default</i> do IPCC 1996 para Produção de Vidro	164
Tabela 3	Fator de Emissão <i>Default</i> do IPCC 2006 para Produção de Vidro	164
Tabela 4	Estimativas das Emissões de NMVOC e CO ₂ de 1990 a 2008 na Produção de Vidro no Estado de São Paulo	165

GRÁFICOS

Gráfico 1	Componentes do Vidro	161
Gráfico 2	Relação entre a Produção Nacional e Estadual de Vidro em 2005.....	162
Gráfico 3	Estimativa de NMVOC na Produção de Vidro de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	165
Gráfico 4	Estimativa das emissões de CO ₂ de 1990 a 2008 na Produção de Vidro no Estado de São Paulo	166

EQUAÇÕES

Equação 1	Emissões de NMVOC da Produção de Vidro	163
Equação 2	Emissões de CO ₂ da Produção de Vidro	163
Equação 3	Fator de Emissão de CO ₂	163

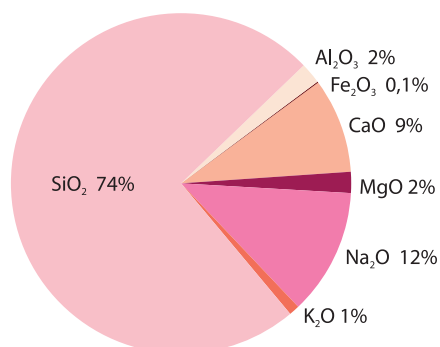
1 Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABRAVIDRO), o processo produtivo dominante na indústria vidreira é o *float*, ou vidro plano. As matérias-primas do vidro: sílica (areia), potássio, alumina, sódio (barrilha), magnésio e cálcio são misturadas com precisão e fundidas no forno. O vidro, fundido a aproximadamente 1.000°C é continuamente derramado num tanque de estanho liquefeito quimicamente controlado. A espessura é controlada pela velocidade da chapa de vidro que se solidifica à medida que continua avançando. Após o recozimento (resfriamento controlado), o processo termina com o vidro apresentando superfícies polidas e paralelas” (ABIVIDRO, 2010a).

Este documento apresenta um panorama do subsetor de produção de vidro no Estado de São Paulo, onde são estimadas as emissões de *Non Methanic Volatile Organic Compounds* (NMVOC) e dióxido de carbono (CO₂) do processo produtivo de vidro para o período 1990 a 2008. Nas estimativas foi empregado o método do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e os dados foram obtidos junto a ABRIVIDRO.

As principais matérias-primas do vidro que emitem CO₂ durante o processo de fusão são: o calcário (CaCO₃), a dolomita CaMg(CO₃)² e o carbonato de sódio (Na₂CO₃). Quando estes materiais são utilizados como fonte de carbonato na indústria de vidro, representam a produção de CO₂ e devem ser incluídos na estimativa das emissões (IPCC, 2006). O Gráfico 1 representa a composição do vidro.

Gráfico 1 Componentes do Vidro



Fonte: ABIVIDRO (2010a)

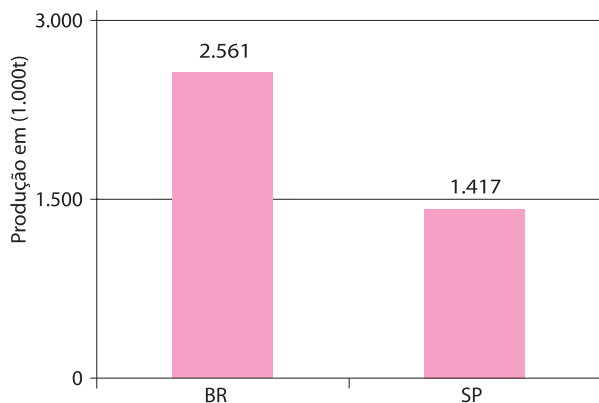
Existem três segmentos do produto vidro além dos vidros planos: os vidros ocos (ou de embalagem), os vidros especiais e os vidros domésticos. Uma das mais antigas e frequentes utilizações do vidro consiste na confecção de embalagens, como garrafas para bebidas, produtos de higiene pessoal, produtos farmacêuticos, frascos e potes de alimentos (ABIVIDRO, 2010a).

Este relatório apresenta as estimativas de emissões do subsetor de produção de vidro no Estado de São Paulo para o período 1990 a 2008.

1.1 Panorama Nacional e Estadual

O Gráfico 2 a seguir, demonstra uma relação entre a produção nacional e estadual de vidro no ano de 2005.

Gráfico 2 Relação entre a Produção Nacional e Estadual de Vidro em 2005



Fonte: ABIVIDRO (2010a); BRASIL (2010).

Como é possível observar, a produção estadual de vidro representa 55% da produção nacional, o que demonstra a relevância do Estado de São Paulo no segmento.

2 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC e CO₂

2.1 Método para Estimativa de Emissão de NMVOC Segundo IPCC (1996)

Para a estimativa das emissões, em Gg, de NMVOC pela produção de vidro, o IPCC (1996) recomenda utilizar a Equação 1.

Equação 1 Emissões de NMVOC da Produção de Vidro

$$E_{NMVOC} = P_v \cdot FE_{NMVOC} \cdot 10^{(-6)}$$

onde:

E	= Emissão de NMVOC	[Gg.ano ⁻¹]
P _v	= Produção de Vidro	[t.ano ⁻¹]
FE _{NMVOC}	= Fator de Emissão	[kg _{NMVOC} .t _{vidro} ⁻¹]
10 ⁻⁶	= Conversão de kg para Gg	[Gg.kg ⁻¹]

2.2. Método para Estimativa de Emissão de CO₂ Segundo IPCC (2006)

O IPCC (2006) traz três níveis de detalhamento das estimativas de emissões de CO₂, divididas em *Tier 1*, 2 e 3, conforme a disponibilidade de dados.

Neste relatório foi empregado o *Tier 1*, representado pela Equação 2, que deve ser utilizado quando não houver dados disponíveis sobre o processo de produção do vidro e sobre os carbonatos utilizados na fabricação. Para o *Tier 1* aplica-se um FE *default* e uma razão estatística dos cacos de vidro utilizados em âmbito nacional.

Equação 2 Emissões de CO₂ da Produção de Vidro

$$E_{CO_2} = P_v \cdot FE_{CO_2} (1 - RC) \cdot 10^{-3}$$

onde:

E _{CO₂}	= Emissões de CO ₂	[Gg _{CO₂} .ano ⁻¹]
P _v	= Produção de vidro	[t _{vidro} .ano ⁻¹]
FE _{CO₂}	= Fator de emissão de CO ₂	[t _{CO₂} .t _{vidro} ⁻¹]
RC	= Razão de cacos de vidro utilizados no processo	[adimensional]

O FE de CO₂ pode ser calculado conforme a Equação 3.

Equação 3 Fator de Emissão de CO₂

$$FE_{CO_2} = FE_{vidro} \cdot (1 - RC)$$

onde:

FE	= Fator de emissão de CO ₂	[t _{CO₂} .t _{vidro} ⁻¹]
FE _{vidro}	= Fator de emissão default	[t _{CO₂} .t _{vidro} ⁻¹]
RC	= Razão de caco de vidro utilizado no processo	[adimensional]

3 Dados

3.1 Produção de Vidro (P_v)

Segundo a ABIVIDRO (2010a), o vidro é o resultado da composição fundida e transformada no forno de fusão ou simplesmente forno. A Tabela 1 apresenta os dados da produção estadual de vidro para o período de 1990 a 2008.

Tabela 1 Dados da Produção de Vidro de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produção
	[t]
1990	408.105
1991	564.470
1992	651.526
1993	863.875
1994	886.954
1995	1.029.771
1996	1.081.227
1997	1.248.140
1998	1.180.411
1999	1.246.086
2000	1.310.239
2001	1.283.763
2002	1.323.313
2003	1.399.328
2004	1.385.825
2005	1.417.147
2006	1.382.986
2007	1.432.116
2008	1.410.192

Fonte: ABIVIDRO (2010b)

3.2 Fator de Emissão (FE_{NMVOC})

Segundo o IPCC (1996), para estimar a emissão anual de NMVOC, recomenda-se utilizar os FEs da Tabela 2, abaixo.

Tabela 2. Fatores de Emissão *Default* do IPCC 1996 para Produção de Vidro

Tipo de Vidro	Fatores de Emissão
	[$kg_{NMVOC} \cdot t_{vidro}^{-1}$]
Vidro Embalagem	4,5
Vidro Plano	4,5

Fonte: IPCC (1996).

3.3 Fator de Emissão (FE_{CO_2})

O FE para o *Tier 1* é baseado em uma mistura de matérias-primas, a partir dos dados de produção estadual de vidro (P_v). Tipicamente, a soda-cal é constituída de areia (56,3% em peso), feldspato (5,3%), dolomita (9,8%), calcário (8,6%) e carbonato de sódio (20,0%). Com base nesta composição, uma tonelada de matéria-prima tem cerca de 16,7% do seu peso, constituída por elementos voláteis, representados quase inteiramente pelo CO_2 , e por cerca de 83,3% toneladas de vidro. Portanto, recomenda-se utilizar o fator de emissão da Tabela 3 ou a Equação 3, quando, na produção, houver utilização de cacos de vidro junto à matéria-prima.

3.3.1 Fator de Emissão da Produção de Vidro (FE_{vidro})

A Tabela 3 apresenta o *default* para a produção de vidro.

Tabela 3. Fator de Emissão *Default* do IPCC 2006 para Produção de Vidro

Tipo de Vidro	Fator de Emissão
	[$t_{CO_2} \cdot t_{vidro}^{-1}$]
Vidro	0,20

Fonte: IPCC (2006)

3.3.2 Razão de Caco de Vidro (RC)

Segundo o IPCC (2006), a razão de caco de vidro se refere à fração de cacos de vidro coprocessados juntamente à matéria-prima para a produção de vidro. Assim, quanto mais cacos de vidro aproveitados no processo, menor o FE. Na ausência desse dado, foi adotado um valor *default* para a razão de caco de 0,50.

4 Resultados

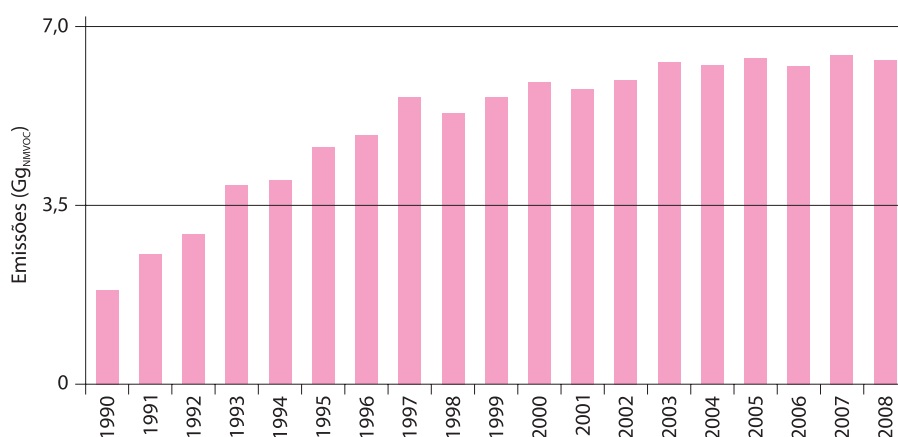
A Tabela 4, apresenta os resultados das emissões de NMVOC e CO₂, considerando a Tabela 1, que apresenta os dados da produção de vidro do Estado de São Paulo, os fatores de emissão apresentados na Tabela 2 para o cálculo de NMVOC e o FE do CO₂, apresentado na Equação 3.

Tabela 2 Estimativas das Emissões de NMVOC e CO₂ de 1990 a 2008 na Produção de Vidro no Estado de São Paulo

Ano	NMVOC	CO ₂
	[Gg.ano ⁻¹]	[Gg _{CO2} .ano ⁻¹]
1990	1,84	41
1991	2,54	56
1992	2,93	65
1993	3,89	86
1994	3,99	89
1995	4,63	103
1996	4,87	108
1997	5,62	125
1998	5,31	118
1999	5,61	125
2000	5,90	131
2001	5,78	128
2002	5,95	132
2003	6,30	140
2004	6,24	139
2005	6,38	142
2006	6,22	138
2007	6,44	143
2008	6,35	141

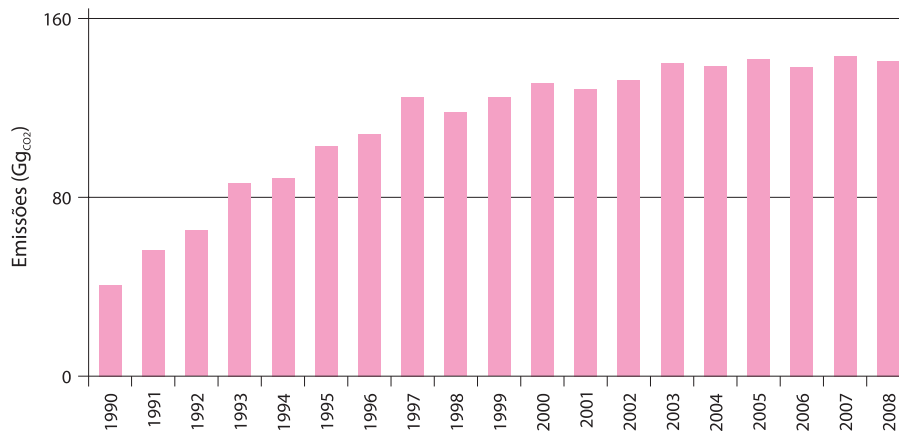
O Gráfico 3 abaixo, apresenta o resultado das estimativas de NMVOC na produção de vidro no período de 1990 a 2008.

Gráfico 3 Estimativa de NMVOC na Produção de Vidro de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 4 abaixo, apresenta o resultado das estimativas das emissões de CO₂ na produção de vidro no período de 1990 a 2008.

Gráfico 4 Estimativa das emissões de CO₂ de 1990 a 2008 na Produção de Vidro no Estado de São Paulo



As emissões de NMVOC e CO₂ sofreram, em 2008, aumento de 71% em relação às emissões de 1990. As emissões atmosféricas em 2005 de NMVOC foram estimadas em 6,38 Gg.ano⁻¹. As emissões de dióxido de carbono (CO₂) foram de 142 Gg.ano⁻¹ em 2005, e em 2008 ocorreu uma diminuição de 0,7% em relação a 2005.

5 Considerações Finais

Os NMVOCs são poluentes atmosféricos que foram incluídos no método de inventário do IPCC (1996).

No que diz respeito às emissões de CO₂ decorrentes da produção de vidro, o IPCC (2006) passou a apresentar um método para sua estimativa, inexistente nos métodos anteriores.

Os métodos empregados deixam claro que o aumento das emissões de NMVOC e de CO₂ está diretamente relacionado com o aumento da produção de vidro. Nos dados estaduais, verificou-se uma variação de 71% tanto na produção quanto nas emissões, comparando os anos de 1990 e 2008. A disponibilidade de dados mais específicos sobre o tipo de processo e as matérias-primas permitiria a avaliação de possíveis ganhos de eficiência obtidos pelo setor neste período. Na sua ausência, trabalhou-se com a premissa de que a proporção entre produção e emissão se manteve constante.

A adoção de tecnologias menos poluidoras deve ser incentivada. Fatores de emissão locais devem ser desenvolvidos.

Referências

ABIVIDRO. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br>>. Acesso em: 03 nov. 2010a.

ABIVIDRO. **Emissões de GEE ABIVIDRO**. [mensagem via e-mail] Mensagem enviada por <abcomex@abividro.org.br> em 08 out. 2010b.

BRASIL. MCT. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais: produtos minerais - parte II: produção de cal, outros usos do calcário e dolomita, produção e uso de barrilha**. Brasília, DF, 2010. (Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219294.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.

The image shows a vast industrial complex under a clear blue sky with scattered white clouds. Several tall, cylindrical towers are visible, some with blue and white horizontal bands. A dense network of pipes, walkways, and ladders surrounds the towers. In the foreground, there are more complex structures, including what appear to be large rollers or processing units, with yellow safety railings. The overall scene is one of a large-scale manufacturing plant.

PARTE VII

PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE

PARTE VII – Ficha Técnica

Coordenação

João Wagner Silva Alves

Elaboração

Gabriela Pacheco Rotondaro – Consultora Técnica

Revisão Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboração

Afonso Moraes de Moura

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefan Iost

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz

Francisco do Espírito Santo Filho

Gisele dos Anjos Passareli

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Pedro Vilas Boas

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Viviane Nunes

Esse Relatório de Referência foi realizado pela CETESB em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE VII- PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE	169
1 Introdução.....	173
2 Processo de Preparação da Pasta Celulósica.....	175
3 Método para a Estimativa de Emissões de Óxido de Nitrogênio (NO _x), Compostos NMVOC e CO.....	176
4. Dados.....	177
4.1 Fatores de Emissão (FE).....	178
5 Resultados.....	179
6 Considerações Finais	180
Referências	181

TABELAS

Tabela 1	Distribuição da Produção de Pasta de Celulose em 2007 e 2008 no Brasil	173
Tabela 2	Estimativa da Produção de Celulose (Sulfato) de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	177
Tabela 3	Fatores de Emissão do Processo Sulfato tipo <i>Kraft</i>	178
Tabela 4	Emissões Atmosféricas da Produção de 1990 a 2008 de Celulose no Estado de São Paulo	179

GRÁFICOS

Gráfico 1	Participação Regional na Produção Brasileira de Papel em 2008	173
Gráfico 2	Distribuição da Produção de Pasta de Celulose em 2007 e 2008 no Brasil	174
Gráfico 3	Produção de Pasta Celulósica de 1990 a 2008 no Brasil e no Estado de São Paulo	177
Gráfico 4	Emissões Atmosféricas da Produção de Celulose de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	179

EQUAÇÃO

Equação 1	Emissão de Poluentes	176
-----------	----------------------------	-----

1 Introdução

A produção de papel e pasta de celulose possui três fases principais: a polpação, o branqueamento e a produção de papel. O tipo de polpação e a quantidade de branqueamento usada dependem da natureza da matéria-prima e da qualidade desejada do produto final. A polpação sulfito é um processo químico. Ele produz um papel fraco em relação a outros tipos de polpação, no entanto a polpa fica menos colorida, reduzindo a quantidade de branqueamento e tornando-o mais adequado à impressão (IPCC, 1996).

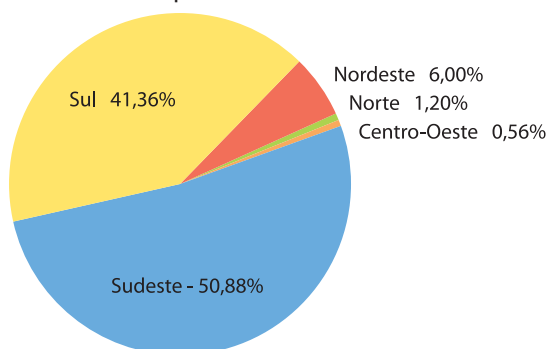
A polpação do tipo *kraft* (sulfato) é o processo mais largamente utilizado, sendo tipicamente empregado na produção de papéis mais resistentes. O processo de polpação do tipo *Kraft* inclui o branqueamento, a recuperação química e a recuperação de subprodutos (IPCC, 1996).

Este documento apresenta um panorama do setor de produção de papel e celulose no Estado de São Paulo, onde são estimadas as emissões de poluentes do processo produtivo para o período 1990 a 2008, abordando as emissões do processo sulfato tipo *kraft*.

Segundo dados apresentados no Relatório Estatístico 2007/2008, divulgado pela Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2008), o Brasil é o 4º maior produtor mundial de celulose e 11º produtor de papel, ocupando a liderança na fabricação de celulose de fibra curta.

O Gráfico 1 apresenta a participação regional na produção brasileira de papel em 2008.

Gráfico 1 Participação Regional na Produção Brasileira de Papel em 2008



Fonte: Adaptado BRACELPA (2009)

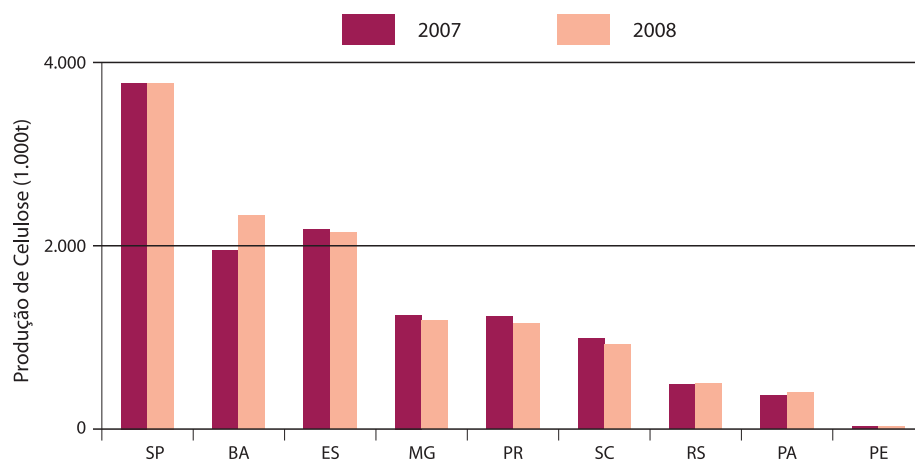
A Tabela 1 e o Gráfico 2 apresentam a distribuição estadual da produção de pasta em 2007 e 2008.

Tabela 1 Distribuição da Produção de Pasta de Celulose em 2007 e 2008 no Brasil

Estado	2007	2008
	(1.000t)	
São Paulo	3.704	3.703
Bahia	1.907	2.287
Espírito Santo	2.132	2.103
Minas Gerais	1.221	1.158
Paraná	1.210	1.132
Santa Catarina	970	906
Rio Grande do Sul	472	484
Pará	356	390
Pernambuco	25	25

Fonte: Adaptado BRACELPA (2008; 2009)

Gráfico 2 Distribuição da Produção de Pasta de Celulose em 2007 e 2008 no Brasil



Fonte: Adaptado BRACELPA (2008; 2009)

2 Processo de Preparação da Pasta Celulósica

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia (MCT) (BRASIL, 2006), os processos de preparação da pasta celulósica são muitos e variam desde os puramente mecânicos até os químicos. A madeira é tratada com produtos químicos, pressão e calor (temperaturas maiores que 150°C) para dissolver a lignina. Entretanto, como o objetivo é a estimativa das emissões atmosféricas, foram considerados neste relatório apenas os processos químicos relevantes.

De acordo com o MCT (BRASIL, 2006), os principais processos químicos de preparação da pasta celulósica são:

Processo Químico - Kraft: a madeira, sob a forma de cavacos, é tratada em vasos de pressão (digestores) com soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na_2S) para dissolver a lignina que liga as fibras de celulose. Este tipo de processo é muito utilizado na produção de papéis cuja característica desejada seja a resistência, como sacos de cimento e sacolas de supermercados.

Processo Químico - Sulfito: processo em que os cavacos são cozidos em digestores com um licor ácido, preparado com compostos de enxofre e uma base como hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de amônia (NH_4OH). Esse processo, que era muito utilizado para a confecção de papéis para imprimir e escrever, tem sido substituído pelo processo sulfato, devido à dificuldade de recuperação dos produtos químicos e problemas de poluição das águas. É similar ao *Kraft*, exceto pelo fato de que uma solução sulfurosa é utilizada na dissolução da lignina da madeira.

Processo Químico - Sulfato: nesse processo são utilizados os mesmos produtos químicos do Kraft. Entretanto, empregam-se maiores dosagens de sulfeto de sódio (Na_2S) e NaOH, e o cozimento é feito por mais tempo e a temperaturas mais elevadas. Esse é o processo mais utilizado no Brasil e é considerado o mais adequado para a obtenção de pastas químicas provenientes de eucalipto, em razão de preservar a resistência das fibras e, ao mesmo tempo, dissolver a lignina.

Processo Químico - Soda: nesse processo, o licor de cozimento é composto apenas de carbonato de sódio (Na_2CO_3), livre de enxofre. Nesse caso, são utilizados os padrões de emissão para o processo Kraft, com exceção dos compostos reduzidos de enxofre, que se tornam insignificantes.

3 Método para a Estimativa de Emissões de Óxido de Nitrogênio (NO_x), Compostos NMVOC e CO

Para se estimar a emissão anual de óxido de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis não-metanos (NMVOC) e monóxido de carbono (CO) da produção de pasta de celulose, utiliza-se a Equação 1 abaixo do IPCC (1996).

Equação 1 Emissão de Poluentes

$$P = (P_c \cdot FE_i) \cdot 10^{-6}$$

onde:

P	= Emissão atmosférica	[Gg.ano ⁻¹]
PC	= Produção de celulose	[t.ano ⁻¹]
FEi	= Fator de emissão	[kg _{gás} .t _{celulose} ⁻¹]
10 ⁻⁶	= Conversão de kg para Gg	[kg.Gg ⁻¹]
i	= NO _x , NMVOC, CO	[adimensional]

4. Dados

Segundo o MCT (BRASIL, 2006), o único processo utilizado no país na produção de pasta de celulose para o qual o IPCC apresenta fatores de emissão é o processo sulfato, semelhante ao *kraft*, que representava 88% da produção nacional em 1996.

Nesse relatório foram utilizados os dados do processo sulfato e foi demonstrada sua participação em relação à produção de celulose no Estado de São Paulo, conforme demonstra a Tabela 2.

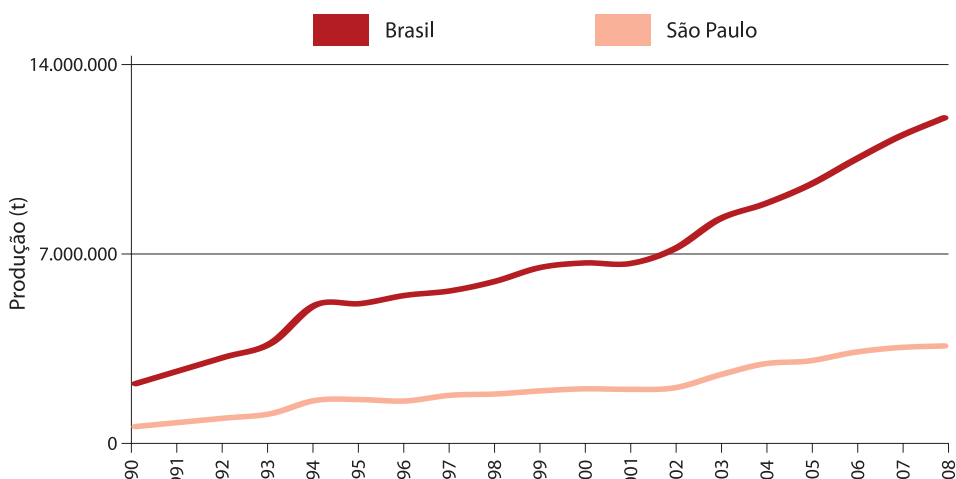
Tabela 2 Estimativa da Produção de Celulose (Sulfato) de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Tempo	Produção nacional celulose (sulfato) tipo Kraft*	Produção estadual de celulose (sulfato) tipo Kraft*	Participação da produção estadual em relação à nacional*
(ano)	(t)		
1990	2.216.323	631.697	29
1991	2.711.072	789.634	29
1992	3.205.822	947.571	30
1993	3.700.571	1.105.508	30
1994	5.116.669	1.597.632	31
1995	5.169.677	1.627.631	31
1996	5.472.645	1.575.747	29
1997	5.637.346	1.787.105	32
1998	5.988.665	1.832.845	31
1999	6.498.150	1.948.423	30
2000	6.669.249	2.025.971	30
2001	6.645.118	2.005.601	30
2002	7.190.914	2.062.361	29
2003	8.289.187	2.538.181	31
2004	8.844.725	2.948.383	33
2005	9.544.995	3.055.600	32
2006	10.462.138	3.372.058	32
2007	11.328.492	3.549.150	31
2008	12.020.520	3.608.373	30

Fonte: ABTCP (2012)

A produção de celulose do Estado de São Paulo apresentou um crescimento durante este período de 1990 e 2008, conforme se observa no Gráfico 3, a seguir:

Gráfico 3 Produção de Pasta Celulósica de 1990 a 2008 no Brasil e no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado BRACELPA (2009)

4.1 Fatores de Emissão (FE)

Segundo o IPCC (1996), para estimar a emissão anual de NO_x , NMVOC e CO recomenda-se utilizar os fatores de emissão da Tabela 3 abaixo, na qual, a quantidade de celulose produzida pelo processo sulfato tipo *kraft*, em toneladas (t) é multiplicado pelo FE de cada poluente correspondente.

Tabela 3 Fatores de Emissão do Processo Sulfato tipo *Kraft*

Poluente	Fator de Emissão	
	(default)	(amplitude)
	($\text{kg}_{\text{gás}} \cdot \text{t}_{\text{celulose}}^{-1}$)	($\text{kg}_{\text{gás}} \cdot \text{t}_{\text{celulose}}^{-1}$)
NO _x	1,5	0,0017 - 1,5
NMVOC	3,7	0,1 - 4,9
CO	5,6	n.d.

Fonte: IPCC (1996)

5 Resultados

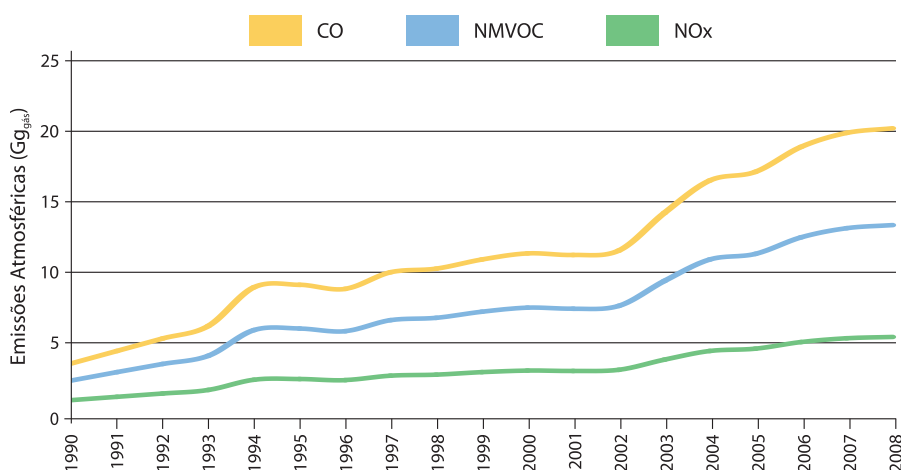
A Tabela 4, apresenta a estimativa das emissões atmosféricas com o emprego dos dados da produção de celulose pelo processo sulfato tipo *kraft* do Estado de São Paulo da Tabela 2 e os FE *default* apresentados na Tabela 3.

Tabela 4 Emissões Atmosféricas da Produção de 1990 a 2008 de Celulose no Estado de São Paulo

Ano	NO _x	NMVOC	CO
	Gg.ano ⁻¹		
1990	0,9	2,3	3,5
1991	1,2	2,9	4,4
1992	1,4	3,5	5,3
1993	1,7	4,1	6,2
1994	2,4	5,9	8,9
1995	2,4	6,0	9,1
1996	2,4	5,8	8,8
1997	2,7	6,6	10,0
1998	2,8	6,8	10,3
1999	2,9	7,2	10,9
2000	3,0	7,5	11,4
2001	3,0	7,4	11,2
2002	3,1	7,6	11,6
2003	3,8	9,4	14,2
2004	4,4	10,9	16,5
2005	4,6	11,3	17,1
2006	5,1	12,5	18,9
2007	5,3	13,1	19,9
2008	5,4	13,4	20,2

O Gráfico 4 abaixo, resume as estimativas das emissões atmosféricas.

Gráfico 4 Emissões Atmosféricas da Produção de Celulose de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



6 Considerações Finais

As estimativas das emissões atmosféricas deste documento não são de GEE, são poluentes convencionais que estão presentes no método de inventário do IPCC (1996).

O método empregado deixa claro que o aumento das emissões atmosféricas de poluentes está diretamente relacionado com o aumento da produção de celulose, portanto, a adoção de tecnologias menos poluidoras deve ser incentivada.

Referências

ABTCP. **A inserção do setor de papel e celulose no contexto da implementação dos esforços globais para a estabilização do clima.** Maio 2009. Elaboração: Stump, D.; Pedro, F. P. Disponível em: <http://www.abtcp.org.br/arquivos/File/Position%20Paper_A%20inser%C3%A7%C3%A3o%20do%20setor%20de%20papel%20e%20celulose%20no%20contexto%20da%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20dos%20esfor%C3%A7os%20globais%20para%20a%20estabiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20clima.pdf>. Acesso em: jul. 2013.

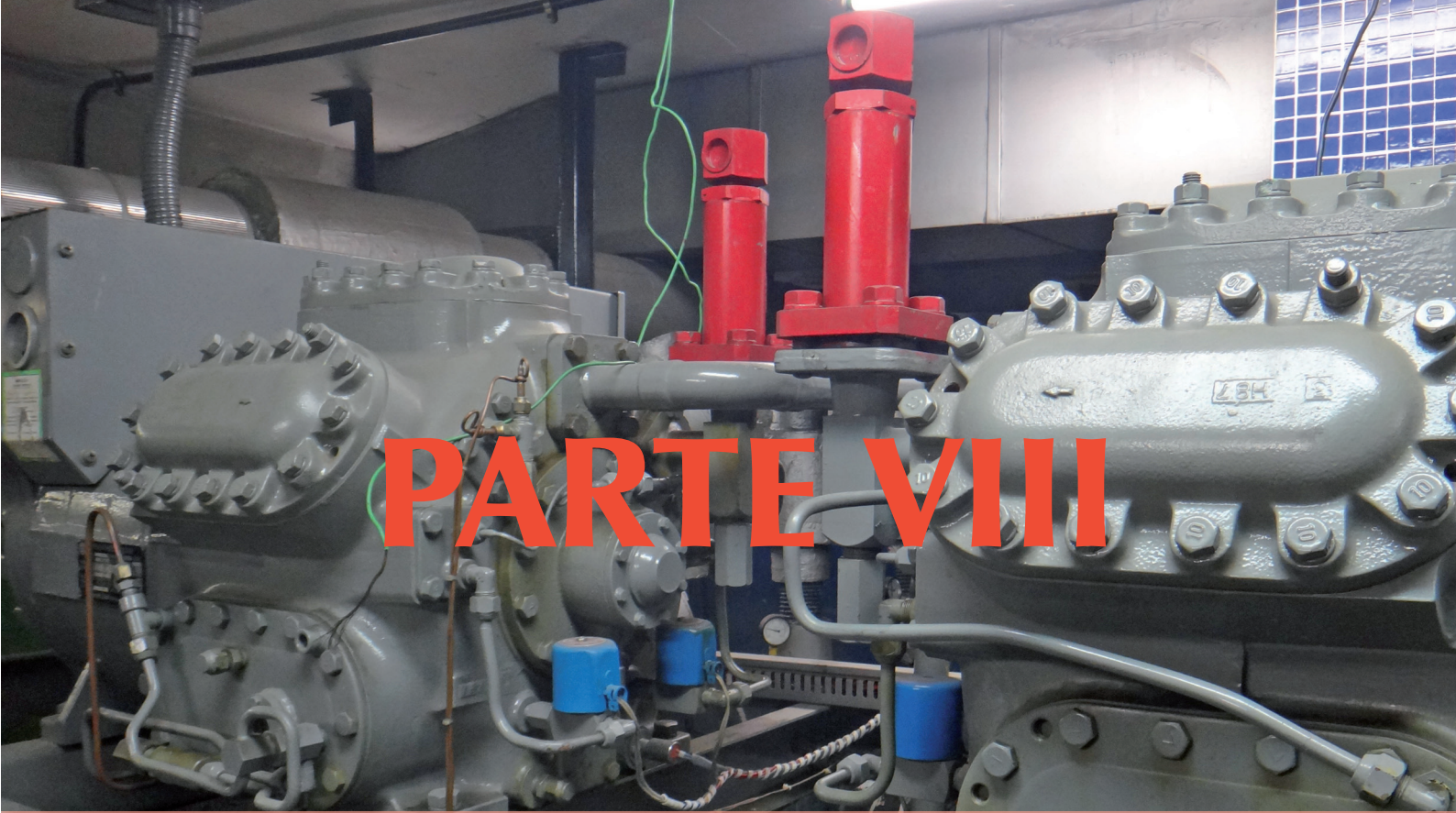
ABTCP. **Informações levantadas pela ABTCP junto às empresas associadas.** Informação não publicada e confirmada com Pedro Vilas Boas em 05 jun. 2012. #Referência estranha

BRACELPA. **Relatório estatístico 2007/2008.** São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2007.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2010. #Link não abre, site só tem de 2008/2009 em diante

BRACELPA. **Relatório estatístico 2008/2009.** São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2008.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2010.

BRASIL. MCT. Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes. Brasília, MCT, 2006. (**Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência**). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8733.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2010.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions.** Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.



PARTE VIII

USO DE SOLVENTES E
OUTROS PRODUTOS
- GASES FLUORADOS -



PARTE VIII – Ficha Técnica

Coordenação da Convênio CETESB / IMT

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Elaboração

Instituto Mauá de Tecnologia – IMT

Roberto de Aguiar Peixoto (Espumas, Aerossóis, Solventes e Refrigeração e Ar Condicionado)

Roberto Kenji Fujimoto – Consultor Técnico (Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade)

Revisão Técnica

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboradores

Bruna Patrícia de Oliveira

Calvin Stefam Iost

Carolina de Andrade

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Diego Henrique Dutra Penido

Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz

Francisco do Espírito Santo Filho

Gabriela Rotondaro

Ligia Prangutti Orlandi

Mariana Pedrosa Gonzalez

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Mauro Meirelles

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Paula Eugênia Dias Gomes

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Cietto Ridolfi

Esse Relatório de Referência é produto do convênio entre a CETESB e o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

SUMÁRIO

PARTE VIII - USO DE SOLVENTES E OUTROS PRODUTOS - GASES FLUORADOS	183
VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE	195
1 Introdução	197
1.1 A Estrutura Institucional do Setor Elétrico Brasileiro	197
1.2 A Estrutura Institucional do Setor Elétrico no Estado de São Paulo	198
2 Método	199
3 Dados	200
3.1 Emissões de SF ₆ em Equipamentos Elétricos no Estado de São Paulo	200
4 Resultados	202
Referências	203
Anexos	204
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS	211
1 Introdução	213
1.1 Uso de CFCs, HCFCs e HFCs na Produção de Espumas	214
2 Método para Estimar as Emissões de GEE	215
2.1 Espuma de Célula Aberta	215
2.2 Espuma de Célula Fechada	215
3 Método para a Estimativa de Dados de Consumo de CFC-11	217
4 Dados	218
4.1 Fator de Emissão para Espumas de Célula Aberta (FE _a)	218
4.2 Fator de Emissão para Espumas de Célula Fechada no Processo de Espumação (FE _{esp})	218
4.3 Fator de Emissão para Espumas de Célula Fechada durante a Vida Útil da Espuma (FE _{uso})	218
4.4 Atraso Anual Inicial (D _{inicial})	218
4.5 Prolongamento Anual Final (D _{final})	218

4.6	Consumo de HFC-134a	218
4.7	Consumo de CFC-11	219
4.8	Consumo de HCFC-141b	220
5	Considerações Finais	222
5.1	Emissões de HFC-134a	223
5.2	Emissões de CFC-11	224
5.3	Emissões de HCFC-141b	225
	Referências	226
	Anexos	227
	VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS	229
1	Introdução	231
1.1	Uso de Substâncias Constituídas por GEE no Subsetor de Aerossóis	232
1.2	GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal - SDOs	232
1.2.1	Produtos Não Medicinais	232
1.2.2	Produtos Medicinais	232
2	Método	233
3	Dados de Consumo de CFCs para Uso em Inaladores de Dose Calibrada - MDIs (<i>Metered Dose Inhalers</i>)	234
3.1	Quantidade de Aerossol (Q)	234
3.2	Fator de Emissão (FE)	234
4	Resultados Obtidos para Estimativa de Emissões de CFCs	235
4.1	Emissões de CFCs	235
5	Conclusões	238
	Referências	239
	Anexos	240
	VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES	245
1	Introdução	247
1.1	Uso de Substâncias Constituídas por GEE no Subsetor de Solventes	248
1.1.1	GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal	248

1.1.2	GEE Controlados pelo Protocolo de Quioto.....	250
2	Método para Estimativa de Emissões de GEE do Subsetor de Solventes...	251
3	Dados.....	252
3.1	Consumo de CFCs no Brasil.....	252
3.2	Consumo de CFCs no Estado de São Paulo.....	252
3.3	Fator de Emissão (FE).....	252
4	Resultados.....	253
5	Conclusões.....	254
	Referências.....	255
	Anexos.....	256
	VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO.....	259
1	Introdução.....	261
1.1	Caracterização do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado.....	262
1.1.1	Refrigeração Doméstica.....	262
1.1.2	Refrigeração Comercial.....	263
1.1.3	Ar Condicionado Estacionário.....	263
1.1.4	Ar Condicionado Veicular.....	264
1.1.5	Transporte Refrigerado.....	264
1.1.6	Banco" de Refrigerantes.....	264
2	Método Utilizado para Estimativa das Emissões de CFCs, HCFCs e HFCs do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado.....	266
2.1	Método <i>Tier 2 (Bottom-up)</i>	266
2.1.1	Emissões na Montagem.....	267
2.1.2	Emissões na Operação.....	267
2.1.3	Emissões na Disposição Final (Sucateamento).....	267
3	Dados.....	268
3.1	Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos.....	268
3.1.1	Carga Média de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos.....	268
3.1.2	Quantidade Produzida.....	268
3.1.3	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos (k).....	270

3.1.4	Parque Instalado de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos.....	270
3.1.5	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos (x).....	272
3.1.6	Quantidade de Refrigeradores e <i>Freezers</i> que entram no Mercado Nacional	272
3.1.7	Quantidade Sucateada	272
3.1.8	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos (y).....	274
3.2	Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais	274
3.2.1	Carga Média de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais	274
3.2.2	Quantidade Produzida	274
3.2.3	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais (k).....	275
3.2.4	Parque Instalado.....	275
3.2.5	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais (x).....	276
3.2.6	Quantidade Sucateada	276
3.2.7	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais (y).....	276
3.3	Sistemas de Ar Condicionado Veicular.....	276
3.3.1	Automóveis	276
3.3.2	Ônibus	279
3.4.1	Carga Média de Fluido Refrigerante em Bebedouros	279
3.4.2	Quantidade Produzida de Bebedouros.....	279
3.4.3	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (k).....	281
3.4.4	Parque Instalado.....	281
3.4.5	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (x).....	282
3.4.6	Quantidade Sucateada	282
3.4.7	Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (y).....	282
3.5	Emissões de HCFC-22.....	282
3.6	A Escolha de Fatores de Emissão.....	284
4	Resultados.....	285
4.1	Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos.....	285
4.3	Sistemas de Ar Condicionado Automotivo.....	289
4.4	Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus.....	291

4.5 Bebedouros	292
4.6 Emissões de HCFC-22	294
5 Conclusões	296
Referências	298
Anexos	300
CONSIDERAÇÕES FINAIS	307

TABELAS

VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE	195
Tabela 1 Principais Concessionárias e sua Abrangência no Estado de São Paulo	198
Tabela 2 Estimativa de Emissões de SF ₆ em Equipamentos Elétricos no Brasil	200
Tabela 3 Estimativa de Emissões de SF ₆ em Equipamentos Elétricos no Estado de São Paulo	201
Tabela 4 Emissões de SF ₆ de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	202
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS	211
Tabela 1 Aplicação dos Variados Tipos de Espuma por Setor da Indústria no Estado de São Paulo	213
Tabela 2 Tecnologias Disponíveis para a Conversão do Subsetor de Espumas no Estado de São Paulo	214
Tabela 3 Consumo de HFC-134a no Estado de São Paulo	219
Tabela 4 Consumo de CFC-11 do Subsetor de Espumas no Brasil e Produção de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo	219
Tabela 5 Aplicação da Produção nos anos de 1970 a de CFC-11 no Estado de São Paulo	220
Tabela 6 Consumo Nacional (Importação) de HCFC-141b e Produção de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo	220
Tabela 7 Emissões de GEE do Subsetor de Espumas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	222
Tabela 8 Emissões de HFC-134a do Subsetor de Espumas de 2006 a 2008 no Estado de São Paulo	223
Tabela 9 Emissões de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo	224
Tabela 10 Emissões de HCFC-141b do Subsetor de Espumas de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo	225
VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS	229
Tabela 1 Consumo Estimado de CFC-11 e CFC-12 em Aerossóis de 1995 a 2008 no Brasil	234
Tabela 2 Consumo Estimado de CFC-11 e CFC-12 em Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	234
Tabela 3 Emissões de CFC-11 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	235
Tabela 4 Emissões de CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	235
Tabela 5 Emissões de GEE no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	236
VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES	245
Tabela 1 Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Brasil	252
Tabela 2 Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Brasil	252
Tabela 3 Estimativa de Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Estado de São Paulo	252
Tabela 4 Estimativa de Emissões de CFC-113 do Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Estado de São Paulo	253
VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	259
Tabela 1 Produção de Refrigeradores e Freezers de 1990 a 2008 no Brasil e no Estado de São Paulo	268
Tabela 2 Produção Total Estimada de Unidades com Refrigerante CFC-12 e HFC-134a de 1997 a 2001 no Estado de São Paulo	269

Tabela 3 Produção estimada de Refrigeradores e <i>Freezers</i> com CFC-12 e com HFC-134 a no Estado de São Paulo	270
Tabela 4 Total de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Instalados de 1990 a 2005 no Brasil.....	270
Tabela 5 Parque Instalado de Refrigeradores e <i>Freezers</i> de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	272
Tabela 6 Quantidade de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos que Entram no Mercado Nacional (Produção-Exportação)	273
Tabela 7 Quantidade de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	273
Tabela 8 Produção de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos e Comerciais de 1995 a 2002 no Brasil	274
Tabela 9 Estimativa de Produção de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais com CFC-12 e com HFC-134a de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	275
Tabela 10 Parque de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	275
Tabela 11 Quantidade de Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	276
Tabela 12 Estimativa da Parcela da Frota de Automóveis Novos com Sistemas de Ar Condicionado	277
Tabela 13 Estimativa de Evolução Anual da Frota de Automóveis com Sistema de Ar Condicionado	278
Tabela 14 Frota de Ônibus com Sistema de Ar Condicionado.....	279
Tabela 15 Produção de Bebedouros de 1997 a 2005 no Brasil e no Estado de São Paulo.....	280
Tabela 16 Estimativa para a Produção de Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	280
Tabela 17 Produção Estimada de Bebedouros de 1990 a 2008 com CFC-12 e HFC-134a de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	281
Tabela 18 Evolução do Parque de Bebedouros no Estado de São Paulo	281
Tabela 19 Quantidade de Bebedouros Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	282
Tabela 20 Estimativa de Consumo de HCFC-22 de 1990 a 2008* no Brasil e no Estado de São Paulo.....	283
Tabela 21 Estimativas (Baseadas na Avaliação de Especialistas) para os Valores de Carga de Refrigerante, Tempo de Vida e Fatores de Emissão para Equipamentos Estacionários de Refrigeração.....	284
Tabela 22 Parâmetros para Sistemas de Ar Condicionado Veicular	284
Tabela 23 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	285
Tabela 24 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	286
Tabela 25 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	287
Tabela 26 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	288
Tabela 27 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	289
Tabela 28 Tabela 28. Estimativa de Emissões de HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	289
Tabela 29 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	291

Tabela 30 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	291
Tabela 31 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	292
Tabela 32 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	293
Tabela 33 Consumo e Estimativa de Emissões de HCFC-22 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	294

GRÁFICOS

VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE	195
Gráfico 1 Emissões de SF ₆ de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	202
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS	211
Gráfico 1 Produção de Espumas em 2002 por Subsetor no Brasil	213
Gráfico 2 Consumo de CFC e HCFC por Tipo de Espuma de 1998 a 2001 no Estado de São Paulo	214
Gráfico 3 Consumo de CFC-11 para Espumas de Célula Fechada de 1970 a 2011 no Estado de São Paulo	217
Gráfico 4 Consumo de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Brasil.....	219
Gráfico 5 Emissões de GEE do Subsetor de Espumas Incluindo os GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	223
Gráfico 6 Emissões de GEE do Subsetor de Espumas Não Incluindo os GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 ⁴ no Estado de São Paulo	223
Gráfico 7 Emissões de HFC-134a de 2006 a 2008 do Subsetor de Espumas no Estado de São Paulo.....	224
Gráfico 8 Emissões de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo	224
Gráfico 9 Emissões de HCFC-141b do Subsetor de Espumas de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo	225
VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS	229
Gráfico 1 Emissões de CFC-11 e CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	236
Gráfico 2 Emissões de CFC-11 e CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	236
Gráfico 3 Emissões de GEE no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo.....	237
VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES	245
Gráfico 1 Composição dos Solventes Industriais em 2007 no Brasil	247
Gráfico 2 Consumo de SDOs em 1994 no Brasil	248
Gráfico 3 Eliminação de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2002	249
Gráfico 4 Emissões de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000.....	253
VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	259
Gráfico 1 Consumo Nacional de CFC-12 na Fabricação de Refrigeradores Domésticos	269
Gráfico 2 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com CFC-12 de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo.....	271
Gráfico 3 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com HFC-134a de 1997 a 2005 no Estado de São Paulo	271
Gráfico 4 Ajuste de Curva para Estimativa de Dados de Exportação no Estado e São Paulo.....	272

Gráfico 5	Evolução da Fração da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado Antes de 1991 ...	277
Gráfico 6	Evolução da Fração da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado de 1991 a 2008	278
Gráfico 7	Estimativa de Produção de Bebedouros no Estado de São Paulo	280
Gráfico 8	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	286
Gráfico 9	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	287
Gráfico 10	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	288
Gráfico 11	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e <i>Freezers</i> Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	289
Gráfico 12	Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	290
Gráfico 13	Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	290
Gráfico 14	Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	291
Gráfico 15	Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	292
Gráfico 16	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ...	293
Gráfico 17	Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ...	294
Gráfico 18	Emissões de HCFC-22 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	295

FIGURAS

VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE	195
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS	211
VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS	229
VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES	245
VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	259
Figura 1 Ciclo de Vida dos Fluidos Halocarbônicos	265


EQUAÇÕES

VIII.I. SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE	195
VIII.II. SUBSETOR DE ESPUMAS	211
Equação 1 Emissões de HFCs ou PFCs em Espumas de Célula Aberta Segundo o IPCC	215
Equação 2 Emissões de GEE em Espuma de Célula Aberta	215

Equação 3 Emissões de HFCs ou PFCs em Espumas de Célula Fechada.....	215
Equação 4 Emissões Totais Estimadas de GEE em Espumas de Célula Fechada.....	215
Equação 5 Emissões da Fase de Espumação.....	215
Equação 6 Emissões da Fase de Uso.....	216
Equação 7 Emissões de GEE no Primeiro ano de Uso da Espuma.....	216
Equação 8 Emissões de GEE Durante a Vida Útil da Espuma.....	216
Equação 9 Emissões de GEE no Último Ano de Uso da Espuma.....	216
Equação 10 Quantidade Estimada de Gás Consumida no Estado de São Paulo.....	216
Equação 11 Consumo Estimado de CFC-11 para o Período de 1970 a 1989.....	217
VIII.III. SUBSETOR DE AEROSSÓIS.....	229
Equação 1 Emissões de Processos Industriais.....	233
Equação 2 Emissões de GEE do Subsetor de Aerossóis.....	233
VIII.IV. SUBSETOR DE SOLVENTES.....	245
Equação 1 Estimativa de Emissões de Solventes Halogenados.....	251
VIII.V. SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO.....	259
Equação 1 Estimativa de Emissões de Fluidos Refrigerantes em Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado.....	266
Equação 2 Estimativa de Emissões na Montagem de Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado.....	267
Equação 3 Estimativa da Quantidade de Gás Utilizado como Carga.....	267
Equação 4 Emissões Durante a Operação de Equipamentos e Sistemas de Refrigeração.....	267
Equação 5 Estimativa da Quantidade de gás em Estoque.....	267
Equação 6 Estimativa da Quantidade de Refrigeradores e Freezers Sucateados.....	267
Equação 7 Estimativa da Quantidade de Refrigeradores e Freezers que Entra no Mercado.....	267
Equação 8 Emissões na Disposição Final (sucateamento) dos Equipamentos Refrigerantes.....	267
Equação 9 Estimativa da Carga no Ano (t-n).....	267
Equação 10 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com CFC-12.....	271
Equação 11 Estimativa de Refrigeradores com HFC-134a.....	271
Equação 12 Estimativa de Refrigeradores e Freezers Domésticos com HFC-134a.....	272
Equação 13 Evolução da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado Antes de 1991.....	277
Equação 14 Evolução da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado de 1991 a 2008.....	278
Equação 15 Taxa de Sobrevivência.....	278
Equação 16 Estimativa de Produção de Bebedouros no Estado de São Paulo.....	280

A photograph showing several high-voltage electrical transmission towers and power lines stretching across the frame. In the background, a city skyline with several tall apartment buildings is visible under a clear blue sky.

PARTE VIII.I

A horizontal banner with an orange background and a faint, repeating pattern of electrical towers and power lines.

FUGITIVAS DO SUBSETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE



1 Introdução

O hexafluoreto de enxofre (SF_6) é formado por um átomo de enxofre, ligado a seis átomos de flúor. Ele possui grande eletronegatividade e, portanto, extingue arcos elétricos nos aparelhos de alta e média tensão. Trata-se de um gás transparente, inodoro, não inflamável e quimicamente estável, ou seja, em condições normais de temperatura e pressão, não reage com outra substância. A estabilidade vem do arranjo simétrico dos seis átomos de flúor em torno do átomo central de enxofre e é essa estabilidade que o torna um gás útil em equipamentos elétricos (ESTV, 2010).

Segundo a AES Eletropaulo (2010), o SF_6 é utilizado principalmente pela indústria elétrica, como meio isolante e extintor de arco elétrico, tanto em disjuntores, como em uma subestação blindada. O aspecto dielétrico e outras propriedades físicas e químicas relacionadas com a sua falta de reatividade levaram à utilização extensiva de SF_6 como um isolante médio em equipamentos de comutação por eletricidade. Para a elaboração deste inventário, foram estimadas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desse uso.

De acordo com a Segunda Comunicação Nacional (BRASIL, 2010), o Brasil não é produtor desse gás. Assim sendo, as emissões informadas devem-se apenas a vazamentos nos equipamentos instalados no país.

Outros usos de SF_6 envolvem aplicações na indústria de magnésio, uso médico em cirurgia oftálmica e como agente de extinção de incêndio. Essas aplicações não são relevantes no Estado de São Paulo e, desta forma, não foram consideradas no escopo deste trabalho.

O SF_6 permitiu o desenvolvimento de equipamentos elétricos de alta capacidade e desempenho, além de mais compactos e seguros. Em um transformador, o gás SF_6 ocupa 30% menos de espaço de isolamento e, portanto, reduz sensivelmente os custos para a construção das subestações, quando comparado aos transformadores convencionais que usam óleo para o isolamento.

As subestações têm a finalidade de conectar as linhas de transmissão de diferentes localidades e, caso seja necessário, fazer a elevação ou a redução dos níveis de tensão a serem aplicados. Essas são responsáveis por receber e distribuir energia, garantindo confiabilidade ao sistema e energia ao consumidor.

Para o entendimento da ordem de suas emissões, é necessário compreender a malha de distribuição energética do setor.

1.1 A Estrutura Institucional do Setor Elétrico Brasileiro

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008), para geração e transmissão de energia elétrica, o país conta com um sistema principal, o Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SIN é composto por usinas, linhas de transmissão e ativos de distribuição. A malha do SIN integra cerca de 89,2 mil quilômetros

de linhas de transmissão nas tensões 230kV, 345kV, 440kV, 500kV e 750kV.

Atualmente, a distribuição de energia elétrica brasileira é formada por 64 concessionárias, que atendem mais de 61 milhões de unidades consumidoras. Essas concessionárias são responsáveis pela manutenção, monitoramento e operação das subestações.

1.2 A Estrutura Institucional do Setor Elétrico no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo existem 15 concessionárias que gerenciam a transmissão e distribuição de energia elétrica, conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010). A Tabela 1 apresenta as principais concessionárias e sua abrangência no Estado de São Paulo.

As distribuidoras de energia no Estado de São Paulo devem desenvolver procedimentos corretos quanto ao monitoramento e à manutenção dos equipamentos com SF₆, a fim de evitar emissões não controladas. Uma das ações é adquirir equipamentos para tratamento e reaproveitamento/regeneração do gás utilizado nos disjuntores (CTEEP, 2007).

Tabela 1 Principais Concessionárias e sua Abrangência no Estado de São Paulo

Concessionária	Quantidade de Municípios Abrangidos
Elektro	223
CPFL + CPFL Piratininga	261
Bragantina	5
Caiuá	24
Jaguari	2
Mococa	1
CPEE	7
Santa Cruz	24
CESP	5
Vale Paranapanema	27
Nacional	16
Eletropaulo	24
Bandeirante	28

Fonte: ANEEL (2010)

2 Método

O SF₆, apesar do seu elevado Potencial de Aquecimento Global (GWP), tem uma participação pequena nas emissões de Gases de Efeito Estufa GEE no Estado de São Paulo, em função da baixa quantidade utilizada. A estimativa das emissões, com o emprego das diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), não foram bem sucedidas devido à impossibilidade de obtenção dos dados de atividade necessários.

Desta forma, utilizou-se um procedimento alternativo para se obter uma estimativa de emissões. Dado o uso majoritário do SF₆ nos sistemas de distribuição de energia elétrica, descrito anteriormente, assumiu-se que as estimativas poderiam ser calculadas considerando os resultados apresentados na Segunda Comunicação Nacional (BRASIL, 2010) e que seriam proporcionais à participação do sistema elétrico paulista no cenário nacional.

3 Dados

3.1 Emissões de SF₆ em Equipamentos Elétricos no Estado de São Paulo

As emissões de SF₆ do setor elétrico foram estimadas a partir das emissões nacionais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Estimativa de Emissões de SF₆ em Equipamentos Elétricos no Brasil

Ano	Emissões
	[Gg]
1990	0,0042
1991	0,0040
1992	0,0040
1993	0,0040
1994	0,0041
1995	0,0041
1996	0,0041
1997	0,0042
1998	0,0047
1999	0,0049
2000	0,0050
2001	0,0051
2002	0,0053
2003	0,0056
2004	0,0060
2005	0,0061
2006*	0,0064
2007*	0,0066
2008*	0,0069

Fonte: Brasil (2010)

*Com os resultados de emissões apresentados na Segunda Comunicação Nacional de GEE para o período de 2000 a 2005 obteve-se uma regressão linear cujo coeficiente de correlação foi de 0,97. Os resultados para os anos 2006, 2007 e 2008 foram estimados por meio da equação: Emissão = 0,00024286.ano - 0,48080476.

Para estimar as emissões no Estado de São Paulo, considerou-se a participação do estado no cenário elétrico nacional no que se refere à distribuição/consumo de energia elétrica. Segundo a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, o estado é o maior mercado consumidor de energia elétrica do país e representa 30% da demanda total brasileira de eletricidade. São mais de 15 milhões de unidades consumidoras, que somam uma população superior a 40 milhões de usuários. No território paulista concentram-se usinas

hidrelétricas de grande e médio porte, além de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) espalhadas pelo estado, com uma capacidade instalada total maior do que 19.500 MW, sendo responsáveis por 20,9% do total da energia elétrica gerada no país em unidades e 17,9% em MW (SÃO PAULO, 2011).

Dessa forma, adotou-se como 30% a participação do estado na distribuição de energia elétrica nacional, constante ao longo do período em análise (1990-2008) e se estimou as emissões anuais de SF₆ como sendo 30% do valor nacional.

Para avaliar o peso dessa hipótese e o dado obtido na Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, buscaram-se informações adicionais na ANEEL (2010), que fornece, por regiões nacionais, a participação das empresas na distribuição de energia elétrica. Foram selecionados 3 anos: 1995, 1997 e 2000. Considerando-se as empresas atuantes no Estado de São Paulo (apresentadas na Tabela 1), foram obtidos os valores de 31,86%; 33,43% e 32,27% respectivamente. A média desses três anos é 32,5%, muito próxima ao valor fornecido pela Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, de 30%, que foi adotado para o período em análise. O Anexo 1 apresenta as informações obtidas da ANEEL.

A Tabela 3 apresenta as emissões de SF₆ no Estado de São Paulo, calculadas conforme o procedimento descrito acima.

Tabela 3 Estimativa de Emissões de SF₆ em Equipamentos Elétricos no Estado de São Paulo

Ano	Emissões
	[Gg]
1990	0,0013
1991	0,0012
1992	0,0012
1993	0,0012
1994	0,0012
1995	0,0012
1996	0,0012
1997	0,0013
1998	0,0014
1999	0,0015
2000	0,0015
2001	0,0015
2002	0,0016
2003	0,0017
2004	0,0018
2005	0,0018
2006	0,0019
2007	0,0020
2008	0,0021

4 Resultados

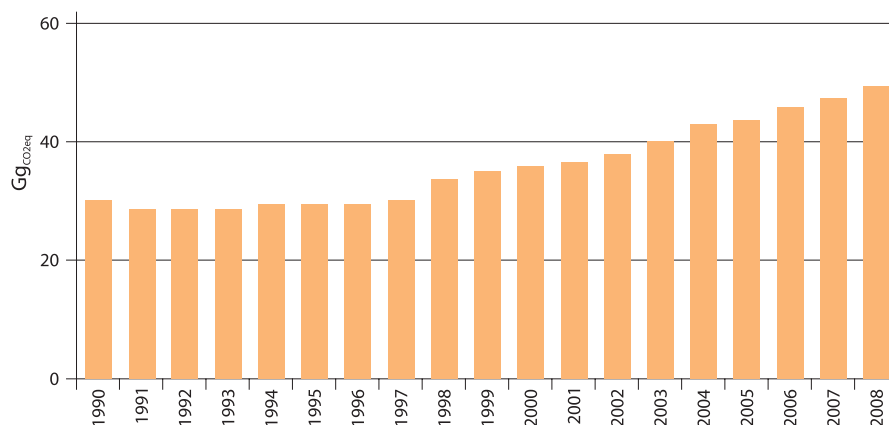
As emissões de SF₆ do setor elétrico estão apresentadas na Tabela 3. Na Tabela 4 estão apresentadas as emissões em Gg_{CO₂eq} considerando um GWP de 23.900 (IPCC, 2000).

Tabela 4 Emissões de SF₆ de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões de SF ₆
	[Gg _{CO₂eq}]
1990	30
1991	29
1992	29
1993	29
1994	29
1995	29
1996	29
1997	30
1998	34
1999	35
2000	36
2001	37
2002	38
2003	40
2004	43
2005	44
2006	46
2007	47
2008	49

O Gráfico 1 apresenta as emissões de SF₆ no Estado de São Paulo de 1990 a 2008.

Gráfico 1 Emissões de SF₆ de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



Referências

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, ANEEL, 2008, 3 ed., 236p.

_____. **Metas de Universalização**. Disponível em: <http://universalizacao.aneel.gov.br/UNI_Posicao_Brasil_universal.asp>. Acesso em: 31 mar. 2010.

AES ELETROPAULO. **Programa de Reduções de Emissões de SF₆ na AES Eletropaulo: Contribuição para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <www.aeseletropaulo.com.br/responsabilidadesocioambiental/Documents/ProjetosMDL/ANEXO%20III%20-SF6.pdf>. Acesso em: 22 out. 2010.

BRASIL. MCT. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: MCT, 2010. 520 p.

CTEEP. **Pesquisa para Identificação, Caracterização e Quantificação de Gases de Efeito Estufa nas Atividades e Processos Existentes no Sistema de Transmissão da CTEEP**. São Paulo, 2007. 11p.

ESTV. **Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) e os Isolamentos**. Disponível em: <www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpestanda/textos%20de%20alunos%5CSF6.htm>. Acesso em: 21 set. 2010.

IPCC. **Mudança do Clima 1995: A Ciência da Mudança do Clima: Sumário para Formuladores de Políticas e Sumário Técnico do Relatório do Grupo de Trabalho I**. Traduzido pelo MCT. Brasília: MCT, 2000.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. **Dados Energéticos: Eletricidade**. Disponível em: <www.energia.sp.gov.br/crbst_26.html>. Acesso em: 11 mar. 2011.

Anexos

Anexo A. Mercado de Distribuição de Concessionárias de Energia Elétrica no Brasil em 1995

1995			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CENTRO-OESTE			
CEB	2.753.320	1,11	23,21
CELG	4.896.623	1,97	41,27
CEMAT	1.999.352	0,80	16,85
CHESP	49.163	0,02	0,41
ENERSUL	2.166.393	0,87	18,26
TOTAL	11.864.851	4,77	100,00
NORDESTE			
CEAL	1.532.199	0,62	4,64
CELB	264.751	0,11	0,80
CELPE	5.708.247	2,29	17,28
CEMAR	1.736.302	0,70	5,25
CEPISA	998.140	0,40	3,02
CHESF	6.420.220	2,58	19,43
COELBA	7.530.739	3,03	22,78
COELCE	4.027.406	1,62	12,19
COSERN	1.909.278	0,77	5,78
ENERGIPE	1.251.091	0,50	3,79
SAELPA	1.553.445	0,62	4,70
SULGIPE	111.291	0,04	0,34
TOTAL	33.043.109	13,28	100,00
NORTE			
CEA	243.751	0,10	1,31
CEAM	266.078	0,11	1,43
CELPA	2.643.516	1,06	14,23
CELTINS	409.906	0,16	2,21
CER	21.191	0,01	0,11
CERON	757.302	0,30	4,08
ELETROACRE	248.787	0,10	1,34
ELETRONORTE	13.982.452	5,62	75,29
TOTAL	18.572.983	7,46	100,00
SUDESTE			
BRAGANTINA	403.995	0,16	0,27
CAIUÁ	621.146	0,25	0,42
CAT-LEO	698.716	0,28	0,47
CEMIG	32.113.037	12,90	21,63
CENF	246.678	0,10	0,17
CERJ	5.193.000	2,09	3,50
CESP	9.409.018	3,78	6,34

1995			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CPEE	198.886	0,08	0,13
CPFL	15.850.514	6,37	10,68
CSPE	246.613	0,10	0,17
ELETROPAULO	54.715.639	21,98	36,85
ENERGISA	12.427	0,00	0,01
ESCELSA	5.058.329	2,03	3,41
FURNAS	439.074	0,18	0,30
JAGUARI	222.550	0,09	0,15
LIGHT	21.077.099	8,47	14,19
MOCOCA	156.557	0,06	0,11
NACIONAL	297.085	0,12	0,20
POÇOS DE CALDAS	190.281	0,08	0,13
SANTA CRUZ	572.651	0,23	0,39
SANTA MARIA	188.925	0,08	0,13
V.PARANAPANEMA	514.949	0,21	0,35
TOTAL	148.427.169,00	59,62	100,00
SUL			
CEEE	14.694.629	5,90	39,71
CELESC	8.820.775	3,54	23,84
CFLO	147.237	0,06	0,40
COCEL	119.231	0,05	0,32
COPEL	12.660.764	5,09	34,22
CORONEL VIVIDA	13.834	0,01	0,04
ELETCAR	82.481	0,03	0,22
ELETROSUL	263.150	0,11	0,71
JOÃO CESA	5.701	0,00	0,02
NOVA PALMA	29.183	0,01	0,08
PANAMBI	38.727	0,02	0,10
URUSSANGA	31.061	0,01	0,08
XANXERÉ	96.170	0,04	0,26
TOTAL	37.002.943	14,87	100,00
TOTAL BRASIL	248.911.055	100,00	-

Fonte: ANEEL (2010)

Anexo B. Mercado de Distribuição de Concessionárias de Energia Elétrica no Brasil em 1997

1997			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CENTRO-OESTE			
CEB	3.201.539	1,15	23,37
CELG	5.564.207	1,99	40,62
CEMAT	2.395.715	0,86	17,49
CHESP	56.694	0,02	0,41
ENERSUL	2.480.833	0,89	18,11
TOTAL	13.698.988	4,91	100,00
NORDESTE			
CEAL	1.658.192	0,59	3,80
CELB	351.224	0,13	0,80
CELPE	6.497.376	2,33	14,88
CEMAR	2.074.269	0,74	4,75
CEPISA	1.154.566	0,41	2,64
CHESF	7.508.452	2,69	17,19
COELBA	8.360.357	3,00	19,14
COELCE	4.752.830	1,70	10,88
COSERN	2.309.023	0,83	5,29
ELN/MA	5.607.009	2,01	12,84
ENERGIPE	1.486.977	0,53	3,41
SAELPA	1.778.791	0,64	4,07
SULGIPE	129.850	0,05	0,30
TOTAL	43.668.916	15,65	100,00
NORTE			
BOAVISTA	213.424	0,08	1,49
CEA	354.405	0,13	2,47
CEAM	320.852	0,12	2,23
CELPA	3.013.771	1,08	20,98
CELTINS	506.421	0,18	3,53
CER	28.244	0,01	0,20
CERON	900.887	0,32	6,27
ELETROACRE	292.846	0,10	2,04
ELN/AM	2.130.426	0,76	14,83
ELN/AP	12.166	0,00	0,08
ELN/PA	6.589.769	2,36	45,88
TOTAL	14.363.211	5,15	100,00
SUDESTE			
BRAGANTINA	517.102	0,19	0,32
CAIUÁ	695.736	0,25	0,43
CAT-LEO	800.612	0,29	0,50
CEMIG	34.973.260	12,54	21,63
CENF	271.092	0,10	0,17
CERJ	6.142.142	2,20	3,80

1997			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CESP	10.123.865	3,63	6,26
CPEE	222.108	0,08	0,14
CPFL	18.054.071	6,47	11,17
CSPE	289.203	0,10	0,18
ELETRONUCLEAR	159.139	0,06	0,10
ELETROPAULO	58.183.210	20,85	35,99
ESCELSA	5.527.738	1,98	3,42
FURNAS	401.914	0,14	0,25
JAGUARI	273.784	0,10	0,17
LIGHT	22.871.016	8,20	14,15
MOCOCA	158.479	0,06	0,10
NACIONAL	340.152	0,12	0,21
POÇOS DE CALDAS	227.179	0,08	0,14
SANTA CRUZ	646.754	0,23	0,40
SANTA MARIA	226.806	0,08	0,14
V.PARANAPANEMA	560.188	0,20	0,35
TOTAL	161.665.550	57,95	100,00
SUL			
AES-SUL	4.480.220	1,61	9,83
CEEE	13.609.539	4,88	29,85
CELESC	10.204.509	3,66	22,38
CFLO	160.158	0,06	0,35
COCEL	129.094	0,05	0,28
COPEL	14.175.027	5,08	31,09
CORONEL VIVIDA	15.740	0,01	0,03
DEMEI	73.470	0,03	0,16
ELETROCAR	96.319	0,03	0,21
ELETROSUL	422.483	0,15	0,93
GERASUL	42.847	0,02	0,09
JOÃO CESA	7.179	0,00	0,02
MUXFELDT	13.555	0,00	0,03
NOVA PALMA	37.035	0,01	0,08
PANAMBI	44.393	0,02	0,10
RGE	1.942.339	0,70	4,26
URUSSANGA	38.554	0,01	0,08
XANXERÊ	103.658	0,04	0,23
TOTAL	45.596.119	16,34	100,00
TOTAL BRASIL	278.992.784	100,00	-

Fonte: ANEEL (2010)

Anexo C. Mercado de Distribuição de Concessionárias de Energia Elétrica no Brasil em 2000

2000			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CENTRO-OESTE			
CEB	3.781.774	1,24	23,14
CELG	6.512.785	2,13	39,84
CEMAT	3.175.090	1,04	19,42
CHESP	65.761	0,02	0,40
ENERSUL	2.811.032	0,92	17,20
TOTAL	16.346.442	5,34	100,00
NORDESTE			
CEAL	1.893.390	0,62	3,82
CELB	511.104	0,17	1,03
CELPE	7.425.096	2,42	14,98
CEMAR	2.313.166	0,76	4,67
CEPISA	1.378.420	0,45	2,78
CHESF	7.701.860	2,52	15,53
COELBA	9.765.825	3,19	19,70
COELCE	5.823.944	1,90	11,75
COSERN	2.794.398	0,91	5,64
ELN/MA	5.936.863	1,94	11,97
ENERGIPE	1.788.265	0,58	3,61
SAELPA	2.074.256	0,68	4,18
SULGIPE	175.698	0,06	0,35
TOTAL	49.582.285	16,19	100,00
NORTE			
BOAVISTA	258.599	0,08	1,64
CEA	430.844	0,14	2,73
CEAM	313.719	0,10	1,99
CELPA	3.854.387	1,26	24,45
CELTINS	703.744	0,23	4,46
CER	37.808	0,01	0,24
CERON	1.050.539	0,34	6,66
ELETROACRE	347.783	0,11	2,21
ELN/PA	6.299.342	2,06	39,96
MANAUS	2.468.947	0,81	15,66
TOTAL	15.765.712	5,15	100,00
SUDESTE			
BRAGANTINA	613.186	0,20	0,35
CAIUÁ	789.288	0,26	0,45
CAT-LEO	1.004.058	0,33	0,57
CEMIG	37.540.051	12,26	21,44
CENF	312.555	0,10	0,18
CERJ	7.165.897	2,34	4,09
CESP	2.117.602	0,69	1,21
CPEE	254.776	0,08	0,15

2000			
Concessionárias	Energia [MWh]	Participação no Mercado Nacional [%]	Participação no Mercado Regional [%]
CPFL	20.375.049	6,65	11,64
CSPE	344.642	0,11	0,20
BANDEIRANTE	21.981.649	7,18	12,56
ELEKTRO	11.273.635	3,68	6,44
ELETRONUCLEAR	401.663	0,13	0,23
ELETROPAULO	37.506.015	12,25	21,42
ESCELSA	6.460.486	2,11	3,69
FURNAS	276.918	0,09	0,16
JAGUARI	355.962	0,12	0,20
LIGHT	23.819.965	7,78	13,61
MOCOCA	175.666	0,06	0,10
NACIONAL	385.163	0,13	0,22
POÇOS DE CALDAS	274.568	0,09	0,16
SANTA CRUZ	754.367	0,25	0,43
SANTA MARIA	267.318	0,09	0,15
V.PARANAPANEMA	624.469	0,20	0,36
TOTAL	175.074.948	57,18	100,00
SUL			
AES-SUL	7.341.651	2,40	14,85
CEEE	6.196.515	2,02	12,53
CELESC	12.031.509	3,93	24,34
CFLO	196.076	0,06	0,40
COCEL	151.457	0,05	0,31
COOPERALIANÇA	87.566	0,03	0,18
COPEL	16.673.942	5,45	33,73
CORONEL VIVIDA	18.057	0,01	0,04
DEMEI	80.849	0,03	0,16
ELETROCAR	120.881	0,04	0,24
GERASUL	549.335	0,18	1,11
JOÃO CESA	20.070	0,01	0,04
MUXFELDT	18.213	0,01	0,04
NOVA PALMA	44.661	0,01	0,09
PANAMBI	51.524	0,02	0,10
RGE	5.689.076	1,86	11,51
URUSSANGA	46.351	0,02	0,09
XANXERÊ	120.395	0,04	0,24
TOTAL	49.438.128	16,15	100,00
TOTAL BRASIL	306.207.515	100,00	-

Fonte: ANEEL (2010)



PARTE VIII.II



SUBSETOR DE ESPUMAS

1 Introdução

Os materiais celulares ou espumas são materiais bifásicos compostos por uma matriz sólida na qual está dispersa uma matriz fluída. Pela sua complexa natureza, as espumas de polímeros têm sido classificadas de acordo com a sua morfologia celular, comportamento mecânico, natureza química e densidade (UNIVERSIDADE DO MINHO, 2010).

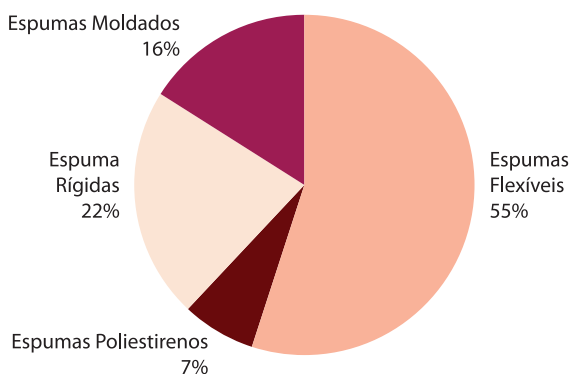
A indústria de fabricação de espumas é composta de quatro subsetores: espumas rígidas, espumas flexíveis, espumas moldadas e espumas de poliestireno. Devido à grande variedade de aplicação, vários ramos da indústria utilizam espumas como partes de seus produtos (PNUD, 2007).

O Gráfico 1 apresenta a participação de cada um desses subsectores na produção nacional de espumas em 2002.

Diversas empresas fabricam espumas rígidas, flexíveis, moldadas/pele integral em poliuretano e espumas termoplásticas, para atender o segmento automotivo, moveleiro, construção civil, refrigeração e outros (PNUD, 2007). Sua composição está estimada em 1.000 empresas,

na grande maioria, pequenas empresas de estrutura familiar. Encontram-se pulverizadas por todo o país, mas há uma concentração nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul.

Gráfico 1 Produção de Espumas em 2002 por Subsetor no Brasil



Fonte: PNUD (2007)

A indústria automotiva faz uso de espumas de pele integral e moldadas flexíveis para assentos, encostos, volantes, encostos para cabeça, descanso para os braços, revestimento de tapetes, isolamento sonoro e muitas outras aplicações. As empresas moveleiras e de estofados produzem blocos flexíveis de espuma e espumas moldadas para almofadas, colchões, travesseiros, entre outros. Na refrigeração, as espumas rígidas são usadas como isolante térmico nos refrigeradores, congeladores, balcões expositores

refrigerados, caminhões, instalações frigoríficas industriais, entre outros. O setor de construção e edificação faz uso de blocos rígidos, painéis, isolamento térmico nos painéis de telhados, assim como processos de *spray* ou de injeção. Outras aplicações diversas incluem assentos de bicicletas e motocicletas, lancheiras, garrafas térmicas, pranchas de *surf*, enfeites e embalagens. Na Tabela 1 é apresentada a aplicação dos tipos de espuma por setor industrial.

Tabela 1 Aplicação dos Variados Tipos de Espuma por Setor da Indústria no Estado de São Paulo

Segmento	Flexíveis	Moldadas	Rígidas	Poliestireno
Automobilístico		X	X	
Moveleiro	X	X		
Construção Civil		X	X	
Refrigeração		X	X	
Embalagens				X

Fonte: PNUD (2007)

1.1 Uso de CFCs, HCFCs e HFCs na Produção de Espumas

Na indústria de fabricação de espumas, os clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) têm sido usados como agentes de expansão tanto para espumas rígidas quanto para espumas flexíveis. Os CFCs e HCFCs foram utilizados como agentes de expansão, pois são compostos com baixo ponto de ebulição volatilizados pelo calor desprendido durante a reação de formação da espuma.

Com a entrada em vigor do Protocolo de Montreal, o principal agente de expansão utilizado, o CFC-11, foi substituído, de um modo geral, pelo HCFC-141b e pelo hidrocarboneto ciclo-pentano.

Além do HCFC-141b, vários agentes de expansão alternativos estão agora em uso globalmente, incluindo, hidrofluorcarbonos (HFCs), ciclo/isopentano, cloreto de metileno (CH_2Cl_2), dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Os compostos HFCs específicos, que podem ser utilizados como substitutos incluem, por exemplo: HFC-125, HFC-134a, HFC-143a e HFC-152a (UNEP, 2003).

De acordo com o tipo de aplicação, diferentes tecnologias alternativas foram utilizadas para a substituição dos CFCs. A Tabela 2 apresenta um resumo de tecnologias alternativas aos CFCs nos processos de cada um dos subsetores de espumas.

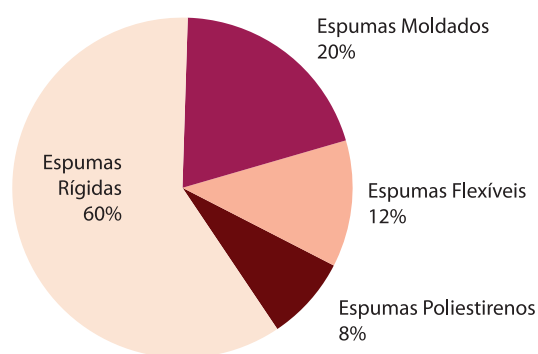
Tabela 2 Tecnologias Disponíveis para a Conversão do Subsetor de Espumas no Estado de São Paulo

Tipo de Espuma	Tecnologia CFC	Tecnologia alternativa
Rígidas	CFC-11	HCFC, HFC, HC, H_2O
Flexíveis	CFC-11	HCFC, H_2O , ciclo-pentano
Moldadas	CFC-11	H_2O , CO_2 , HCFC
Poliestireno	CFC-12	H_2O , GLP

Fonte: UNEP (2003)

Os diferentes tipos de espumas contêm proporções distintas da massa de CFC e HCFC em relação à sua massa total. O consumo de CFC e HCFC por subsetor é caracterizado pelo Gráfico 2.

Gráfico 2 Consumo de CFC e HCFC por Tipo de Espuma de 1998 a 2001 no Estado de São Paulo



Fonte: Brasil (2007b)

O CFC-11, CFC-12, CFC-113 e HCFC-22 eram todos produzidos localmente, havendo também importações para atender as exigências da demanda. Os gases CFC-114, CFC-115 e R-502 também eram importados. Exportações de CFCs para países vizinhos da América do Sul, principalmente a Argentina, também ocorreram. Os consumidores de CFC importavam tanto da América do Norte quanto da Europa, que envolviam importações por agentes comerciais, assim como importações diretas.

As principais instalações de produção de CFCs e HCFCs do Brasil pararam a produção em 1994 e 1999. A importação de CFC-11 e CFC-12, permitidas apenas para o consumo das empresas cadastradas no IBAMA, e que tinham projetos de conversão às tecnologias livres de CFCs, passaram a ser controladas por um sistema de licenciamento, o Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX), conforme a Resolução CONAMA n. 267/2000.

2 Método para Estimar as Emissões de GEE

O método utilizado para as estimativas das emissões de HFCs do subsetor de espumas foi o proposto pelo IPCC (1996) no 1996 *Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e está descrito abaixo. Esse método proposto para estimar as emissões de HFCs utilizados como agentes de expansão na produção de espumas foi também utilizado para a avaliação de emissões das substâncias químicas CFCs e HCFCs, que foram substituídas pelos HFCs nesta aplicação.

2.1 Espuma de Célula Aberta

Para espumas de célula aberta, as emissões de HFC ocorrem durante a fabricação e são iguais a 100% da quantidade de substância química usada como o agente de expansão. Desta forma, as emissões totais de HFC ou perfluorcarbonos (PFC) no ano (t) para espumas de célula aberta podem ser calculados de acordo com a Equação 1:

Equação 1 Emissões de HFCs ou PFCs em Espumas de Célula Aberta Segundo o IPCC

Emissões de HFCs ou PFCs no ano t = 100% da quantidade de HFCs comercializados para produção de espumas de célula aberta no ano t

Visando maior clareza, a Equação 1 foi reescrita, conforme apresentado na Equação 2:

Equação 2 Emissões de GEE em Espuma de Célula Aberta

$$E_a = FE_a \cdot Q_{GEE}$$

onde:

E_a	= Emissão de GEE em espumas de célula aberta	[t.ano ⁻¹]
FE_a	= Fator de emissão de GEE em espumas de célula aberta	[%]
Q_{GEE}	= Quantidade de GEE utilizado como agente de expansão	[t.ano ⁻¹]
a	= Célula aberta	

2.2 Espuma de Célula Fechada

Para espumas de célula fechada, somente cerca de 10% do agente expensor é liberado durante o processo de espumação, enquanto a substância química restante fica contida no

isolamento. Esta quantidade que permanece na espuma é liberada lentamente ao longo dos 20 a 25 anos previstos para o tempo de vida da espuma. Desta forma, emissões de HFC em espuma isolante no ano (t) são calculadas como definido na Equação 3:

Equação 3 Emissões de HFCs ou PFCs em Espumas de Célula Fechada

Emissões de HFCs ou PFCs 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

Visando maior clareza, a Equação 3 foi reescrita, conforme é apresentado na Equação 4, Equação 5, Equação 6, Equação 7, Equação 8, Equação 9 e Equação 10.

Equação 4 Emissões Totais Estimadas de GEE em Espumas de Célula Fechada

$$E_T = E_{esp} + E_{uso}$$

onde:

E_T	= Emissão total de GEE	[t.ano ⁻¹]
E_{esp}	= Emissão de GEE no processo de espumação	[t.ano ⁻¹]
E_{uso}	= Emissão de GEE no processo de uso	[t.ano ⁻¹]
t	= Total	
esp	= Processo de espumação	
uso	= Processo de uso	

Para a estimativa do processo de espumação considerou-se a Equação 5:

Equação 5 Emissões da Fase de Espumação

$$E_{esp} = FE_{esp} \cdot Q_{GEE}$$

onde:

FE_{esp}	= Fator de emissão do processo de espumação	[%]
------------	---	-----

Para a estimativa da fase de uso considerou-se a Equação 6:

Equação 6 Emissões da Fase de Uso

$$E_{uso} = E_{inicial} + E_{vida} + E_{final}$$

onde:

$E_{inicial}$	= Emissão de GEE no primeiro ano de uso da espuma	[t.ano ⁻¹]
E_{vida}	= Emissão de GEE durante a vida útil da espuma	[t.ano ⁻¹]
E_{final}	= Emissão de GEE no último ano de uso da espuma	[t.ano ⁻¹]
inicial	= Primeiro ano de uso da espuma	
vida	= Vida útil da espuma	
final	= Último ano de uso da espuma	

Admitiu-se que a espuma foi fabricada no meio do ano t e, desta forma, as emissões de GEE apresentaram um atraso de meio ano, conforme Equação 7.

Equação 7 Emissões de GEE no Primeiro ano de Uso da Espuma

$$E_{inicial} = FE_{uso} \cdot D_{inicial} \cdot Q_{GEE}$$

onde:

FE_{uso}	Fator de emissão de uso	[%]
$D_{inicial}$	Atraso anual inicial	[%]

A quantidade de GEE que permanece na espuma é liberada lentamente ao longo do tempo de vida útil da espuma, conforme Equação 8.

Equação 8 Emissões de GEE Durante a Vida Útil da Espuma

$$E_{vida} = \sum_{i=1}^{i=19} (FE_{uso} \cdot Q_{GEE})$$

Pelo fato de considerar que a espuma foi fabricada no meio do ano e , com isso, apre-

sentar um tempo de meio ano para o início das emissões do GEE contido na espuma, considerou-se também um prolongamento de meio ano no final do tempo de vida da espuma, conforme Equação 9.

Equação 9 Emissões de GEE no Último Ano de Uso da Espuma

$$E_{final} = FE_{uso} \cdot D_{final} \cdot Q_{GEE}$$

Para as estimativas de CFC-11 e HCFC-141b, não foi possível obter dados de consumo no Estado de São Paulo, sendo estimados conforme a Equação 10:

Equação 10 Quantidade Estimada de Gás Consumida no Estado de São Paulo

$$Q_{GEEsp} = Q_{Br} \cdot F_{SP}$$

onde:

Q_{GEEsp}	Quantidade estimada de gás consumido no Estado de São Paulo	[t.ano ⁻¹]
Q_{Br}	Quantidade de gás consumido no Brasil	[t.ano ⁻¹]
F_{SP}	Fração de gás estimado ao Estado de São Paulo	[%]

A Equação 10 foi aplicada para o período de 1990 a 2008, para o qual havia dados de consumo nacionais. Para o período de 1970 a 1989, também foi necessário obter dados de consumo, porém, estes foram estimados conforme a Equação 11, apresentada na seção a seguir.

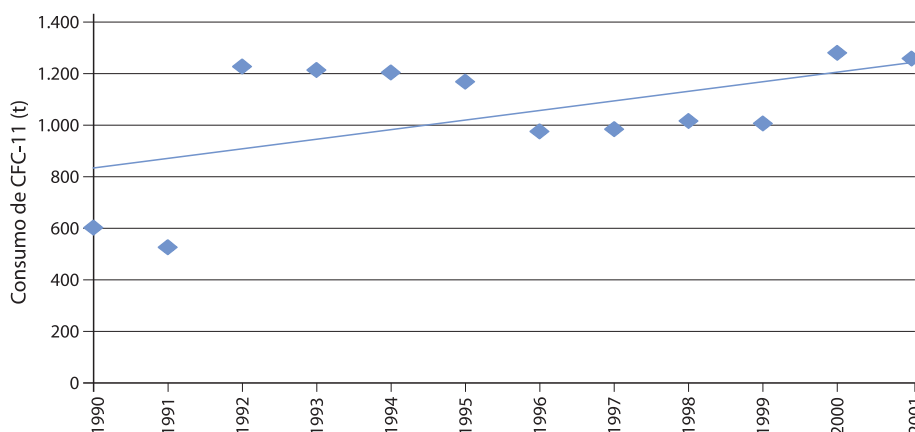
3 Método para a Estimativa de Dados de Consumo de CFC-11

Para a estimativa das emissões em espumas de células fechadas, no período considerado e utilizando-se o método apresentado anteriormente, foi necessário o cômputo de emissões ocasionadas por espumas fabricadas desde 1970 (adotando-se um tempo de vida médio da espuma de 20 anos).

Para a estimativa das informações sobre o consumo de CFC-11 da produção de espumas no período de 1970 a 1989, foram empregados dados de consumo de 1990 a 2001. Para as estimativas considerou-se que o Estado de São Paulo é responsável pelo consumo de 60% do CFC-11 do subsetor de espumas do país de 1990 a 2001 e que 75% das emissões ocorrem em espumas de célula fechada.

Os dados de consumo estadual de CFC-11 em espumas de célula fechada no período de 1970 a 1989 foram estimados conforme a Equação 11, cujo comportamento é linear. O Gráfico 3 apresenta o comportamento das estimativas para o período de 1970 a 2001.

Gráfico 3 Consumo de CFC-11 para Espumas de Célula Fechada de 1970 a 2011 no Estado de São Paulo



Equação 11 Consumo Estimado de CFC-11 para o Período de 1970 a 1989

$$C_{CFC-11} = 37,21153846 \cdot ano - 73215,7500000$$

4 Dados

A obtenção dos dados de atividade, mencionados anteriormente, para a realização da estimativa de emissões se mostrou uma atividade complexa e difícil de realizar. Dados de atividade, muitas vezes, não são tornados públicos por questões de sigilo, outras vezes, são informações que não são monitoradas e contabilizadas.

Enfrentaram-se, também, dificuldades para a regionalização dos dados, fruto da ausência de estatísticas oficiais ou públicas sobre o mercado desse setor industrial no estado.

Considerando-se a indústria de espumas no Brasil e no Estado de São Paulo, os agentes de expansão para os quais foram levantados os dados e, conseqüentemente, realizadas as estimativas são o HFC-134a, CFC-11 e HCFC-141b.

4.1 Fator de Emissão para Espumas de Célula Aberta (FE_a)

Para espumas de célula aberta as emissões de GEE¹ ocorrem durante a fabricação e são iguais a 100% da quantidade de substância química usada como agente de expansão. Portanto, para as estimativas de emissões em célula aberta foi empregado o FE igual a 1.

4.2 Fator de Emissão para Espumas de Célula Fechada no Processo de Espumação (FE_{esp})

Para espumas de célula fechada, somente cerca de 10% do agente expensor é liberado durante o processo de espumação, enquanto a substância química restante fica contida no isolamento. Portanto, para as estimativas em célula fechada foi empregado o FE igual a 0,1.

4.3 Fator de Emissão para Espumas de Célula Fechada durante a Vida Útil da Espuma (FE_{uso})

A quantidade de GEE que permanece na espuma é liberada lentamente ao longo dos 20 a 25 anos previstos para o tempo de vida da espuma. Neste inventário foi adotada a recomendação de 4,5% de emissões por ano, apresentada pelo IPCC (2000), ou seja, o FE

igual a 0,045. Foi considerado um tempo de vida útil de 20 anos.

4.4 Atraso Anual Inicial ($D_{inicial}$)

Admitiu-se que a espuma foi fabricada no meio do ano (t) e, desta forma, as emissões de GEE apresentaram um atraso de meio ano. O atraso inicial ($D_{inicial}$) foi de 0,5.

4.5 Prolongamento Anual Final (D_{final})

Pelo fato de considerar que a espuma foi fabricada no meio do ano e, com isso, apresentar um atraso de meio ano no início das emissões do GEE contido na espuma, considerou-se também um prolongamento de meio ano no final do tempo de vida da espuma. O atraso final (D_{final}) foi de 0,5.

4.6 Consumo de HFC-134a

Para a realização das estimativas considerou-se que o HFC-134a foi consumido 100% na produção de espumas de célula fechada. Nas pesquisas e contatos realizados com empresas e associações do setor, foi encontrado um uso muito pequeno de HFC-134a na produção de espumas em uma única empresa.

1 O IPCC de 2000 apresenta método e fatores de emissão para as emissões de HFC ou PFC no subsetor de espumas, porém em decorrência da extensão de empregabilidade do método para outros gases, empregou-se neste inventário o termo GEE.

Tabela 3 Consumo de HFC-134a no Estado de São Paulo

Ano	Quantidade	Unidade
2006	50	[t]
2007	50	[t]
2008	50	[t]

Fonte: PURCOM (2010)

4.7 Consumo de CFC-11

A estimativa das emissões de CFCs e HCFCs foi realizada utilizando o mesmo método apresentado para os HFCs, já que o processo de produção é o mesmo diferindo somente a substância química utilizada como agente de expansão. Para a realização dos cálculos é necessário saber o consumo de HFC, CFCs ou HCFCs consumidos na produção de espumas de célula aberta e de célula fechada.

Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados nacionais sobre o consumo de CFC-11 no subsetor de espumas. As informações obtidas são apresentadas a seguir, na Tabela 4 e Gráfico 4.

Considerou-se que 60% do CFC consumido no país foi produzido no Estado de São Paulo, e que 35% foi consumido no próprio estado, dividindo sua aplicação entre espumas de célula aberta e espumas de célula fechada.

O Gráfico 4 apresenta o consumo de CFC-11 no Brasil no período de 1990 a 2002. Após 2002 o consumo de CFC-11 para a produção de espumas foi muito pequeno devido a sua substituição pelo HCFC-141b.

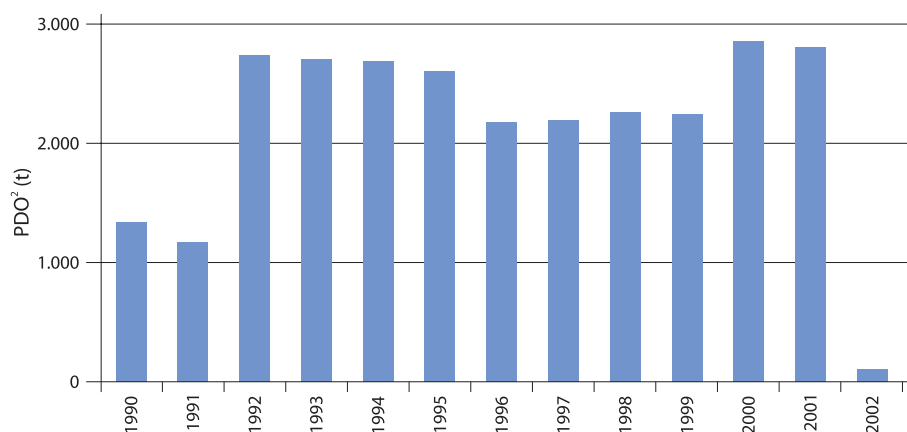
Não existem estatísticas a respeito do uso de CFC-11 do subsetor de espumas no Estado de

Tabela 4 Consumo de CFC-11 do Subsetor de Espumas no Brasil e Produção de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo

Tempo	Consumo do Brasil	Produção do Estado*
[ano]	[t _{CFC-11} .ano ⁻¹]	[t _{CFC-11} .ano ⁻¹]
1990	1.340	804
1991	1.170	702
1992	2.730	1.638
1993	2.700	1.620
1994	2.680	1.608
1995	2.600	1.560
1996	2.170	1.302
1997	2.190	1.314
1998	2.260	1.356
1999	2.240	1.344
2000	2.850	1.710
2001	2.800	1.680
2002	100	60

Fonte: Brasil (2007)

*Dados de produção estimados e baseados no consumo do país.

Gráfico 4 Consumo de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Brasil

Fonte: Brasil (2007)

*Dados de produção estimados e baseados no consumo do país.

São Paulo. Para as estimativas considerou-se que São Paulo é responsável pela produção de 60% do que é consumido no país, e que, cerca de 35% dessa produção é consumida localmente. Considerou-se também que 25% do CFC-11 estadual desse subsetor foi consumido em espumas de célula aberta e 75% em espumas de célula fechada.

Os dados estão apresentados a seguir, na Tabela 5.

2 O conceito de PDO é a relação do impacto na camada de ozônio de uma substância química comparado ao impacto de uma massa similar de CFC-11, definido como tendo PDO igual a 1,0.

Tabela 5 Aplicação da Produção nos anos de 1970 a de CFC-11 no Estado de São Paulo

Tempo	Quantidade em Célula Aberta*	Quantidade em Célula Fechada*	Tempo	Quantidade em Célula Aberta**	Quantidade em Célula Fechada**
[ano]	[t]	[t]	[ano]	[t]	
1970	30	91	1990	201	603
1971	43	128	1991	176	527
1972	55	165	1992	410	1.229
1973	68	203	1993	405	1.215
1974	80	240	1994	402	1.206
1975	92	277	1995	390	1.170
1976	105	314	1996	326	977
1977	117	352	1997	329	986
1978	130	389	1998	339	1.017
1979	142	426	1999	336	1.008
1980	154	463	2000	428	1.283
1981	167	500	2001	420	1.260
1982	179	538	2002	15	45
1983	192	575	2003		
1984	204	612	2004		
1985	216	649	2005		
1986	229	686	2006		
1987	241	724	2007		
1988	254	761	2008		
1989	266	798			

*As quantidades foram estimadas empregando-se o método apresentado pela Equação 11.

**As quantidades foram estimadas a partir de hipóteses aplicada a dados de consumo nacional.

4.8 Consumo de HCFC-141b

A eliminação do uso de CFC-11 como agente de expansão na produção de espumas foi obtida por meio da sua substituição por outra substância química halogenada, o HCFC-141b. Assim como o CFC-11, o HCFC-141b é uma substância destruidora do ozônio estratosférico, mas possui um potencial de destruição de ozônio (PDO) muito menor e

por isso com um prazo de eliminação previsto pelo Protocolo de Montreal mais longo (até 2030). Tanto o CFC-11 quanto o HCFC-141b são GEE.

Os dados de consumo nacional (importação) de HCFC-141b são apresentados na Tabela 6. Considera-se que esse consumo seja do subsetor de espumas (eventuais outros usos,

Tabela 6 Consumo Nacional (Importação) de HCFC-141b e Produção de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo

Tempo	Consumo Nacional	Produção Estadual	Quantidade em Célula Aberta	Quantidade em Célula Fechada
[ano]	[t]	[t]	[t]	[t]
2002	2.820	1.692	423	1.269
2003	3.212	1.927	482	1.445
2004	3.894	2.336	584	1.752
2005	3.759	2.255	564	1.691
2006	3.529	2.118	529	1.588
2007	4.933	2.960	740	2.220
2008	4.673	2.804	701	2.103

Fonte: ALICE-Web³ (2010)

3 Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet, denominado ALICE-Web, da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), vide Anexo A.

como para solventes, são muito pequenos e podem ser desprezados).

Não existem estatísticas a respeito do uso de HCFC-141b do subsetor de espumas no Estado de São Paulo. A partir de contatos com empresas, associações e especialistas do setor partiu-se da hipótese de que o Estado de São Paulo seja responsável por 60% da produção nacional de espumas e consequente consumo de HCFC-141b, e que 35% dessas espumas sejam consumidas ou utilizadas localmente. Considerou-se também que 25% do HCFC-141b foi consumido em espumas de célula aberta e 75% em espumas de célula fechada (valores médios para o período de 2002 a 2008).

5 Considerações Finais

A obtenção dos dados de atividade mencionados acima para a realização da estimativa de emissões se mostrou uma tarefa complexa e difícil de realizar. A questão da disponibilidade e obtenção de dados, assim como sua confiabilidade é o ponto crucial de um inventário. Infelizmente, e isto não se restringe somente ao nosso país, dados de atividade muitas vezes não são tornados públicos por questões de sigilo, motivadas pela competição empresarial no mercado. Outras vezes não são informações monitoradas e contabilizadas.

Além dos problemas existentes no levantamento de dados nacionais específicos por tipo de espuma, adiciona-se a dificuldade de regionalização desses dados para a obtenção de informações para o Estado de São Paulo, fruto da ausência de estatísticas oficiais ou públicas sobre o mercado desse setor industrial.

Este inventário apresentou as emissões de GEE de 1990 a 2008 no setor de espumas e considera os três principais gases utilizados pelo subsetor no Estado de São Paulo neste período: CFC-11, HCFC-141b e o HFC-134a. A Tabela 7 apresenta as emissões de GEE do subsetor no período de 1990 a 2008.

O Gráfico 5 apresenta a evolução no perfil das emissões de GEE no subsetor de espumas no

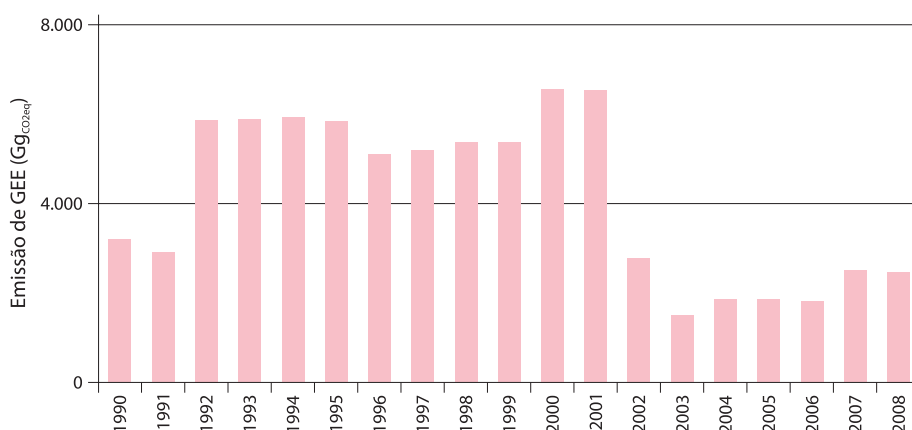
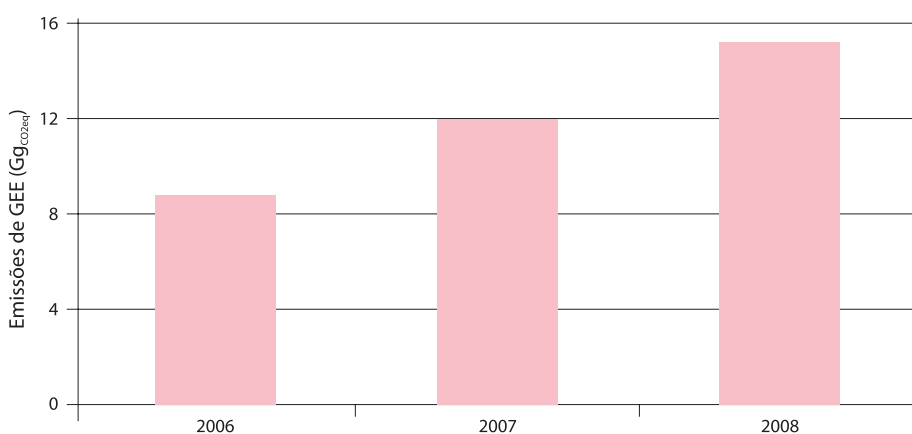
Tabela 7 Emissões de GEE do Subsetor de Espumas de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Tempo	Emissão incluindo os GEE cobertos pelo Protocolo de Montreal	Emissão Não Incluindo os GEE cobertos pelo Protocolo de Montreal
[ano]	[Gg _{CO2eq}]	[Gg _{CO2eq}]
1990	3.167	-
1991	2.886	-
1992	5.830	-
1993	5.852	-
1994	5.889	-
1995	5.811	-
1996	5.072	-
1997	5.158	-
1998	5.335	-
1999	5.343	-
2000	6.525	-
2001	6.492	-
2002	1.906	-
2003	477	-
2004	592	-
2005	592	-
2006	587	9
2007	810	12
2008	802	15

Estado de São Paulo para o período de 1990 a 2008. Essas emissões são referentes a HFC-134a, CFC-11 e HCFC-141b.

No ano de 2005, as emissões do setor foram decorrentes da utilização do gás HCFC-141b, apresentando uma emissão de aproximadamente 592 Gg_{CO2eq} no ano.

O Gráfico 6 apresenta a evolução no perfil das emissões de GEE no subsetor de espumas no Estado de São Paulo para o período de 1990 a 2008.

Gráfico 5 Emissões de GEE do Subsetor de Espumas Incluindo os GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo**Gráfico 6** Emissões de GEE do Subsetor de Espumas Não Incluindo os GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008⁴ no Estado de São Paulo

5.1 Emissões de HFC-134a

O uso de HFCs no subsector de espumas no Brasil e no Estado de São Paulo é muito pequeno. Foi identificado somente o uso de HFC-134a em uma empresa no estado que consome 50 t.ano⁻¹ desde 2006 na produção de espumas rígidas de célula fechada. A partir da Equação 4 foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 8 e no Gráfico 7.

Tabela 8 Emissões de HFC-134a do Subsetor de Espumas de 2006 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	HFC-134a	HFC-134a	HFC-134a
	[t]	[t _{CO2eq}]*	[Gg _{CO2eq}]*
2006	6	8.759	9
2007	8	11.976	12
2008	11	15.194	15

* Foi utilizado o Potencial de Aquecimento Global (GWP) do HFC-134a igual a 1.430 (IPCC, 2007).

4 As emissões de GEE do subsector de Espumas não incluindo os GEE controlados pelo Protocolo de Montreal referem às emissões de HFC134a.

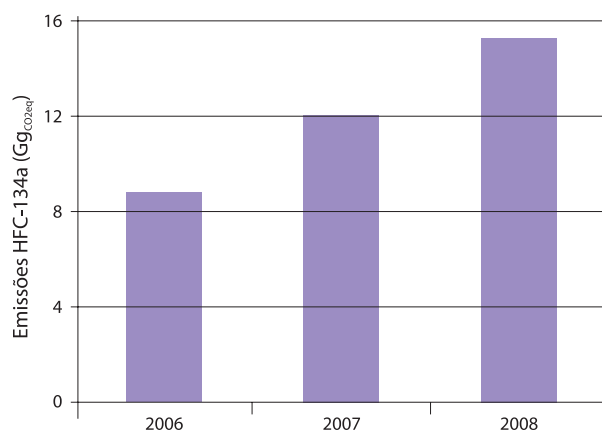


Gráfico 7 Emissões de HFC-134a de 2006 a 2008 do Subsetor de Espumas no Estado de São Paulo

5.2 Emissões de CFC-11

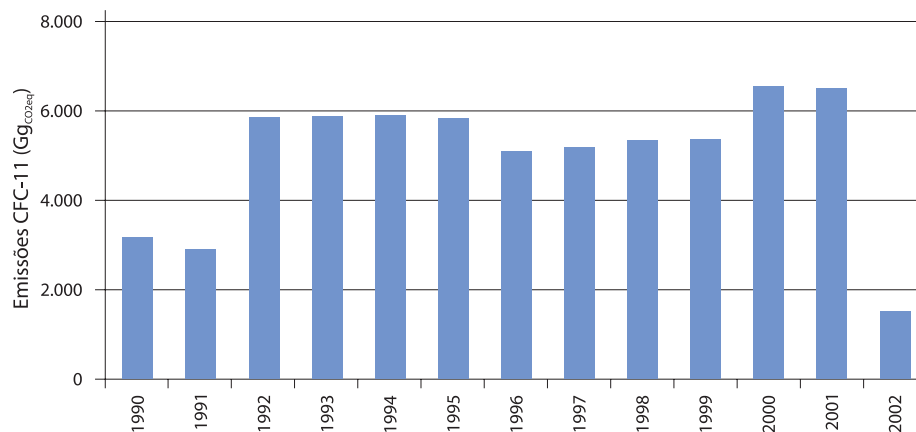
Empregando as considerações anteriores, a estimativa para as emissões de CFC-11 de 1990 a 2002 do subsetor de espumas no Estado de São Paulo é apresentada na Tabela 9 e no Gráfico 8.

Tabela 9 Emissões de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo

Ano	Consumo CFC-11 Brasil	Consumo CFC-11 São Paulo	Consumo em Espumas de Célula Aberta (25%)	Consumo em Espumas de Célula Fechada (75%)	Emissões Célula Aberta (100%)	Emissões na Célula fechada no Processo de Espumação (10%)	Emissões Célula na Fechada (4,5% a.a por 20 Anos e (35% "Instalados" em SP)	Total	Total
	[t]								[GgCO _{2eq}]
1990	1.340	804	201	603	201	60	405	666	3.167
1991	1.170	702	176	527	176	53	379	608	2.886
1992	2.730	1.638	410	1.229	410	123	695	1.228	5.830
1993	2.700	1.620	405	1.215	405	122	706	1.233	5.852
1994	2.680	1.608	402	1.206	402	121	717	1.240	5.889
1995	2.600	1.560	390	1.170	390	117	716	1.223	5.811
1996	2.170	1.302	326	977	326	98	645	1.069	5.072
1997	2.190	1.314	329	986	329	99	659	1.087	5.158
1998	2.260	1.356	339	1.017	339	102	682	1.123	5.335
1999	2.240	1.344	336	1.008	336	101	688	1.124	5.343
2000	2.850	1.710	428	1.283	428	128	818	1.374	6.525
2001	2.800	1.680	420	1.260	420	126	821	1.367	6.492
2002	100	60	15	45	15	5	296	316	1.500

* Foi utilizado o valor para o GWP do HCFC-141b igual a 725 (IPCC, 2007)

Gráfico 7 Emissões de CFC-11 do Subsetor de Espumas de 1990 a 2002 no Estado de São Paulo



5.3 Emissões de HCFC-141b

A estimativa de emissões de HCFC-141b seguiu as mesmas considerações das estimativas de emissões do CFC-11.

A eliminação do uso de CFC-11 como agente de expansão na produção de espumas foi obtida por meio da sua substituição por outra substância química halogenada o

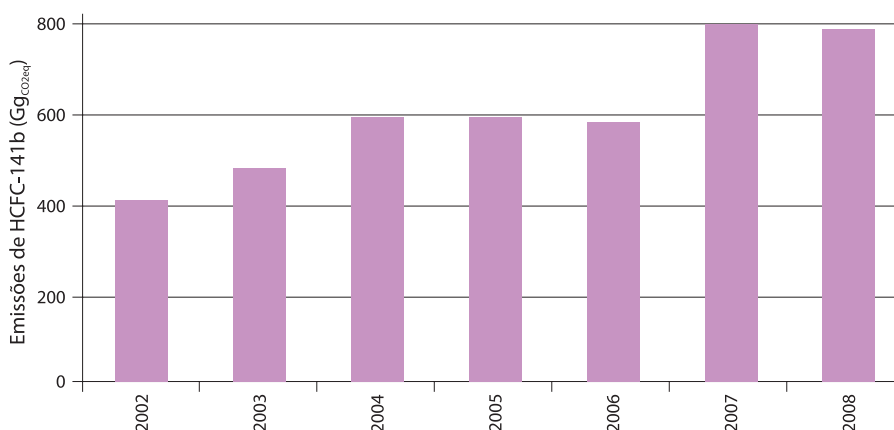
HCFC-141b. Os dados de consumo nacional (importação) de HCFC-141b são apresentados na Tabela 6. Considera-se que esse consumo seja para o subsetor de espumas (eventuais outros usos, como para solventes, são muito pequenos e podem ser desprezados). A Tabela 10 e o Gráfico 9 apresentam a estimativa das emissões de HCFC-141b de 2002 a 2008.

Tabela 10 Emissões de HCFC-141b do Subsetor de Espumas de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Consumo HCFC-141b Brasil	Consumo HCFC-141b São Paulo	Consumo em Espumas de Célula Aberta (25%)	Consumo em Espumas de Célula Fechada (75%)	Emissões Célula Aberta	Emissões em Célula Fechada no Processo de Espumação (10%)	Emissões em Célula Fechada (4,5% a.a por 20 Anos e 35% "Instalados" em SP)	Total	Total
	[t]								[Gg _{CO2eq}]
2002	2.820	1.692	423	1.269	423	127	10	560	406
2003	3.212	1.927	482	1.445	482	145	31	658	477
2004	3.894	2.336	584	1.752	584	175	57	816	592
2005	3.759	2.255	564	1.691	564	169	84	817	592
2006	3.529	2.118	529	1.588	529	159	109	798	578
2007	4.933	2.960	740	2.220	740	222	139	1.101	798
2008	4.673	2.804	701	2.103	701	210	174	1.085	786

* Foi utilizado o valor para o GWP do HCFC-141b igual a 725 (IPCC, 2007)

Gráfico 8 Emissões de HCFC-141b do Subsetor de Espumas de 2002 a 2008 no Estado de São Paulo



Referências

BRASIL. MMA. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **20 anos do Protocolo de Montreal**. Brasília: MMA, 2007.

IPCC. **Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007**. New York: Cambridge University Press, 2007.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.

PNUD. Atividades Desenvolvidas pelo PNUD, em Apoio ao Esforço do Governo Brasileiro, para a Proteção da Camada de Ozônio. Relatório. Brasília, 2007.

PROZON. **Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO**. Revisão Geral, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1999.

PURCOM. Dado não publicado, 2010.

UNEP. **2002 Report of the Rigid and Flexible Foams Technical Options Committee: 2002 Assessment**. Nairobi: UNEP, 2003.

UNIVERSIDADE DO MINHO. **Grupo Investigação de Plásticos Celulares**. 2010. Disponível em: <<http://embalagenscelulares.no.sapo.pt/>>. Acesso em: 23 set. 2010.

VILAR, W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. Disponível em: <www.poliuretanos.com.br>. Acesso em: 23 set. 2010.

Anexos

Anexo A. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior Via Internet, denominado ALICE-Web

O Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet, denominado ALICE-Web, da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do MDIC, foi desenvolvido com vistas a modernizar as formas de acesso e a sistemática de disseminação dos dados estatísticos das exportações e importações brasileiras.

O ALICE-Web é atualizado mensalmente, quando da divulgação da balança comercial, e tem por base os dados obtidos a partir do Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX), sistema que administra o comércio exterior brasileiro. No momento, o acesso ao ALICE-Web é gratuito. Para proceder à consulta, basta clicar no módulo de pesquisa desejado. As informações do ALICE-Web são disponibilizadas em base mensal e acumuladas, a partir de janeiro de 1989 até o último mês divulgado.

As informações são expressas em dólares dos Estados Unidos, na condição de venda FOB (*Free on Board*), e em quilograma líquido. Quando constar da pesquisa a variável mercadoria, além das informações anteriores, aparecerá a quantidade da mercadoria expressa na unidade de comercialização (unidade estatística) e os respectivos preços médios. Estão disponíveis para consulta as seguintes informações, tanto para a exportação quanto para a importação:

- Mercadoria;
- País;
- Bloco Econômico;
- Unidade da Federação (Estados e Distrito Federal);
- Via de transporte;
- Porto.

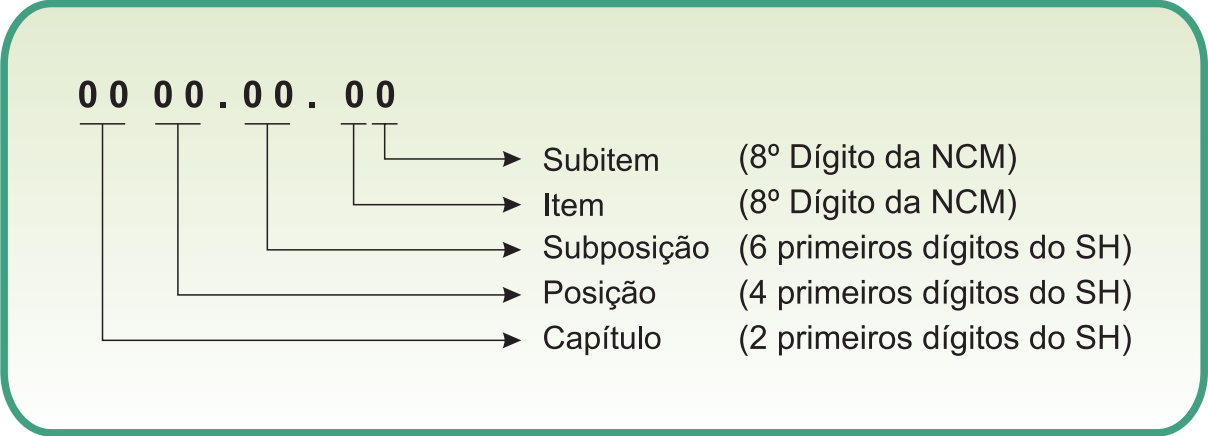
Os conceitos e definições relativos às variáveis de consulta disponíveis no ALICE-Web são:

Exportação - corresponde às mercadorias embarcadas para o exterior, sem retorno previsto;

Importação - corresponde à entrada de mercadorias originárias do exterior, sem retorno previsto;

Mercadoria - corresponde a todo produto objeto de uma exportação ou importação. Para efeito de classificação de mercadorias, o Brasil passou a utilizar, desde 1996, a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), utilizada igualmente pelos demais países partícipes do bloco (Argentina, Paraguai e Uruguai), baseado no Sistema Harmonizado de Designação e de Codificação de Mercadorias (SH).

Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) - A NCM é composta de oito dígitos, sendo os seis primeiros formados pelo Sistema Harmonizado (SH) (capítulo, posição e subposição), e os dois últimos (item e subitem), criados de acordo com a definição estabelecida entre os países do Mercosul. A classificação das mercadorias na NCM rege-se pelas Regras Gerais para a Interpretação do SH. O código NCM apresenta a seguinte estrutura:



1 Introdução

Aerossol, neste documento, é a denominação dada a um sistema que consiste em uma embalagem, normalmente metálica, pressurizada, contendo uma mistura de um produto (desodorante, tinta, inseticida, medicamento, etc.) e um gás propelente. Essa embalagem contém uma válvula que, ao ser pressionada, libera a mistura de produto e propelente sob a forma de um *spray* com o nome de aerossol (dispersão de partículas em um meio). Têm como princípio de funcionamento o fato de serem produtos de autopropulsão, e possuem como propelente, que é o motor do aerossol, um gás liquefeito ou um gás comprimido.

A indústria do aerossol engloba a produção de produtos cosméticos, farmacêuticos, veterinários, domissanitários e industriais.

A patente do aerossol data de 1862 (*John Lynde*) e desde essa época o aerossol passou por diversos estudos, aperfeiçoamentos e teve um desenvolvimento acentuado a partir da Segunda Guerra Mundial.

De acordo com Chilomer (2010), os avanços mais significativos relacionados a aerossóis, foram alcançados por *Rotheim* em 1931. O mesmo relatou o método para atomizar composições que envolviam a dissolução de materiais como laquê, sabonete líquido, resinas e produtos cosméticos em dimetil éter, num recipiente fechado, onde as descargas eram realizadas por meio de uma válvula. *Rotheim* observou que o *spray* variava em função da quantidade de dimetil éter no interior do frasco. Constatou também que era necessário construir a válvula de forma que o orifício que levava à câmara de expansão tivesse diâmetro menor do que o orifício aberto para a atmosfera.

Desde o início da produção de aerossóis, diversos propelentes foram utilizados, tais como dióxido de carbono (CO_2), cloreto de metila, dimetil éter isobutano, cloreto de vinila, etc.

O uso de propelentes constituídos por clorofluorcarbonos (CFC), em substituição aos que vinham sendo utilizados, foi um dos fatores essenciais para a produção em massa de aerossóis e para a sua consolidação na aplicação em produtos cosméticos e medicinais.

A partir da descoberta da ação danosa dos CFCs sobre a Camada de Ozônio e da proibição do seu uso nos aerossóis como uma das determinações do Protocolo de Montreal, antigos e novos propelentes começaram a ser utilizados, entre eles o GLP (mistura de gases, butano, isobutano, propano e outros gases insaturados), CO_2 e nitrogênio. Esses gases são utilizados atualmente em 95% dos aerossóis, o restante usa hidrofluorcarbonetos (HFCs) (em geral, o HFC-134a), que foram escolhidos por suas propriedades especiais principalmente para uso em aerossóis medicinais em Inaladores de Dose Calibrada, os *Metered Dose Inhalers* (MDIs).

1.1 Uso de Substâncias Constituídas por GEE no Subsetor de Aerossóis

Os propelentes CFCs e HFCs, utilizados em aerossóis medicinais a partir da proibição do seu uso em outras aplicações, são Gases de Efeito Estufa (GEE). Os CFCs são controlados pelo Protocolo de Montreal, devido à sua ação danosa sobre a Camada de Ozônio os HFCs, são controlados pelo Protocolo de Quioto.

1.2 GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal - SDOs

Os aerossóis podem ser classificados em produtos não medicinais e medicinais, tratados nos itens a seguir.

1.2.1 Produtos Não Medicinais

O uso de CFC na produção de aerossóis não medicinais, como produtos de higiene pessoal, *spray* para cabelo, perfumes, produtos domésticos, inseticidas, produtos automotivos, produtos industriais, tintas, entre outros. Esses foram proibidos em 1988, de acordo com a legislação brasileira, antes do Brasil se tornar parte do Protocolo de Montreal (BRASIL, 2007).

Os fabricantes de aerossóis tiveram o prazo de um ano para fazer a conversão para tecnologias de propelentes sem CFCs e, de acordo com o Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e Consumo de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio de 1994 (BRASIL, 1994), a conversão foi concluída em 1989. Desta forma, para o período considerado neste estudo (1990 a 2008), não ocorreu a emissão de CFCs por aerossóis não medicinais.

Atualmente, em todo o mundo, os hidrocarbonetos (misturas de butano/propano) são os propelentes mais usados para substituir as misturas de CFC-12, CFC-12/11 e CFC-12/114. O éter metílico comprimido e gases dissolvidos, como nitrogênio e dióxido

de carbono, assim como meios alternativos de embalagens, também têm tido seu papel na substituição de CFCs usados como propelentes de aerossóis (UNEP, 2003).

1.2.2 Produtos Medicinais

O Protocolo de Montreal adotou uma categoria chamada de usos essenciais para permitir o uso de substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDOs) em aplicações onde, até o momento, não havia tecnologia alternativa ao uso de SDOs comercialmente disponível. O uso de CFCs em formulações farmacêuticas e em medicamentos para tratamentos em forma de aerossol, tais como MDIs, se encaixou nessa definição, conforme apresentado na Resolução CONAMA n. 267 (CONAMA, 2000), e foi isentado da legislação de 1988.

Dessa forma, o consumo de CFCs, após 1989, no subsetor de aerossóis se destinou à fabricação de inaladores MDIs, predominantemente produtos bronco-dilatadores, para o tratamento de asma e doenças pulmonares obstrutivas crônicas (BRASIL, 2007). Os CFCs usados na produção de MDIs foram os CFC-11 e CFC-12. Esse consumo continua em 2008 e a substituição de CFCs em produtos aerossóis farmacêuticos especializados tem sido realizada com a adoção do HFC-134a ou de outras formas de embalagens dosimetradas.

2 Método

O método empregado para estimar as emissões do Subsetor de Solventes foi o do IPCC (IPCC, 1996). Neste método são apresentados parâmetros para calcular emissões associadas a diversos processos industriais e considera de um modo geral, a quantidade de material produzido ou consumido e um fator associado de emissão por unidade de consumo ou produção, conforme a Equação 1.

Equação 1 Emissões de Processos Industriais

$$Total_{ij} = A_j \cdot FE_{ij}$$

onde:

Total _{ij}	= Emissões	t _{GEE} ·ano ⁻¹
A _j	= Atividade ou produção no setor industrial j	t _{produto} ·ano ⁻¹)
FE _{ij}	= Fator de emissão associado com gás i por unidade de atividade no setor industrial j	(t _{GEE} ·t _{produto})
i	= Tipo do gás	
j	= Setor industrial	

Para a obtenção dos resultados em Gg e, considerando os dados disponíveis, realizou-se uma adaptação, resultando na Equação 2.

Equação 2 Emissões de GEE do Subsetor de Aerossóis

$$E(i) = Q_{aerossol} \cdot FE_{aerossol(i)} \cdot 10^{-3}$$

onde:

E	= Emissões de GEE i	[Gg _{GEE} ·ano ⁻¹]
Q _{aerossol}	= Quantidade do produto	[t _{aerossol}]
FE _{aerossol}	= Fator de emissão associado com GEE i por unidade de atividade do setor	[t _{GEE} ·t _{aerossol}]
10 ⁻³	= Conversão de t para Gg	[Gg·t ⁻¹]
i	= tipo de GEE	

3. Dados de Consumo de CFCs para Uso em Inaladores de Dose Calibrada - MDIs (Metered Dose Inhalers)

O uso anual de MDIs no Brasil é atendido por poucas empresas farmacêuticas multinacionais, que produzem ou importam seus produtos, principalmente da Europa.

3.1 Quantidade de Aerossol (Q)

A avaliação do consumo realizada pelo MMA em 1999 (BRASIL, 1999), durante os estudos de revisão do Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (PBCO), apresentada na Tabela 1, foi utilizada para a estimativa dos consumos de CFC-11 e CFC-12 em aerossóis medicinais do Estado de São Paulo.

Tabela 1 Consumo Estimado de CFC-11 e CFC-12 em Aerossóis de 1995 a 2008 no Brasil

Ano	CFC-11	CFC-12
	[t _{CFC-11}]	[t _{CFC-12}]
1995	54	105
1996	57	114
1997	61	124
1998	70	143
1999	77	155
2000	85	170
2001	95	192
2002	110	200
2003	125	220
2004	140	240
2005	155	265
2006	173	278
2007	194	302
2008	216	328

Fonte: Brasil (1999)

Para estimar o consumo no Estado de São Paulo, considerou-se que há uma distribuição homogênea nacionalmente da população que utiliza os MDIs, e, dessa forma, considerou-se que o uso de MDIs e a consequente emissão do seu propelente podem ser estimados considerando a participação relativa

Tabela 2 Consumo Estimado de CFC-11 e CFC-12 em Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CFC-11	CFC-12
	[t _{CFC-11}]	[t _{CFC-12}]
1995	11,6	22,6
1996	11,9	23,5
1997	12,7	25,6
1998	14,1	28,7
1999	15,8	32,0
2000	17,4	34,9
2001	19,4	38,9
2002	22,0	42,1
2003	25,3	45,2
2004	28,5	49,5
2005	31,7	54,3
2006	35,3	58,4
2007	39,5	62,4
2008	44,1	67,7

Fonte: Brasil (1999)

da população do Estado de São Paulo em relação à população nacional¹.

Os dados permitem estabelecer uma relação média entre a população do Estado de São Paulo e a população brasileira de 21,5%, sendo esse o percentual adotado para estimar o consumo estadual.

3.2 Fator de Emissão (FE)

As emissões de aerossóis normalmente ocorrem geralmente pouco depois da produção, em média seis meses depois da venda. Entretanto, o período entre fabricação e venda pode variar significativamente, dependendo da subaplicação envolvida. Durante o uso de aerossóis, 100% da substância química é emitida (IPCC, 2000), sendo assim o fator de emissão adotado igual a 1.

1 Para a realização da comparação, empregaram-se dados da população nacional do IBGE (2008) e dados da população estadual da Fundação Seade (SEADE, 2010). A evolução das populações nacionais e do Estado de São Paulo é apresentada nas tabelas do Anexo B.

4 Resultados Obtidos para Estimativa de Emissões de CFCs

A seguir, são apresentadas as estimativas de emissões, calculadas para os propelentes CFCs.

4.1 Emissões de CFCs

A estimativa das emissões de CFCs será realizada utilizando o método apresentado anteriormente, já que o processo de uso é o mesmo, diferindo somente a substância química utilizada. Para a realização dos cálculos é necessário saber o consumo de CFCs ao longo do período considerado. Como não existem estatísticas a respeito do uso de CFC-11 e CFC-12 em aerossóis no Estado de São Paulo, adotou-se a estimativa de consumo nacional apresentada na Tabela 1 e a proporção populacional para determinar o consumo do estado.

A Tabela 3, a Tabela 4, o Gráfico 1 e o Gráfico 2 apresentam a estimativa de emissões de CFC-11 e CFC-12. A estimativa foi realizada a partir da Equação 2 apresentada anteriormente e considerando o consumo apresentado na Tabela 2 e a hipótese de ponderação pelas populações do estado e do país.

Tabela 3 Emissões de CFC-11 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões CFC-11	
	[t _{CFC-11}]	[t _{CO2eq}]*
1995	11,6	55.148
1996	11,9	56.679
1997	12,7	60.254
1998	14,1	66.892
1999	15,8	75.062
2000	17,4	82.721
2001	19,4	91.913
2002	22,0	104.678
2003	25,3	119.997
2004	28,5	135.316
2005	31,7	150.634
2006	35,3	167.485
2007	39,5	187.399
2008	44,1	209.356

* Foi utilizado o GWP igual a 4.750 (IPCC, 2007).

Tabela 4 Emissões de CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões CFC-12	
	[t _{CFC-12}]	[t _{CO2eq}]*
1995	22,6	246.068
1996	23,5	256.613
1997	25,6	278.877
1998	28,7	312.857
1999	32,0	349.182
2000	34,9	380.819
2001	38,9	424.174
2002	42,1	459.326
2003	45,2	492.135
2004	49,5	539.005
2005	54,3	591.734
2006	58,4	636.260
2007	62,4	679.615
2008	67,7	738.203

* Foi utilizado o GWP igual a 10.900 (IPCC, 2007).

Gráfico 1 Emissões de CFC-11 e CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

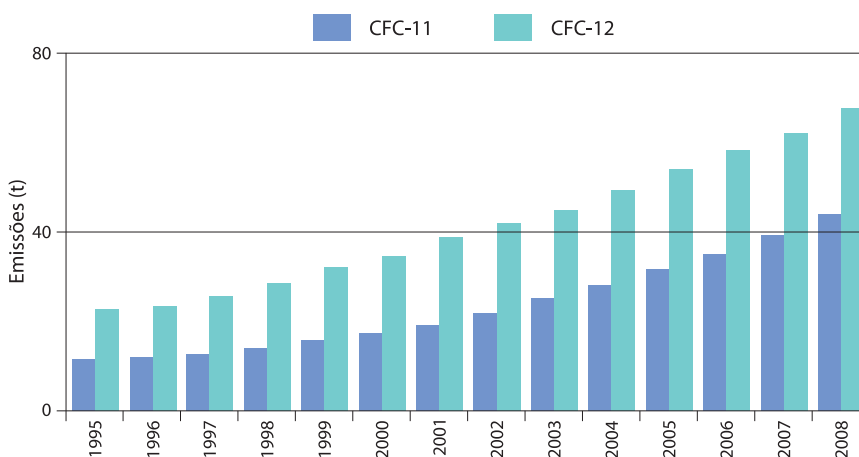
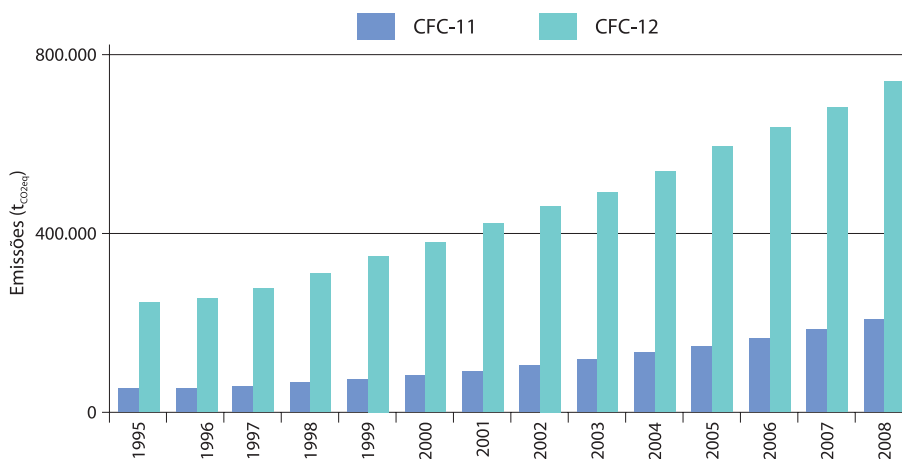


Gráfico 2 Emissões de CFC-11 e CFC-12 no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo



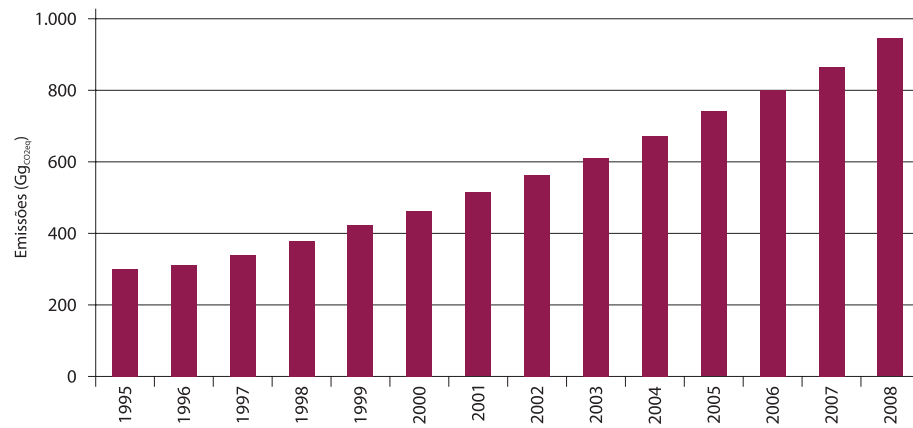
A Tabela 5 apresenta as emissões totais do Subsetor de Aerossóis.

Tabela 5 Emissões de GEE no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões GEE
	[Gg _{CO2eq}]
1995	301
1996	313
1997	339
1998	380
1999	424
2000	464
2001	516
2002	564
2003	612
2004	674
2005	742
2006	804
2007	867
2008	948

O Gráfico 3 apresenta as emissões totais de 1995 a 2008 do Subsetor de Aerossóis.

Gráfico 3 Emissões de GEE no Subsetor de Aerossóis de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo



5 Conclusões

A obtenção dos dados de atividade mencionados para a realização da estimativa de emissões tem se mostrado uma atividade complexa e difícil de realizar. No caso específico de aerossóis, não foi possível a obtenção de dados para os cinco primeiros anos do período da elaboração deste inventário (1990 a 1994). A questão da disponibilidade e obtenção de dados, assim como sua confiabilidade, é o ponto crucial de um inventário. Infelizmente, e isto não se restringe somente ao Brasil, dados de atividade muitas vezes não são tornados públicos por questões de sigilo, motivadas pela competição empresarial no mercado ou, até mesmo, por não serem informações monitoradas e contabilizadas. Além dos problemas existentes no levantamento de dados nacionais específicos, adiciona-se a dificuldade de regionalização desses dados para a obtenção de informações para o Estado de São Paulo.

Foi realizada a estimativa de emissões de GEE controlados pelo Protocolo de Montreal no subsetor de aerossóis para as SDOs CFC-11 e CFC-12. A estimativa de emissões de HFCs ainda não foi feita devido ao fato de as pesquisas realizadas não terem possibilitado, até o momento, a obtenção dos dados necessários. Esforços adicionais estão sendo empreendidos e espera-se obter mais informações sobre o uso de HFCs num futuro próximo, o que, junto com as informações recém-obtidas e apresentadas no Anexo A, permitirão estimar as emissões de HFC-134a usado como propelente em MDIs.

Referências

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

_____. MMA. **Estratégia Brasileira de Transição para Eliminação dos Inaladores de Dose Medida (MDIs) com Clorofluorcarbono (CFC)**. Brasília: MMA, 2008.

_____. MMA. **Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e Consumo de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio**. Brasília: MMA, 1994.

_____. MMA. **Revisão do Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO**. Documento interno não publicado. Brasília: MMA, 1999.

CHILOMER, W. B. **A História do Aerosol**. Disponível em: <http://cosmeticnow.com.br/pg_aerosol_01.htm>. Acesso em 30 set. 2010.

CONAMA. Resolução n.267, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre a Proibição da Utilização de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio. **Diário Oficial da União**. Brasília: n. 237, seção 1, p. 27-29, 11 dez. 2000.

IBGE. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 - Revisão 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. 93p.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.

_____. **Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007**. New York: Cambridge University Press, 2007.

_____. **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: set. 2013.

SEADE. **Indicadores do Estado de São Paulo**. Disponível em: <www.seade.gov.br/>. Acesso em: 30 set. 2010.

UNEP. **2002 Report of the Aerosols Sterilants, Miscellaneous Uses and Carbon Tetrachloride Technical Options Committee**. 2002 Assessment. Nairobi: 2003.

Anexos

Anexo A. Detalhamento dos Graus de Rigor do IPCC 1996 e 2000

De acordo com o IPCC, o grau de rigor mais simplificado é o *Tier 1* e o mais detalhado é o *Tier 2*. Dependendo da disponibilidade de dados, principal parâmetro a ser considerado na escolha do grau de rigor, variantes das duas alternativas básicas foram desenvolvidas para alguns processos industriais.

No *Tier 1* (a e b), as emissões potenciais de uma certa substância química são iguais à quantia de substância virgem consumida no país menos a quantia de substância química recuperada para destruição ou exportação no ano em consideração.

Todas as substâncias químicas consumidas serão eventualmente emitidas à atmosfera ao longo do tempo se não forem destruídas e, a longo prazo (por exemplo, 50 anos), emissões potenciais se igualarão às emissões reais. No *Tier 2*, estimativas de emissões reais levam em conta a diferença de tempo entre consumo e emissão, que pode ser considerável em algumas áreas de aplicação, por exemplo, espumas, refrigeração e equipamentos de extinção de incêndio.

Os atrasos de tempo resultam do fato que uma substância química é colocada em novos produtos e então vaza lentamente ao longo do tempo. Estimativas reais de emissões são as mais exatas com respeito a emissões em anos particulares, desde que a informação necessária esteja disponível para seu cálculo. Se dados essenciais não estiverem disponíveis, os cálculos potenciais de emissão fornecem uma aproximação mais simples.

Tier 1

O *Tier 1* permite estimar as emissões potenciais através da seguinte fórmula:

Potencial de Emissões = Produção + Importação - Exportação - Destruição

Existem duas versões do *Tier 1*. Na versão *Tier 1a*, as substâncias químicas contidas nos produtos não são consideradas e, na versão *Tier 1b*, sim.

Duas versões foram apresentadas porque muitos países podem ter dificuldades com a disponibilidade de dados relativos a importações e exportações de hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorocarbonetos (PFCs) contidos em produtos. A metodologia *Tier 1b* é a preferida se os dados relevantes estiverem disponíveis.

Tier 1a

O *Tier 1a* pode subestimar ou superestimar o potencial de emissões, dependendo da relação entre importação e exportação de produtos contendo HFC/PFC.

São consideradas tanto as importações como as exportações de HFC/PFC em granel (*bulk*).

Tier 1b

O *Tier 1b* é uma extensão do *Tier 1a* e inclui HFCs/PFCs contidos em vários produtos que são importados e exportados.

No *Tier 1b*, considera-se como importação a quantidade de HFC/PFC importados em granel mais a quantidade dessas substâncias contidas nos produtos importados. Em relação à exportação, considera-se a quantidade de HFC/PFC exportados em granel mais a quantidade destas substâncias contidas nos produtos exportados.

Importações

Importações = Substância química importada em volume + quantidade de substância química importada em produtos contendo HFC/PFC

Exportações

Exportações = Quantidade exportada em volume (bulk) + quantidade de exportada em produtos que contem HFC/PFC

Os tipos de produto que devem ser considerados são:

- Unidades de refrigeração e de condicionamento de ar;
- Produtos de espuma;
- Extintores de incêndio;
- Solventes;
- Aerossol.

Tier 2

O Tier 2 exige informações muito mais detalhadas que o Tier 1. Existem dois enfoques diferentes para a determinação dos valores de distribuição do consumo.

O Tier 2 estima as emissões reais de cada HFC ou PFC, utilizando uma estratégia *Bottom-up* ou *Top-down*. Este é o grau de rigor preferível se os dados necessários são disponíveis. A estratégia *Bottom-up* estima o consumo de cada HFC e PFC baseado no número de unidades de equipamento num nível detalhado, por exemplo, geladeiras, equipamentos de refrigeração e ar condicionado estacionário, sistemas de ar condicionado automotivo, espuma entre outros, para estabelecer a quantidade base para as estimativas de emissão. O enfoque alternativo, *Top-down*, considera uma estimativa para a quantidade de HFC e PFC consumida, por exemplo, no segmento de refrigeração e ar condicionado e distribui esse consumo entre as várias aplicações desse segmento, calculando emissões pela distribuição de consumo e pelas características de emissão relacionadas com os vários equipamentos, levando em conta práticas atuais de serviço e de recolhimento.

Metodologia para o Subsetor de Aerossóis

As emissões de aerossóis normalmente ocorrem pouco depois da produção, em média seis meses depois da venda. Entre-

tanto, o período entre fabricação e venda pode variar significativamente, dependendo da subaplicação envolvida. Durante o uso de aerossóis, 100% da substância química é emitida.

Emissões de aerossóis são estimadas no *Guidelines* (IPCC, 2000) de acordo com a Equação abaixo:

Emissões Causadas por Aerossóis

$$Emissões_t = S_t \cdot FE + S_{t-1} \cdot (1 - FE)$$

onde:

Emissões _t	Emissões no ano t
S _t	= Quantidade de aerossóis vendida no ano t
S _{t-1}	= Quantidade de aerossóis vendida no ano t-1
FE	= Fator de emissão (= fração da substância química emitida no ano do seu uso inicial)
D _{t-1}	= Quantidade de aerossóis destruída no ano t-1

Anexo B. Uso dos Inaladores de Dose Calibrada - MDIs (*Metered Dose Inhalers*)²

A asma e as doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOC) são as doenças respiratórias mais crônicas e, segundo as estimativas, atingem 300 milhões de pessoas no mundo todo. A asma e as DPOC causam afastamentos significativos no trabalho e na escola, além de gerarem elevadas despesas com assistência médica.

Um tratamento amplamente utilizado para aliviar ou prevenir os ataques de asma e das DPOC é o medicamento em aerossol, que normalmente chega às vias respiratórias por meio de um Inalador de Dose Calibrada (MDI). Os MDIs possuem muitas qualidades

2 Extraído do documento: Estratégia Brasileira de Transição para Eliminação dos Inaladores de Dose Calibrada (MDIs) com Clorofluorcarbono (BRASIL, 2008).

que os diferenciam de outros sistemas de inalação. Eles são confiáveis, liberam a dose exata independentemente da capacidade de respiração do paciente ou de sua idade, são compactos e portáteis, de fácil utilização, econômicos, à prova de choque e seu design permite que a medicação não seja afetada pela temperatura ambiente ou pela umidade.

Os primeiros MDIs utilizavam os CFCs para liberar a medicação nas vias respiratórias. As propriedades físicas, químicas e toxicológicas dos CFCs os tornaram os impulsores ideais e permitiram que os fabricantes produzissem produtos de MDI que atendessem a todos os requisitos de design para uma liberação efetiva do medicamento e fácil utilização pelos pacientes.

Contudo, assim que o Protocolo de Montreal estabeleceu as medidas de controle e eliminação, os países industrializados começaram a converter sua produção de MDI para formulações livres de CFC. A primeira tecnologia de MDI livre de CFC surgiu no Reino Unido em 1994. Hoje, diversos MDIs livres de CFC, representando 25% da produção mundial, são comercializados no mundo todo, inclusive em 30 países em desenvolvimento. No entanto, para a maioria dos países, essa tecnologia ainda não é de domínio público.

Quantidade Comercializada no País

Consideraram-se, para fins desse levantamento, os seguintes medicamentos de interesse:

- Inaladores de Dose Calibrada que utilizam como propelente clorofluorcarbonos - MDIs-CFCs;
- Inaladores de Dose Calibrada que utilizam como propelente hidrofluoralcano - MDIs-HFA;
- Inaladores de Pó Seco - DPIs;
- Outras apresentações: xarope, solução oral, solução para nebulização, comprimido, solução nasal, suspensão aquosa e solução injetável.

A Tabela abaixo apresenta o consumo

médio de medicamentos de interesse para o período de 2003 a 2007, segundo dados da plataforma de dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e os respectivos percentuais. Sua análise revela que o consumo médio de MDIs-CFCs para o período foi de 3.345.677 unidades, correspondendo a 26,3% das unidades de medicamento de interesse comercializadas no país, excluídas as compras realizadas pelo Ministério da Saúde.

Consumo Médio de Medicamentos de Interesse para o Período de 2003 a 2007 e os Respectivos Percentuais

Tipo de Medicamento	Consumo Médio (2003 a 2007)	Percentual
MDIs-CFCs	3.345.677 unidades	26,3 %
MDIs-HFA	2.305.818 unidades	17,9 %
DPIs	1.710.921 unidades	13,1 %
Outros	5.440.486 unidades	42,7 %

Fonte: Brasil (2008).

A Tabela abaixo apresenta os medicamentos MDIs-CFC:

Consumo de MDIs-CFCs de 2004 a 2006 Segundo Dados de Consumo da ANVISA e Compras de MDIs-CFCs Realizadas pelo Ministério da Saúde

Ano	Consumo de MDIs-CFCs		Total	Impacto das Compras do MS na Comercialização de MDIs-CFCs (%)
	ANVISA	Compras do MS		
2004	3.506.475	2.005.816	5.512.291	36,4 %
2005	3.211.555	0	3.211.555	0 %
2006	3.342.157	1.615.700	4.957.857	32,6 %

Fonte: Brasil (2008)

A3 - Medicamentos MDIs-CFC

Ativo	Capital da Empresa	Nº de Apresentações	Produção / Importação	País de Produção
Brometo de Ipratrópio	Multinacional	2*	Importação	México
Brometo de Ipratrópio / Bromidrato de Fenoterol	Multinacional	2*	Produção	Brasil
Brometo de Ipratrópio / Sulfato de Salbutamol	Multinacional	2*	Produção	Brasil
Bromidrato de Fenoterol	Multinacional	2	Produção	
Budesonida	Nacional	2	Importação	
Dipropionato de Beclometasona	Multinacional Multinacional	2* 2*	Produção Importação	Brasil Índia
Dipropionato de Beclometasona / Salbutamol	Multinacional Multinacional Multinacional	1 1 1	Importação Importação Produção	Índia Inglaterra Brasil
Sulfato de Salbutamol	Multinacional	2	Produção	Brasil
Xinafoato de Salmeterol	Multinacional	1	Importação	França

*Uma apresentação com aerocâmara.

Fonte: Brasil (2008)

A Tabela abaixo apresenta o consumo de MDIs-CFCs:

Controle das Importações de CFCs

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é o órgão responsável pelo controle das importações e usos das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs), incluídos aí os CFCs, utilizados para a produção de MDIs. Assim sendo, obedecendo ao estipulado pela Resolução CONAMA n. 267(CONAMA, 2000)e ao acordo firmado com o Fundo Multilateral, o IBAMA controla a redução gradativa da cota de importação de CFCs para a produção de MDIs. A partir de 1º de janeiro de 2010 as importações de CFCs foram proibidas no país.

Controle das Importações de CFCs para Produção de MDIs

O controle das importações de CFCs, incluindo os de usos farmacêuticos, foi disciplinado com a publicação da Resolução CONAMA n. 267(CONAMA, 2000)e fortalecido pela Instrução Normativa/IBAMA n. 37, de 29 de junho de 2004. Essa Instrução Normativa determina que todo produtor, importador, exportador, comercializador e usuário de quaisquer das substâncias controladas ou alternativas do Protocolo de Montreal, bem como os centros de coleta e armazenamento e centros de regeneração ou reciclagem,

sendo estes pessoas físicas ou jurídicas, devem estar registrados no Cadastro Técnico Federal (CTF).

Controle da Produção e Importação de MDIs - CFCs

A ANVISA, como membro integrante do Grupo de Trabalho instituído pela Portaria do Ministério da Saúde n. 1.788/2006 e responsável pelo controle de medicamentos no país, adotou medidas disciplinares por meio da RDC n. 88 de 25 de novembro de 2008, que dispõe sobre a adequação dos medicamentos registrados que possuam clorofluorcarbonos. Essa legislação determina a data limite para produção e importação de medicamentos inaladores de dose medida que utilizem gás propelente do tipo CFCs, assim como prazos regulamentares para adequação dos registros desses medicamentos, estabelecendo também, mecanismos de monitoramento sobre a produção, importação e comercialização no mercado nacional e de exportação. A Resolução estabelece os seguintes prazos: 31 de dezembro de 2010 para adequação de registros de MDIs-CFCs para medicamentos não CFCs; 1º de janeiro de 2011 para proibição da produção e importação de MDIs-CFCs.

Anexo C. Dados de População Nacional e do Estado de São Paulo

BRASIL - Projeção da população - Hipótese Recomendada

Ajuste da fecundidade incorporando estimativas da TFT com base nas PNADs 2002 a 2006 e fecundidade limite = 1,5 filho por mulher: 1980 - 2050

Projeção Populacional

Anos	População em 1º de julho	Anos	População em 1º de julho
1980	118.562.549	2026	213.348.475
1991	149.094.266	2027	214.209.414
1996	161.323.169	2028	215.008.982
2000	171.279.882	2029	215.743.582
2005	183.383.216	2030	216.410.030
2006	185.564.212	2031	217.004.993
2007	187.641.714	2032	217.526.053
2008	189.612.814	2033	217.972.789
2009	191.480.630	2034	218.345.419
2010	193.252.604	2035	218.644.711
2011	194.932.685	2036	218.870.898
2012	196.526.293	2037	219.024.784
2013	198.043.320	2038	219.108.650
2014	199.492.433	2039	219.124.700
2015	200.881.685	2040	219.075.130
2016	202.219.061	2041	218.960.969
2017	203.510.422	2042	218.783.084
2018	204.759.993	2043	218.543.546
2019	205.970.182	2044	218.244.527
2020	207.143.243	2045	217.888.409
2021	208.280.241	2046	217.476.404
2022	209.380.331	2047	217.009.177
2023	210.441.362	2048	216.488.045
2024	211.459.352	2049	215.913.883
2025	212.430.049	2050	215.287.463

Fonte: IBGE (2008)

População de 1991 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	População
1991	31.436.273
1996	34.121.000
1999	36.974.378
2000	37.035.455
2001	37.497.976
2002	38.032.544
2003	38.578.438
2004	39.136.048
2005	39.705.706
2006	40.175.797
2007	40.653.736
2008	41.139.672

Fonte: SEADE (2010)

PARTE VIII.IV

SUBSETOR DE SOLVENTES



1 Introdução

De acordo com SINDISOLV (2010), os solventes são líquidos voláteis que têm a propriedade de dissolver ligantes, resinas ou quaisquer outros materiais sólidos ou líquidos sem que sejam alteradas as suas estruturas químicas originais.

A maior parte dos solventes hidrocarbonetos utilizados no Brasil, tais como hidrocarbonetos aromáticos, é derivada do refino do petróleo¹ (processo físico) ou do processamento da nafta (processo químico). O Anexo A apresenta um fluxograma dos processos de obtenção de solventes a partir do petróleo. O Quadro 1 abaixo apresenta os principais tipos de solventes.

Quadro 1 Tipos de Solventes

Tipos de Solventes	Substâncias
Hidrocarbonetos Alifáticos	Diluyente de tintas, solvente de borracha, hexano, pentano e outros
Hidrocarbonetos Alifáticos Médios	Aguarrás, querosene, solvente médio e outros
Hidrocarbonetos Aromáticos	Tolueno, xileno, AB9, AB10 e AB11 e outros
Oxigenados	Cetonas, alcoóis, éteres, glicóis, acetatos e outros
Outros	Solventes nitrados, clorados, sulfonados, cloro fluorado e outros

Fonte: SINDISOLV (2010).

Os solventes, objeto deste estudo, são classificados como outros no quadro 1, e envolvem os solventes cloro fluorados.

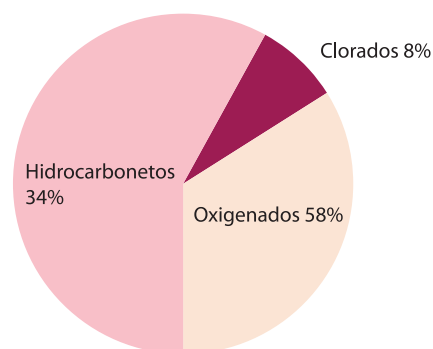
Os solventes são matérias-primas para as indústrias de:

- adesivos;
- artefatos de borracha;
- cosméticos;
- defensivos agrícolas;
- detergentes;
- embalagens;
- especialidades químicas;
- explosivos;
- fibras sintéticas;
- higiene e limpeza;
- pigmentos e corantes;
- plásticos e resinas;
- química de base;
- tintas e vernizes.

O Gráfico 1 a seguir, apresenta informações sobre a composição dos solventes industriais no Brasil em 2007.

De acordo com Sindisol (2010), mais de 90% da produção de solventes no Brasil concentram-se nas centrais petroquímicas Copene, Copesul, Petroquímica União, e na Petrobrás, esta última respondendo por 480.000m³.ano⁻¹, o que representa mais de 50% da produção nacional. A Região Sudeste destaca-se como a principal consumidora (cerca de 70%), em seguida pelas Regiões Sul, Nordeste, Centro Oeste e Norte.

Gráfico 1 Composição dos Solventes Industriais em 2007 no Brasil



Fonte: ABIQUIM (2010)

1 O Anexo A apresenta um fluxograma dos processos de obtenção de solventes a partir do petróleo.

1.1 Uso de Substâncias Constituídas por GEE no Subsetor de Solventes

1.1.1 GEE Controlados pelo Protocolo de Montreal

No final dos anos 40, foi descoberto que os solventes constituídos por clorofluorcarbonos (CFCs), metilclorofórmio (MCF) e tetracloreto de carbono (CTC) tinham muitas vantagens sobre outros solventes orgânicos comumente utilizados e o uso dessas substâncias começou a crescer. Eram utilizados basicamente em três processos dentro das cadeias produtivas das empresas: limpeza a quente, limpeza a frio e como formuladores. Entretanto, descobriu-se posteriormente que essas substâncias eram substâncias destruidoras de ozônio (SDOs) que estavam afetando a camada de ozônio estratosférica e, com a adoção do Protocolo de Montreal seu crescimento foi interrompido, trazendo mudanças para o mercado global de solventes. Os países desenvolvidos, bem como os em desenvolvimento, começaram a se comprometer a eliminar o uso de SDOs em solventes. Como os substitutos precisavam apresentar a maioria das propriedades úteis dos solventes com SDOs, foi necessário desenvolver e disponibilizar comercialmente várias tecnologias alternativas, livres de SDOs (PNUD, 2007).

No Brasil, estima-se que cerca de 2.000 empresas consumiam CFC-113, MCF e CTC em 1993, para as seguintes aplicações (BRASIL, 1999):

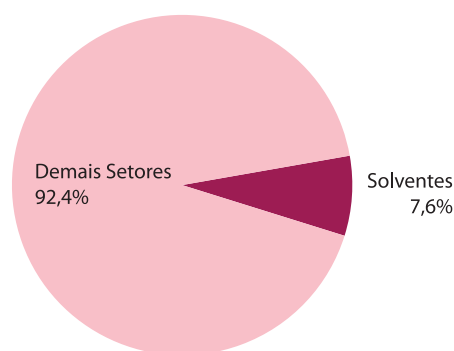
- limpeza a quente (com equipamento de desengraxe a vapor);
- limpeza a frio;
- formuladores: empresas que utilizavam SDOs na formulação de compostos químicos

com uma grande variedade de aplicações finais.

O consumo de SDOs como solventes no Brasil, de 1990 a 1994, teve uma redução de 75%, atribuída a questões do mercado de fornecimento desses produtos em conjunto com a necessidade das empresas de manter sua competitividade (PNUD, 2007).

O Gráfico 2 apresenta a participação do subsetor de solventes no consumo de SDOs, em t_{PDO}^2 , em 1994.

Gráfico 2 Consumo de SDOs em 1994 no Brasil



Fonte: PNUD (2007)

Conforme previsto no Protocolo de Montreal e no seu Fundo Multilateral³, foram desenvolvidos projetos de conversão para tecnologias livres de SDOs em empresas nacionais usuárias dessas substâncias. A implementação dos projetos foi realizada pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA) e pelas agências implementadoras do Protocolo de Montreal (Programa das Nações Unidas (PNUD) e Banco Mundial) em conjunto com a introdução de regulamentações para o consumo de SDOs.

No Brasil, o CFC era empregado principalmente em processos de limpeza de metais, na indústria eletrônica e de engenharia de precisão. Os solventes mais usados eram os CFC-113 e o tricloroetano, além de uma pequena quantidade de tetracloreto de

2 O conceito de Potencial de Destruição do Ozônio - PDO (Ozone Depletion Potencion - ODP) é a relação do impacto na camada de ozônio de uma substância química comparado ao impacto de uma massa similar de CFC-11, definido como tendo ODP igual a 1,0.

3 Fundo criado para dar suporte financeiro para a eliminação de SDOs em países em desenvolvimento.

carbono, em aplicações laboratoriais. A partir de 1990, com a ratificação do Brasil ao Protocolo de Montreal, houve grande redução no uso de CFC para solventes, restando apenas um consumo residual (BRASIL, 2006).

O gráfico 3 apresenta o processo de eliminação do uso de CFC-113 no Subsetor de Solventes.

Gráfico 3 Eliminação de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2002



Fonte: PNUD (2012)

O Brasil chegou a produzir o Tetracloreto de Carbono (CTC) e o CFC-113. No entanto, as instalações de produção de clorofluorcarbono(CFC)/hidroclorofluorcarbonos (HCFC) foram interrompidas parcialmente em 1994 e em 1999 (BRASIL, 1999).

Ao longo dos últimos anos, com o processo de implementação do Protocolo de Montreal e eliminação do uso de SDOs como solventes destinados à limpeza eletrônica, agentes de processos e estabilizantes. Diversas alternativas foram desenvolvidas e implementadas no mundo e no Brasil. As principais alternativas, conforme descrição de Tanimoto e Soares (2000), são apresentadas abaixo:

- solventes clorados que não atacam a camada de ozônio como o percloroetileno e o tricloroetileno;
- soluções aquosas (utilizam água como solvente primário). essas soluções são compostas basicamente por três componentes: os agentes construtores (estabilizadores); os aditivos orgânicos e inorgânicos; e os surfactantes e agentes que promovem

umectação, removendo a sujeira da superfície e iniciando o processo de emulsão;

- soluções semi-aquosas;
- solventes orgânicos como cetonas, alcoóis, 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;

- HCFCs: alguns usuários de CFC-113 e 1,1,1-Tricloroetano passaram a direcionar-se para os HCFC-225ca, HCFC-225cb, HCFC-141b e HCFC-123 como possíveis substitutos devido à similaridade no método de aplicação em relação ao CFC-113 e ao MCF;

- perfluorocarbonos (PFCs): Os perfluorocarbonos oferecem uma solução possível para a substituição do CFC-113 e 1,1,1 - Tricloroetano, particularmente na limpeza das peças do giroscópio de alta precisão. As aplicações dos perfluorocarbonos estão sendo mantidas somente onde outros alternativos não conferem as mesmas características desejadas. Uma nova linha de produtos químicos chamados de perfluoroéteres (PFEs) está sendo desenvolvida para aplicações em vários processos de limpeza, em substituição aos perfluorocarbonos; e
- hidrofluorcarbonos (HFCs): Usados como solventes substitutos aos CFCs e HCFCs, mas em uma quantidade muito menor que essas substâncias. Os usos solventes de HFCs ocorrem principalmente nas seguintes áreas: limpeza de precisão, limpeza de circuitos eletrônicos e limpeza de metais.

1.1.2 GEE Controlados pelo Protocolo de Quioto

Apesar dos HFCs e PFCs, substâncias controladas pelo Protocolo de Quioto, fazerem parte das alternativas tecnológicas para a eliminação de SDOs no subsetor de solventes, conforme apresentado anteriormente, não foram identificados usos dessas substâncias no subsetor de solventes no Estado de São Paulo.

2 Método para Estimativa de Emissões de GEE do Subsetor de Solventes

A seguir, é apresentado o método utilizado para a estimativa das emissões de GEE como algumas substâncias alternativas às SDOs, baseado no IPCC (1996, 2006). Ressalta-se que, este método, segundo o IPCC é recomendado para estimar as emissões de HFCs e HCFCs e foi empregado para avaliar as emissões de CFCs.

Substâncias químicas usadas como agentes de limpeza são totalmente (100%) emitidas durante ou logo após o uso. O método proposto assume que os solventes, na média, são utilizados 6 meses após a venda. A Equação 1 a seguir, foi utilizada para a estimativa de emissões.

Equação 1 Estimativa de Emissões de Solventes Halogenados

$$E_t = S_t \cdot FE + S_{(t-1)} \cdot (1 - FE) - D_{(t-1)}$$

onde:

E	Emissões no ano	$[t_{\text{solvente}} \cdot \text{ano}^{-1}]$
S_t	Quantidade de solventes vendida ⁴ no ano t	$[t_{\text{solvente}} \cdot \text{ano}^{-1}]$
FE	Fator de emissão (fração da substância química emitida no ano do seu uso inicial)	[% solvente]
$S_{(t-1)}$	Quantidade de solventes vendida no ano (t-1)	$[t_{\text{solvente}} \cdot \text{ano}^{-1}]$
$D_{(t-1)}$	Quantidade de solventes destruída no ano (t-1)	$[t_{\text{solvente}} \cdot \text{ano}^{-1}]$
t	Ano	[ano]
(t-1)	Ano anterior	[ano]

A equação estima a quantidade de solvente como o CFC-113 emitido em um ano.

4 Considera-se que a quantidade vendida é igual à consumida.

3 Dados

3.1 Consumo de CFCs no Brasil

A Tabela 1 apresenta os dados de consumo de CFC-113 no subsetor de solventes no Brasil em toneladas de Potencial de Destruição de Ozônio (t_{PDO}). Como o Potencial de Destruição de Ozônio (PDO) ou *Ozone Depletion Potential* (ODP^5) do CFC-113 é igual a 0,8 obteve-se a Tabela 2, que apresenta o consumo de CFC-113 em unidades de massa no subsetor de solventes (UNEP, 2002).

Tabela 1 Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Brasil

Consumo de CFC-113					
[$t_{PDO} \cdot ano^{-1}$]					
1990	1991	1992	1993	1994	1995
488	376	256	170	161	94
1996	1997	1998	1999	2000	
60	32	37	33	29	

Fonte: PNUD (2007)

Tabela 2 Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Brasil

Consumo de CFC-113					
[$t \cdot ano^{-1}$]					
1990	1991	1992	1993	1994	1995
610	470	320	213	201	118
1996	1997	1998	1999	2000	
75	40	46	41	36	

Fonte: PNUD (2007)

3.2 Consumo de CFCs no Estado de São Paulo

Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados nacionais sobre o consumo de CFC-113 no subsetor de solventes. As informações obtidas foram apresentadas na Tabela 2.

Não existem estatísticas a respeito do uso de CFC-113 no Estado de São Paulo do subsetor de solventes. Segundo dados do Sindsolv

(2010), 70% do consumo de solventes ocorre na Região Sudeste e essa participação pode ser estendida para o uso passado de CFC-113.

A partir de contatos com empresas, associações e especialistas do setor, adotou-se a hipótese que o Estado de São Paulo foi responsável por 60% do consumo de CFC-113 como solvente da Região Sudeste, representando 42% do consumo nacional. Essas considerações permitem obter o consumo de CFC-113 no Estado de São Paulo, apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 Estimativa de Consumo de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Estado de São Paulo

Consumo de CFC-113					
[$t \cdot ano^{-1}$]					
1990	1991	1992	1993	1994	1995
256	197	134	89	85	49
1996	1997	1998	1999	2000	
32	17	19	17	15	

Nota: Para a aplicação do método foi necessário empregar dados de consumo desde 1989. Esse foi considerado igual ao consumo de 1990.

3.3 Fator de Emissão (FE)

De acordo com IPCC (2006), é considerado boa prática usar um fator de emissão default de 50% da carga inicial por ano para aplicações de solventes.

Adotando-se FE igual a 50% sem a destruição de solventes, obtêm-se: emissões de CFC ano (t) igual a 50% da quantidade de CFC vendida para aplicações como solventes no ano (t) + 50% da quantidade de CFC vendida para aplicações como solventes no ano (t - 1).

5 O conceito de ODP é semelhante ao de GWP; é a relação do impacto na camada de ozônio de uma substância química comparado ao impacto de uma massa similar de CFC-11, definido como tendo ODP igual a 1,0.

4 Resultados

A estimativa das emissões de CFCs foi realizada utilizando o método do IPCC apresentado anteriormente, já que o processo de uso é o mesmo, diferindo somente a substância química utilizada como solvente. Para a realização dos cálculos, foi necessário saber o consumo de CFCs.

Utilizando a Equação 1 e considerando, pela ausência de dados, que o consumo em 1989 (necessário para a estimativa das emissões em 1990) foi igual ao de 1990, a Tabela 4 e o Gráfico 3, a seguir, apresentam a estimativa de emissões de CFC-113 no subsetor de solventes de 1990 até 2000. Após 2000, o consumo de CFC-113 como solventes foi eliminado, sendo seu uso substituído por tecnologias alternativas.

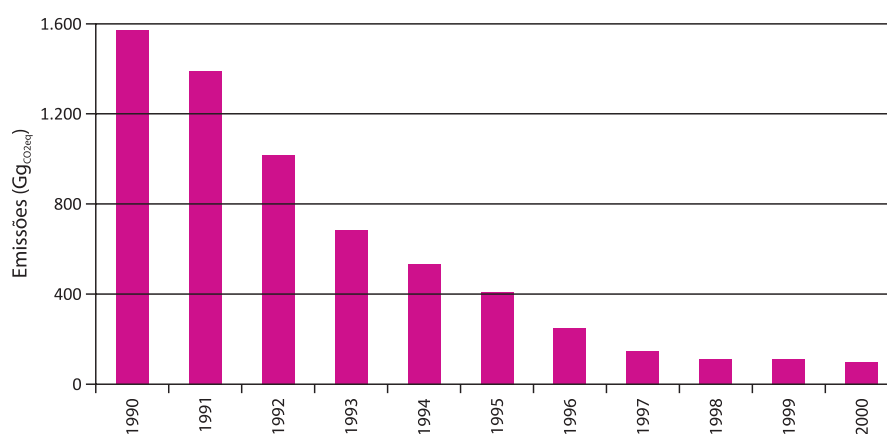
Tabela 4 Estimativa de Emissões de CFC-113 do Subsetor de Solventes de 1990 a 2000 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões CFC-113	Emissões CFC-113
	[t .ano ⁻¹]	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]*
1990	256	1.571
1991	227	1.390
1992	166	1.017
1993	112	685
1994	87	533
1995	67	410
1996	40	248
1997	24	148
1998	18	111
1999	18	113
2000	16	100

NOTA: Foi utilizado o GWP do CFC-113 igual a 6.130.

Fonte: IPCC (2007)

Gráfico 4 Emissões de CFC-113 no Subsetor de Solventes de 1990 a 2000



5 Conclusões

A obtenção dos dados de atividade mencionados para a realização da estimativa de emissões tem se mostrado uma atividade complexa e difícil de realizar. A questão da disponibilidade e obtenção de dados e sua confiabilidade é o ponto crucial de um inventário. Infelizmente, e isto não se restringe somente ao nosso país, dados de atividade muitas vezes não são tornados públicos pelas empresas do setor por questões de sigilo, motivadas pela competição empresarial. Outras vezes, ocorre que estas informações não são monitoradas e contabilizadas. Além dos problemas existentes no levantamento de dados nacionais específicos, adiciona-se a dificuldade de regionalização desses dados para a obtenção de informações para o Estado de São Paulo.

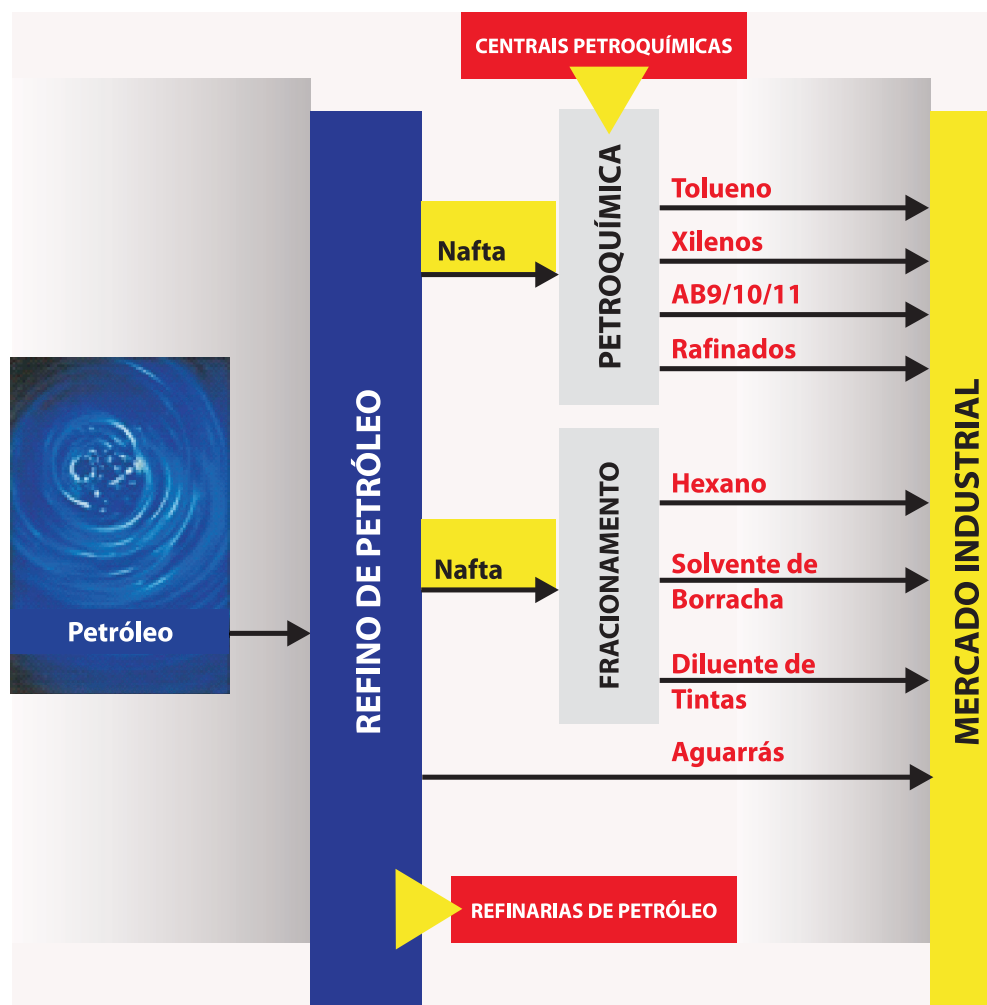
Não foi identificado o uso de HFCs no subsetor de solventes no Brasil e no Estado de São Paulo. Desta forma, a estimativa de emissões foi realizada para o CFC-113 usado no período de 1990 a 2000, considerando-se que a partir de 2000 o uso passou a ser residual.

Referências

- ABIQUIM. **Anuário da Indústria Química Brasileira de 1990 a 2005**. São Paulo, 2010.
- BRASIL. Prozon. **Programa brasileiro de eliminação da produção e do consumo das substâncias que destroem a camada de ozônio (PBCO)**. Revisão Geral: Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1999.
- _____. MMA. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **20 anos do Protocolo de Montreal**. Brasília: MMA, 2007.
- BRASIL. MCT. Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes. Brasília, MCT, 2006. (**Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência**). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8733.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2010.
- HULL, C. **GHG lifetimes and GWPs: for ozone-depleting substances and their replacements**. [S.L.]: Climate Change Connection, 2009. Property of Manitoba Eco Network. Disponível em: <http://www.climatechangeconnection.org/emissions/documents/GWP_AR4.pdf>. Acesso em: abr. 2013.
- IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.
- _____. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, Feb. 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-4-2.html. Acesso em: mar. 2011.
- _____. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.
- PNUD. **Atividades desenvolvidas pelo PNUD em apoio ao esforço do governo brasileiro para a proteção da camada de ozônio: relatório**. Brasília, 2007.
- _____. Protocolo de Montreal. **Conversão tecnológica**. [Brasília, DF]: Protocolo de Montreal, 2011. Disponível em: <<http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/site.php?secao=substanciasdestruidoras&pub=105>>. Acesso em: mai. 2013.
- PROZON. **Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO**. Revisão Geral: Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1999.
- SINDISOLV. Disponível em: <<http://www.sindsolv.org.br>>. Acesso em: 23 set. 2010.
- TANIMOTO, A. H.; SOARES, P. S. **Substâncias destruidoras da camada de ozônio e sua legislação**. 2000. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.
- UNEP. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. **2002 Report of the solvents, coatings and adhesives technical options committee: 2002 assessment**. Nairobi, 2003. Disponível em: <http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/CTOC/STOC2002.pdf>. Acesso em: jun. 2013.

Anexos

Anexo A. Fluxograma de Produção de Solventes



Fonte: SINDISOLV(2010)

Anexo B. Potencial de Aquecimento Global de Substâncias Destruidoras de Ozônio⁶

Tempo de Vida de Gases de Efeito Estufa e Potenciais de Aquecimento Global - Para substâncias destruidoras de ozônio e suas alternativas.

As tabelas a seguir mostram os tempos de vida e o potencial de aquecimento global direto para o período de 100 anos para o CH₄, o N₂O e para substâncias destruidoras de ozônio e suas alternativas. De acordo com o SAR (*Second Assessment Report*).

⁶ Tradução do texto "GHG Lifetimes and GWPs – For Ozone-Depleting Substances and their Replacements". Fonte: HULL (2009).

Tabela 1 Importantes Gases de Efeito Estufa

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
Dióxido de Carbono	CO ₂		1
Metano	CH ₄	12	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	114	310

Tabela 2 Substâncias Controladas pelo Protocolo de Montreal

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
CFC-11	CCl ₃ F	45	3.800
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	8.100
CFC-13	CClF ₃	640	10.800
CFC-113	CCl ₂ CClF ₂	85	4.800
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	8.040
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1.700	5.310
Halon-1301	CBrF ₃	65	5.400
Halon-1211	CBrClF ₂	16	4.750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	3.680
Tetracloroeto de Carbono	CCl ₄	26	1.400
Brometo de Metila	CH ₃ Br	0,7	17
Clorofórmio Metil	CH ₃ CCl ₃	5	506
HCFC-22	CHClF ₂	12	1.500
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1,3	90
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5,8	470
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9,3	2.250
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17,9	1.800
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1,9	429

Tabela 3 Hidrofluorcarbonos

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
HFC-23	CHF ₂	270	11.700
HFC-32	CH ₂ F ₂	4,9	650
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	2.800
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	1.300
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	3.800
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1,4	140
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34,2	2.900
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	6.300
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,6	3.380
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8,6	2.520
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCFCF ₂ CF ₂	15,9	1.300

Tabela 4 Compostos de Perfluorados

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
Hexafluoredo de Enxofre	SF ₆	3.200	23.900
Trifluoredo de Nitrogênio	NF ₃	740	12.300
PFC-14	CF ₄	50.000	6.500
PFC-116	C ₂ F ₆	10.000	9.200
PFC-218	C ₃ F ₈	2.600	7.000
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3.200	8.700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2.600	7.000
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4.100	6.510
PFC-5-1-14	C ₈ F ₁₄	3.200	7.400
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000d	>5.500
Trifluormetilpentafluoredo de Enxofre	SF ₅ CF ₃	800	13.200

Tabela 5 Éter Fluorado

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	13.800
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	12.200
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4,3	2.630
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2,6	1.230
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5,1	2.440
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4,9	2.280
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2,6	1.260
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5,2	1.980
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7,1	1.900
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0,33	386
HFE-449sl	C ₄ F ₉ OCH ₃	3,8	1.040
HFE-569sf2	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0,77	207
HFE-43-10pccc124	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6,3	6.320
HFE-236ca12	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12,1	8.000
HFE-338pcc13	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6,2	5.100

Tabela 6 Perfluoropolieter

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento
			(SAR)
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	800	7.620

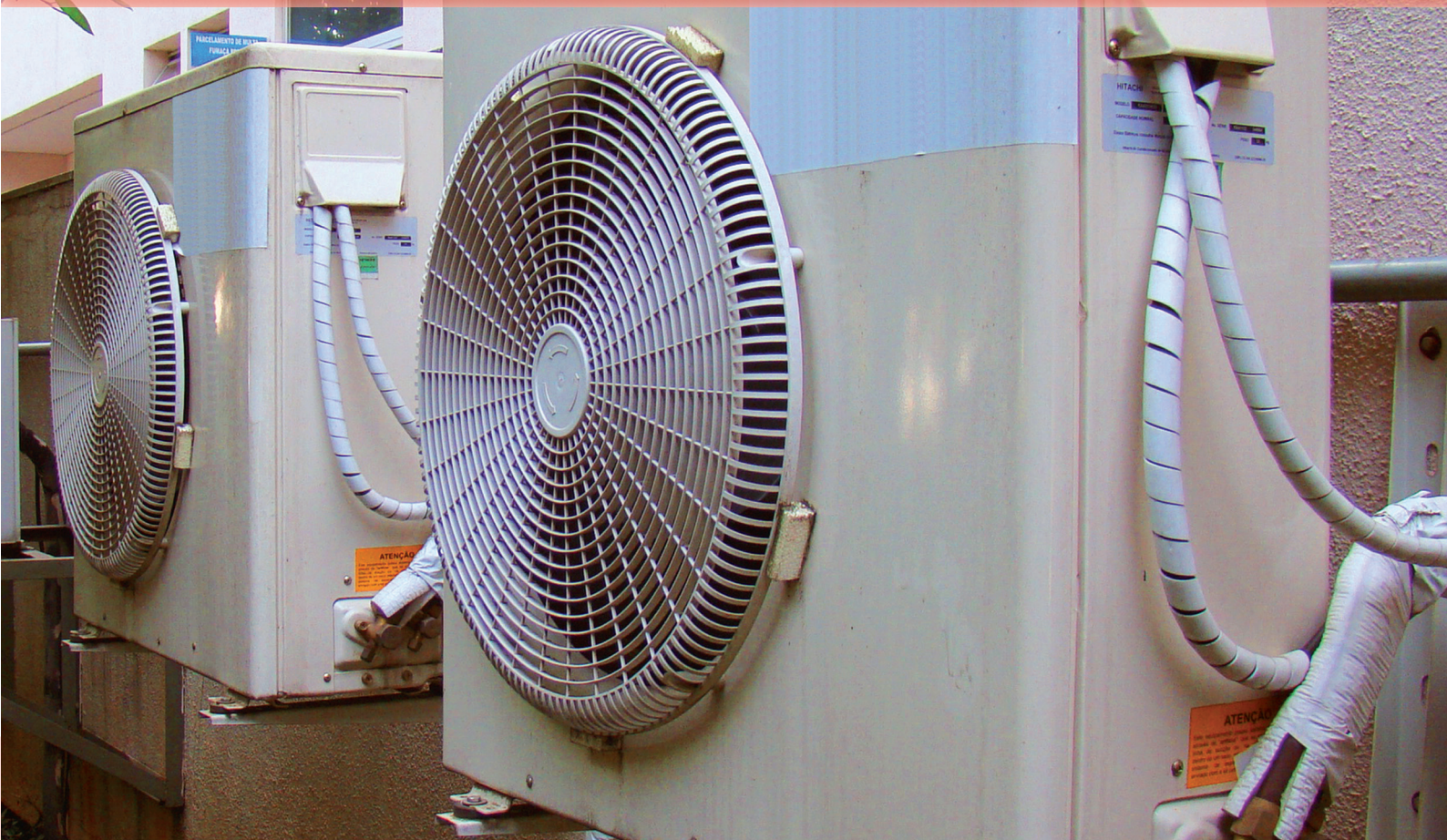
Tabela 7 Hidrocarbonetos e Outros Compostos - Efeitos Diretos

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
Dimetiléter	CH ₃ OCH ₃	0,015	1
Cloreto de Metileno	CH ₂ Cl ₂	0,38	31
Cloreto Metílico	CH ₃ Cl	1,0	45



PARTE VIII.V

SUBSETOR DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO



1 Introdução

Em meados do século XIX foi desenvolvida a tecnologia de refrigeração utilizando o ciclo termodinâmico de compressão de vapor (*Rankine reverso*) constando de quatro componentes básicos (compressor, condensador, evaporador e dispositivo de expansão) e de um fluido de trabalho, chamado de fluido refrigerante, ou simplesmente refrigerante. De uma forma geral, a indústria de refrigeração e ar condicionado evoluiu durante o século XX e hoje se faz presente em diversos setores da sociedade.

As aplicações convencionais de refrigeração e de ar condicionado variam enormemente em tamanho e nível de temperatura. Uma geladeira doméstica tem uma potência elétrica entre 50-250W e contém de 30 a 150g de refrigerante (dependendo do tipo de refrigerante), ao passo que centrais de ar condicionado, refrigeração industrial e armazenamento frigorificado são caracterizados por potências elétricas de vários MW e quantidade de refrigerante de várias centenas de quilogramas.

As aplicações de refrigeração, condicionamento de ar e de bomba de calor representam o subsubsetor que é o maior consumidor de substâncias químicas halogenadas usadas como refrigerantes clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e hidrofluorcarbonos (HFCs). É também, hoje em dia, um dos subsetores usuários de energia mais importantes da sociedade. Estima-se que em média, para os países desenvolvidos, o subsetor de refrigeração e ar condicionado responda por 10-20% do consumo de eletricidade (UNEP, 2006).

O impacto econômico das aplicações de refrigeração é muito mais significativo do que se imagina. Estimativas indicam 300 milhões de toneladas de mercadoria continuamente refrigeradas, com um enorme consumo anual de eletricidade, e cerca de US\$ 100 bilhões de investimentos em maquinaria e equipamentos, sendo que o valor estimado dos produtos tratados por refrigeração é da ordem de quatro vezes esta quantidade. (UNEP, 2003, 2006).

Segundo Peixoto (1999), o processo de seleção do refrigerante para um ciclo de compressão de vapor é complexo, envolvendo a investigação de um grande número de 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 Potencial Destruidor de Ozônio (ODP) e Potencial de Aquecimento Global (GWP).

Desde o estabelecimento do Protocolo de Montreal em 1987, a indústria de refrigeração tem procurado substitutos para os refrigerantes CFCs e HCFCs. Nos últimos 15 anos, os fluidos refrigerantes mais utilizados evoluíram basicamente de quatro Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDOs) (CFC-11, CFC-12, HCFC-22 e R-502), para perto de cinquenta fluidos incluindo hidrofluorcarbonos (HFCs), amônia (NH₃), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos (HCs).

Os refrigerantes hidrofluorcarbonos (HFCs) foram desenvolvidos nos anos 80 e 90 como refrigerantes alternativos aos CFCs e HCFCs. Os HFCs não contém cloro e desta forma não destroem a camada de ozônio, mas contribuem para o processo de aquecimento global, esses fazem parte da "cesta de seis gases" cujas emissões devem ser reduzidas de acordo com o Protocolo

de Quioto. Os CFCs e HCFCs, além de SDOs, são também Gases de Efeito Estufa (GEE), mas não foram incluídos no Protocolo de Quioto, pois já são controlados pelo Protocolo de Montreal (PEIXOTO, 2008).

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;
- 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, containers, 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.

Em todas estas subaplicações, os HFCs, junto com outros refrigerantes não sintéticos¹, estão progressivamente substituindo CFCs e HCFCs. Por exemplo, em vários países em desenvolvimento e desenvolvidos, o HFC-134a substituiu CFC-12 em refrigeração doméstica, *chillers* de alta pressão e sistemas móveis de condicionamento de ar. Misturas de HFCs tal como R-407C (HFC-32/HFC-125/HFC-134a) e R-410A (HFC-32/HFC-125) estão substituindo HCFC-22 principalmente em sistemas de ar condicionado estacionário; e o R-404A (HFC-125/HFC-143a/HFC-134a) e R-507A (HFC-125/HFC-143a) são utilizadas para substituir R-502 (CFC-22/CFC-115) e HCFC-22 em refrigeração comercial.

1.1 Caracterização do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado

O consumo de CFCs, HCFCs e principalmente HFCs no Brasil e no Estado de São Paulo ocorre, em grande parte, como fluido refrigerante nas várias aplicações do subsetor de refrigeração e ar condicionado, conforme descrito a seguir. O Anexo 1 apresenta um resumo dos principais fluidos refrigerantes utilizados.

1.1.1 Refrigeração Doméstica

No panorama global, HC-600a e HFC-134a continuam sendo as alternativas dominantes para refrigerantes substitutos do CFC-12 em novos equipamentos de refrigeração doméstica.

As geladeiras fabricadas no Brasil até o ano de 1999 usavam CFC-12 como fluido refrigerante e CFC-11 como agente de expansão da espuma de poliuretano utilizada para isolamento térmico. Em função das determinações do Protocolo de Montreal, do qual o Brasil é signatário, esse fluido foi substituído pelas empresas fabricantes de refrigeradores, pelo HFC-134a e pelo isobutano (R-600a). Esta última alternativa está sendo bastante difundida atualmente e várias indústrias produtoras de refrigeradores estão adotando-o como substituto ao HFC-134a.

A fabricação e montagem de refrigeradores domésticos e *freezers* (verticais e horizontais) no Brasil tem a predominância de grandes empresas multinacionais. A capacidade de

1 Refrigerantes não sintéticos são chamados de refrigerantes naturais e são constituídos por basicamente hidrocarbonetos, dióxido de carbono, amônia e água.

fabricação de refrigeradores está em torno de 6 milhões de unidades. Estima-se que cerca de 50 milhões de refrigeradores estão em uso no país (BRASIL, 2009).

1.1.2 Refrigeração Comercial

Refrigeração comercial é constituída por 3 tipos de equipamentos:

- Equipamentos compactos (*stand-alone*): todos componentes são integrados na unidade pelo fabricante, por exemplo, bebedouros, expositores, congeladores (*freezers*) comerciais, máquinas de sorvetes entre outros. Os equipamentos compactos são utilizados em diversos estabelecimentos comerciais, padarias, lojas de conveniência, supermercados, e podem ser comprados ou alugados pelo dono do estabelecimento. Estes equipamentos junto com os refrigeradores domésticos foram os primeiros a adotar o refrigerante HFC-134a. As empresas nacionais fabricantes de refrigeradores e *freezers* comerciais que fornecem equipamentos para empresas que estabeleceram políticas de não utilizar HFCs, estão se adaptando a esta determinação dos seus clientes e passando a utilizar HCs em alguns de seus produtos.

- Sistemas remotos: unidades condensadoras separadas do equipamento de resfriamento (evaporador) como balcões refrigerados, câmaras frigoríficas entre outros. Há uma grande utilização de HCFC-22 e, em algumas instalações novas, há um uso pequeno de fluidos refrigerantes HFCs, tais como HFC-134a e R-404a.

- Sistemas centralizados de expansão direta: nesses sistemas os compressores são montados em *racks* localizados em salas de máquinas. Esse tipo de sistema é utilizado em supermercados, onde o fluido refrigerante circula pelos evaporadores localizados nas gôndolas e volta à sala de máquinas. Nos últimos anos, em maior escala nos supermercados europeus, mas também em supermercados norte-americanos e australianos têm sido instalado um sistema alternativo,

chamado de sistema indireto, onde um fluido secundário (*brine*) é resfriado em unidades de refrigeração primárias localizadas nas salas de máquinas e circula pelas gôndolas e balcões. O número de instalações de sistemas indiretos é ainda pequeno quando comparado com os sistemas de expansão direta.

Nesses sistemas, HCFC-22 é o fluido mais utilizado nacionalmente e no Estado de São Paulo, mas há também o uso em pequena escala de refrigerante HFC (R-404A), e este, por ter um consumo muito pequeno no estado, não foi estimado.

O R-404A vem sendo utilizado, principalmente, em instalações de refrigeração em supermercados como alternativa ao fluido HCFC-22. Em função do prazo mais longo de substituição do HCFC-22 estabelecido pelo Protocolo de Montreal, das questões relativas a possíveis restrições ao uso de HFCs e do desenvolvimento de alternativas não HFCs, o uso de R-404A em países em desenvolvimento, chamados países "Artigo-5" na denominação do Protocolo de Montreal, é bastante pequena.

No entanto, esse cenário pode se alterar no curto e médio prazo devido à decisão dos países partes do Protocolo de Montreal em antecipar a data de eliminação total para 2030 e começar, em 2013, diversas restrições ao consumo.

1.1.3 Ar Condicionado Estacionário

Os equipamentos de ar condicionado compactos (de janela, *splits*, *multi-splits*, etc.) produzidos no Brasil utilizam o refrigerante HCFC-22. Os importados da China e da Coreia também usam este refrigerante. Os importados do Japão podem ter refrigerantes HFCs (R-407C ou R-410A) também utilizados nos equipamentos fabricados em países da Europa e nos EUA. As emissões dos fluidos HFCs não foram estimadas, pois o consumo em São Paulo ainda é muito pequeno, mas poderão ter o seu consumo bastante intensificado nos próximos anos em função de recente decisão tomada pelas partes do

Protocolo de Montreal antecipando o cronograma de eliminação dos HCFCs. Uma das alternativas aos HFCs, o uso de refrigerantes hidrocarbonetos (HCs) ainda não tem uma aceitação ampla, devido às restrições existentes ao uso destes refrigerantes em equipamentos de ar condicionado devido a questão de segurança em função da sua inflamabilidade.

Os sistemas de ar condicionado central e refrigeração industrial utilizam basicamente os refrigerantes HCFC-22 e NH₃. Nos equipamentos produzidos no Brasil, o HCFC-22 é utilizado nas unidades resfriadoras de líquido com compressores alternativos, parafuso e *scroll*. Os sistemas importados da Europa utilizam o refrigerante R-407C (mistura de HFCs). O HFC-134a é utilizado nas unidades resfriadoras de líquidos (*chillers*) com compressores centrífugos, unidades que são importadas, pois não há produção local destas unidades. A NH₃ tem atualmente seu uso restrito a instalações de refrigeração industrial.

1.1.4 Ar Condicionado Veicular

Os sistemas de ar condicionado veicular, junto com os refrigeradores domésticos e *freezers* comerciais constituem a aplicação de refrigeração e ar condicionado que apresenta um grande uso de refrigerantes HFCs, no caso o refrigerante HFC-134a. Os sistemas de climatização veiculares passaram a utilizar o refrigerante HFC-134a a partir de 1996 e este é o único refrigerante utilizado nos novos sistemas. Nos sistemas produzidos antes desta data o refrigerante utilizado era o CFC-12, substituído devido às determinações do Protocolo de Montreal.

O fluido refrigerante HFC-134a é utilizado para a carga inicial e para a recarga devido aos vazamentos que ocorrem durante a vida útil dos sistemas de ar condicionado automotivos.

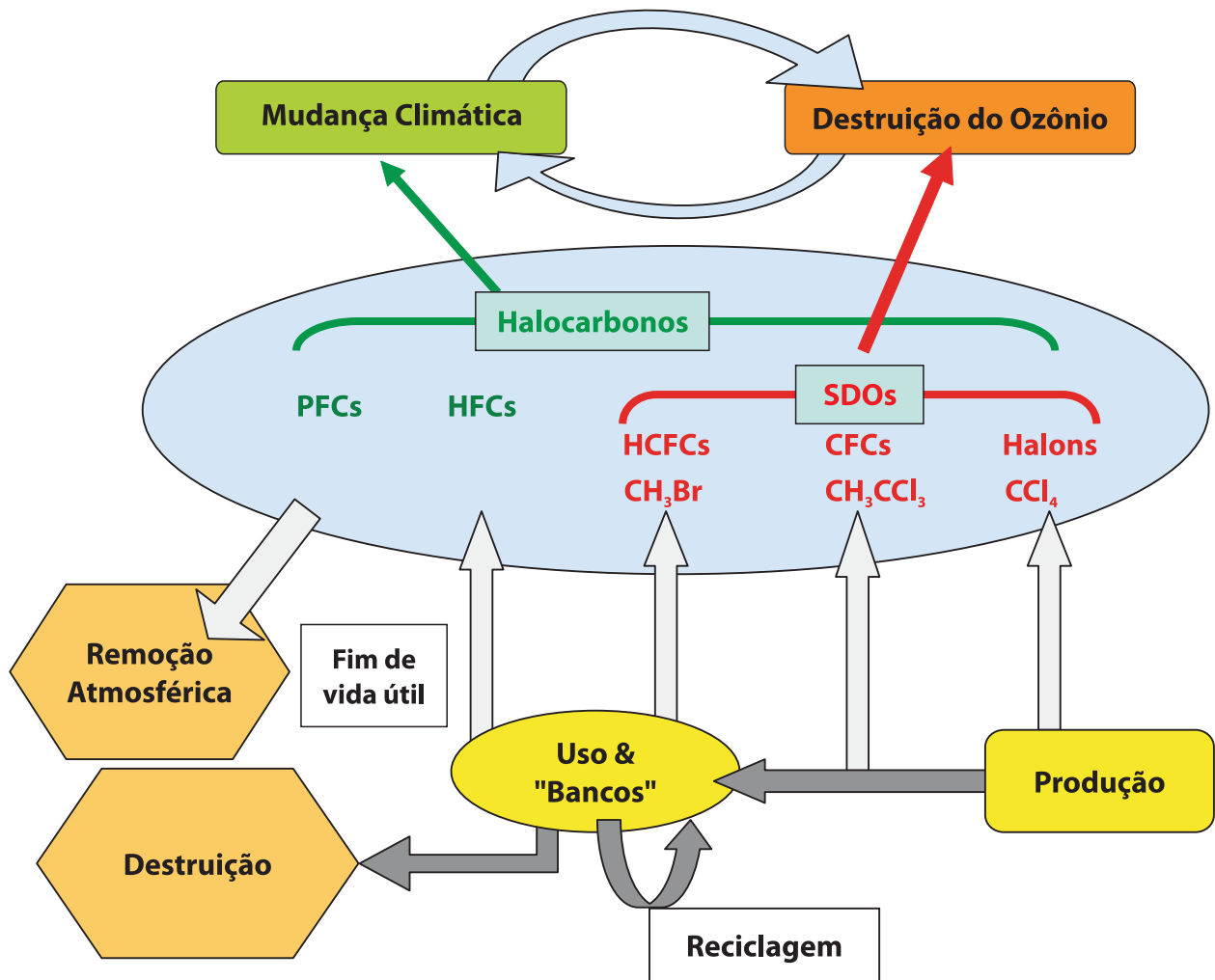
1.1.5 Transporte Refrigerado

Os caminhões frigoríficos que utilizavam CFC-12 como fluido refrigerante utilizam agora HFC-134a e R-404A. Não foram estimadas suas emissões pois não havia dados sobre a frota de caminhões frigoríficos do Estado de São Paulo, e comparando-se com as outras aplicações, as emissões são pequenas.

1.1.6 “Banco” de Refrigerantes

Em cada país ou região há um grande número de equipamentos de refrigeração e ar condicionado que contém os fluidos refrigerantes. Essa quantidade de refrigerantes é chamada de “banco” (*bank* em inglês) de refrigerantes. Vendas anuais de novos refrigerantes são usadas para aumentar o tamanho do “banco” em uso; ou substituir a fração do “banco” que foi emitida à atmosfera no último ano, (por conta de vazamentos e disposição final). A Figura 1 apresenta o ciclo de vida dos compostos halocarbônicos, a formação do “banco” e os impactos atmosféricos.

Figura 1 Ciclo de Vida dos Fluidos Halocarbônicos



Fonte: IPCC(2005)

2 Método Utilizado para Estimativa das Emissões de CFCs, HCFCs e HFCs do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado

Para a elaboração das estimativas de emissões foi considerada, como referência, as metodologias propostas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Os fluidos refrigerantes HFCs substituíram os CFCs e estão substituindo os HCFCs sem que tenha havido mudanças nos aspectos fundamentais das tecnologias utilizadas nos equipamentos das aplicações em estudo. Dessa forma, as metodologias propostas para avaliar as emissões de HFCs serão utilizadas para CFCs e HCFCs.

No IPCC (2000), o *Tier 2 Top-down* recomenda-se o uso de dados de vendas anuais de refrigerante. No caso brasileiro, esse método é conveniente para as circunstâncias nacionais, em função das vendas de refrigerantes serem identificadas a partir dos dados de importação (não são fabricados fluidos refrigerantes no Brasil) que apresentem registros históricos com razoável confiabilidade. No entanto, no caso do Estado de São Paulo, essas informações não estão disponíveis. No estado foi utilizado então, o enfoque alternativo, *Bottom-up*, usando dados de equipamentos e fatores de emissão (FE). O método *Tier 2a Bottom-up*, é apresentado sumariamente a seguir.

A estimativa de emissões foi realizada para montagem, operação, e disposição final dos equipamentos, conforme apresentado na Equação 1.

Equação 1 Estimativa de Emissões de Fluidos Refrigerantes em Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado

$$E_T = E_M + E_O + E_D$$

onde:

ET	= Emissões totais	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]
EM	= Inclui as emissões associadas com produção	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]
EO	= Inclui vazamento anual de refrigerante, incluindo emissões durante a manutenção, que ocorre no conjunto de equipamentos em uso	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]
ED	= Inclui o refrigerante liberado de sistemas sucateados ou em disposição final	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]

2.1 Método Tier 2 (*Bottom-up*)

Para a implementação do procedimento *Tier 2a Bottom-up* é necessário estimar a quantidade de refrigerantes contidos nos equipamentos fabricados ou montados, em funcionamento e sucateados, assim como os FE que representam os vazamentos e perdas de refrigerante nas fases de montagem, operação e disposição final.

As emissões de GEE que podem ocorrer na montagem, operação e disposição final.

2.1.1 Emissões na Montagem

Equação 2 Estimativa de Emissões na Montagem de Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado

$$Em = (\text{Total de HFC, CFC ou HCFC utilizado como carga no ano } t) \cdot (k \cdot 100^{-1})$$

onde:

k = FE que representa a porcentagem da carga inicial que é liberada durante a montagem

Para a estimativa do total de gás utilizado para carga, é apresentada a Equação 3.

Equação 3 Estimativa da Quantidade de Gás Utilizado como Carga

$$\text{Total de HFC, CFC ou HCFC utilizado como carga no ano } t = (\text{produção}) \cdot (\text{carga média de gás refrigerante})$$

2.1.2 Emissões na Operação

As emissões durante a operação de equipamentos e sistemas são calculadas a partir do estoque total de HFCs, CFCs ou HCFCs contidos nos equipamentos em uso, conforme a Equação 4.

Equação 4 Emissões Durante a Operação de Equipamentos e Sistemas de Refrigeração

$$E_o = (\text{Total de HFC, CFC ou HCFC em estoque no ano } t) \cdot (x \cdot 100)^{-1}$$

onde:

x = FE que representa taxa de perda, vazamento da em estoque de refrigerante nos processos de operação

Para a estimativa do total de gás em estoque, é apresentada a Equação 5.

Equação 5 Estimativa da Quantidade de gás em Estoque

$$\text{Total de HFC, CFC ou HCFC em estoque no ano } t = \text{Parque instalado} \cdot \text{carga média de gás refrigerante}$$

2.1.3. Emissões na Disposição Final (Sucateamento)

As emissões na disposição final (sucateamento) do equipamento podem ser calculadas pela Equação 6, Equação 7 e Equação 8 abaixo.

Equação 6 Estimativa da Quantidade de Refrigeradores e Freezers Sucateados

$$\text{Quantidade instalada no ano } t - \text{Quantidade instalada no ano } t-1 = \text{Quantidade que entra no mercado no ano } t - \text{Quantidade sucateada no ano } t$$

Equação 7 Estimativa da Quantidade de Refrigeradores e Freezers que Entra no Mercado

$$\text{Quantidade que entra no mercado no ano } t = \text{Quantidade produzida no ano } t + \text{Quantidade importada no ano } t - \text{Quantidade exportada no ano } t$$

Equação 8 Emissões na Disposição Final (sucateamento) dos Equipamentos Refrigerantes

$$ED = (\text{carga de HFC, CFC ou HCFC no ano } t-n) \cdot [(y \cdot 100^{-1}) \cdot (100 - z)] \cdot 100^{-1} - (\text{Total destruído intencionalmente})$$

Equação 9 Estimativa da Carga no Ano (t-n)

$$\text{Carga de HFC, CFC ou HCFC no ano } (t-n) = \text{Quantidade sucateada} \cdot \text{carga média de gás refrigerante}$$

onde:

y = Carga residual de HFC no equipamento que está sendo disposto expressa como porcentagem da carga total

z = Eficiência de recolhimento de HFC na disposição. Se houver reciclagem na disposição final, a porcentagem deve ser subtraída do total. Se não houver reciclagem o termo é igual a zero

3 Dados

Os dados de atividade para a aplicação do *Tier 2 Bottom-up* resumem-se basicamente no emprego de dados anuais, durante o período em análise, de quantidade de equipamentos produzidos (montagem), número de equipamentos instalados (operação) e quantidade sucateada (disposição final).

As informações obtidas nos levantamentos realizados, assim como as principais hipóteses e procedimentos adotados para suprir a ausência de dados são apresentados a seguir.

3.1 Refrigeradores e Freezers Domésticos

Não existem informações disponíveis para o Estado de São Paulo de nenhum dos três grupos de dados de atividade citados acima, e a sua estimativa foi feita conforme os procedimentos descritos nos itens a seguir.

3.1.1 Carga Média de Refrigeradores e Freezers Domésticos

A carga média em refrigeradores e *freezers* empregada nas estimativas foi de 150g de gás refrigerante (CFC-12 ou HFC-134a) conforme apresentado pelo IPCC na Tabela 21 deste documento.

3.1.2 Quantidade Produzida

Os valores de produção permitem calcular as quantidades de HFCs e CFCs necessários para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a montagem dos equipamentos.

Para a obtenção de dados sobre a produção de equipamentos de refrigeração doméstica, o procedimento adotado foi semelhante ao utilizado acima. Foram obtidas informações de produção nacional a partir do banco de dados da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (Eletros) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apresentadas na Tabela 1.

Em publicação do IBGE sobre os cem produtos mais produzidos no país, nos anos de 2006, 2007 e 2008, foram apresentadas

as produções estaduais de equipamentos de refrigeração doméstica. Isso ocorreu para os refrigeradores e *freezers* no Estado de São Paulo, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 Produção de Refrigeradores e Freezers de 1990 a 2008 no Brasil e no Estado de São Paulo

Ano	Produção de Refrigeradores/Freezers no Brasil	Produção de Refrigeradores/Freezers em São Paulo
	[Equipamentos]	
1990	2.837.880	n.d.
1991	3.179.692	n.d.
1992	3.521.504	n.d.
1993	3.863.316	n.d.
1994	4.205.128	n.d.
1995	4.258.411	n.d.
1996	5.466.054	n.d.
1997	4.942.035	n.d.
1998	4.061.626	n.d.
1999	3.679.207	n.d.
2000	3.876.106	n.d.
2001	4.086.359	n.d.
2002	3.945.170	n.d.
2003	4.888.335	n.d.
2004	5.419.834	n.d.
2005	5.296.945	n.d.
2006	6.128.610	1.121.015
2007	7.318.636	941.810
2008	6.694.221	1.512.865

Fonte: ELETROS(2010); IBGE(2008).

Nota: n.d. - Não disponível.

Adotou-se como hipótese de trabalho que a porcentagem média da produção em São Paulo em relação ao total produzido nacionalmente é 17,9%². Essa constante foi empregada para todo o período (isso pode ser justificado, considerando-se que ao longo desse período, o Estado perdeu e ganhou duas

2 Esse percentual médio foi obtido considerando os dados nacionais e estaduais de 2006, 2007 e 2008.

empresas fabricantes de refrigeradores e *freezers*, de porte semelhante). Dessa forma, a Tabela 3 apresenta os dados de produção no Estado de São Paulo, derivados dos dados de produção nacionais.

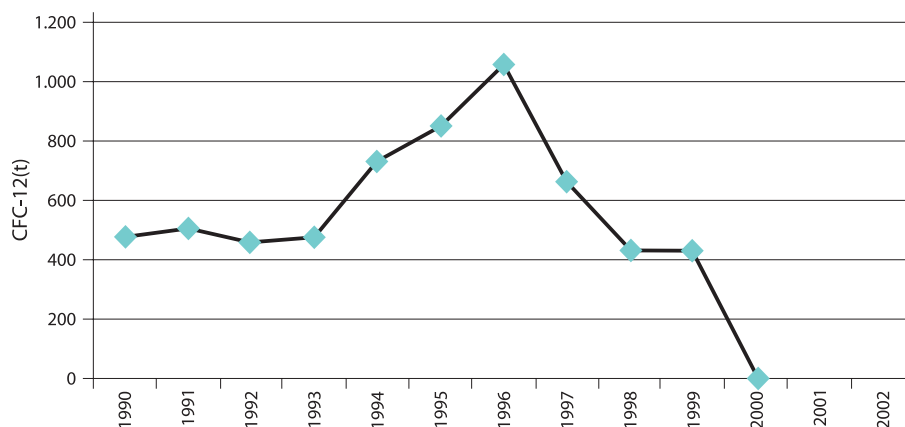
Outro nível de desagregação dos dados, necessário para a estimativa de emissões de CFC-12 e HFC-134a na montagem ou fabricação, é a quantidade de produtos fabricados com o refrigerante original CFC-12 e a quantidade fabricada com o HFC-134a, que substituiu o CFC-12.

Durante o período considerado para avaliação das emissões houve a transição entre essas duas tecnologias em função das medidas de implementação do Protocolo de Montreal para eliminação de substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDOs). A transição do CFC-12 para o HFC-134a foi completada em 2000, conforme mostra a Gráfico 1.

A análise a seguir refere-se ao panorama nacional. Na ausência de informações sobre a fração de produtos fabricados com CFC-12 e com HFC-134a, para a estimativa deste parâmetro adotou-se o mesmo procedimento utilizado no 2º Inventário Nacional de Emissões de GEE (BRASIL, 2010):

- Considerou-se o total de equipamentos produzidos em 1995 e 1996 e o consumo de CFC-12 nesses anos;
- Determinou-se a carga média de refrigerante por produto;
- Com o valor da carga média e o consumo de CFC-12 nos anos subsequentes calculou-se o total de equipamentos produzidos com CFC-12;
- Subtraiu-se do total geral e obteve-se uma estimativa para o número de produtos com HFC-134a.
- Os valores obtidos utilizando-se esse procedimento são apresentados na Tabela 2.

Gráfico 1 Consumo Nacional de CFC-12 na Fabricação de Refrigeradores Domésticos



Fonte: UNEP (2002)

Tabela 2 Produção Total Estimada de Unidades com Refrigerante CFC-12 e HFC-134a de 1997 a 2001 no Estado de São Paulo

Ano	Produtos com CFC-12	Produtos com HFC-134a	Produção com Refrigerante CFC-12	% da Produção com Refrigerante HFC-134a
	[produto]		[%]	
1997	3.401.015	1.541.020	68,8	31,2
1998	2.197.970	1.863.656	54,2	45,8
1999	2.197.970	1.481.237	59,7	40,3
2000	10.152	3.865.954	0,3	99,7
2001	0	4.086.359	0,0	100,0

Utilizando a proporção estadual de 17,9% sobre os dados da Tabela 1 e os dados da Tabela 2, é apresentada na Tabela 3 a distribuição entre a produção de equipamentos com CFC-12 e com HFC-134a.

Tabela 3 Produção estimada de Refrigeradores e Freezers com CFC-12 e com HFC-134 a no Estado de São Paulo

Ano	Produção de Refrigeradores e Freezers no Estado de São Paulo	Produtos com CFC-12	Produtos com HFC-134a
	[produto]		
1990	507.981	507.981	
1991	569.165	569.165	
1992	630.349	630.349	
1993	691.534	691.534	
1994	752.718	752.718	
1995	762.256	762.256	
1996	978.424	978.424	
1997	884.624	608.798	275.826
1998	727.031	394.051	332.980
1999	658.578	393.434	265.144
2000	693.823	1.804	692.019
2001	731.458		731.458
2002	706.185		706.185
2003	875.012		875.012
2004	970.150		970.150
2005	948.153		948.153
2006	1.121.015		1.121.015
2007	941.810		941.810
2008	1.512.865		1.512.865

3.1.3 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Refrigeradores e Freezers Domésticos (k)

O FE(k) empregado na etapa de montagem foi de 0,6% da carga anual total de refrigerante recomendado pelo IPCC na Tabela 21 deste documento.

3.1.4 Parque Instalado de Refrigeradores e Freezers Domésticos

O parque de equipamentos instalado permite cálculo do estoque de HFCs e CFCs, necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a operação desses equipamentos.

A Tabela 4 apresenta a evolução do número de refrigeradores e freezers em uso no Brasil. Esta tabela foi obtida a partir dos dados

Tabela 4 Total de Refrigeradores e Freezers Instalados de 1990 a 2005 no Brasil

Ano	Refrigeradores/Freezers	
	CFC-12	HFC-134a
	[milhões de equipamentos]	
1990	26,2	
1991	27,5	
1992	28,7	
1993	30,0	
1994	30,4	
1995	31,2	
1996	33,7	
1997	34,9	1,3
1998	35,0	2,9
1999	34,2	4,1
2000	31,1	7,2
2001	29,9	10,5
2002	27,9	13,7
2003	26,8	16,9
2004	25,1	20,7
2005	24,1	24,6

Fonte: Leonelli (2008); Brasil (2002)

apresentados em Leonelli (2008) e Brasil (2002).

Para a distribuição entre refrigeradores com CFC-12 e com HFC-134a considerou-se que a produção de refrigeradores com HFC-134a iniciou-se em 1997 e que a partir de 2000 a produção de refrigeradores passou a ser feita somente com esse refrigerante.

Para obtenção da evolução do número de refrigeradores e freezers instalados no Estado de São Paulo a partir dos valores nacionais considerou-se que o Estado responde por 23,8% do total nacional, fração considerada constante ao longo do período analisado. Este valor foi estimado a partir dos dados do IBGE (Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios - Síntese de Indicadores 2008) adotando a média dos dados de 2007 e 2008 relativos a participação percentual do número de domicílios com geladeiras e freezers no Estado e ao número total de domicílios no país com estes bens.

Como os dados obtidos se referem até o ano de 2005, foi realizada uma extrapolação para os anos de 2006, 2007 e 2008 apresentados na Equação 10, Equação 11, Gráfico 2 e Gráfico 3 a seguir.

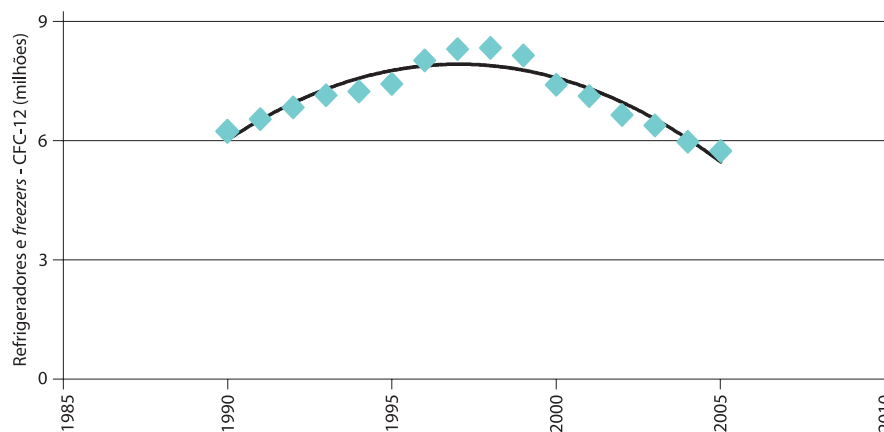
Equação 10 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com CFC-12

$$Ref. e freezers_{(CFC-12)} = -0386875000.ano^2 + 154,519875000.ano - 154282,1155625010$$

onde:

Ref. e freezers_(CFC-12) = Número de refrigeradores que utilizam CFC-12 como fluido refrigerante

Gráfico 2 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com CFC-12 de 1990 a 2005 no Estado de São Paulo

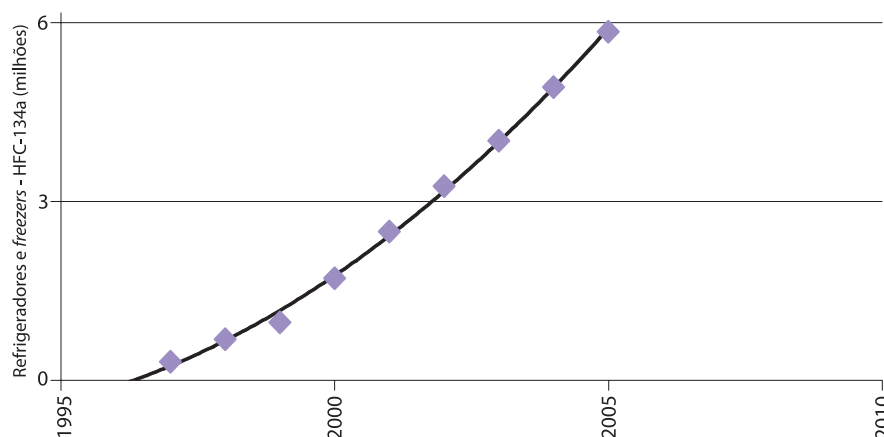
**Equação 11** Estimativa de Refrigeradores com HFC-134a

$$Ref. e freezers_{(HFC-134a)} = 0,040465152.ano^2 - 161,232693.ano + 160606,536543022$$

onde:

Ref. e freezers_(HFC-134a) = Número de refrigeradores e freezers que utilizam HFC-134a como fluido refrigerante

Gráfico 3 Estimativa de Refrigeradores e Freezers com HFC-134a de 1997 a 2005 no Estado de São Paulo



A Tabela 5 apresenta a quantidade estimada de refrigeradores e freezers instalados para o período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.

Tabela 5 Parque Instalado de Refrigeradores e Freezers de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Total- Refrigeradores/Freezers	
	CFC-12	HFC-134a
[milhões de equipamentos]		
1990	6,2	
1991	6,5	
1992	6,8	
1993	7,1	
1994	7,2	
1995	7,4	
1996	8,0	
1997	8,3	0,3
1998	8,3	0,7
1999	8,1	1,0
2000	7,4	1,7
2001	7,1	2,5
2002	6,6	3,3
2003	6,4	4,0
2004	6,0	4,9
2005	5,7	5,9
*2006	4,8	7,0
*2007	4,1	8,1
*2008	3,3	9,4

*Dados estimados empregando-se a Equação 10 e a Equação 11.

3.1.5 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Refrigeradores e Freezers Domésticos (x)

O FE (x) empregado na etapa de operação foi de 0,5% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC conforme a Tabela 21 deste documento.

3.1.6 Quantidade de Refrigeradores e Freezers que entram no Mercado Nacional

As quantidades produzidas e exportadas foram obtidas de informações da ELETROS, IBGE e do portal ALICE-Web.

Não foram obtidas informações sobre a quantidade importada e esse parâmetro foi por ora desconsiderado, tendo-se em conta que os valores importados não são tão significativos quando comparados com os valores da produção e exportação. O Gráfico 4 e Equação 12 apresentam a equação empregada para estimar os dados de exportação.

Equação 12 Estimativa de Refrigeradores e Freezers Domésticos com HFC-134a

$$Ref. e freezers_{(HFC-134a)} = 6,190 \cdot 10^{-209} \cdot e^{0,246181042 \cdot ano}$$

A Tabela 6 apresenta os valores estimados para a quantidade de refrigeradores e freezers domésticos que entram no mercado nacional (produção-exportação).

3.1.7 Quantidade Sucateada

Da mesma forma que anteriormente, não existem dados disponíveis para o Estado de São Paulo e o caminho adotado foi também o de estimar esses dados indiretamente a partir da avaliação dos dados nacionais.

A Tabela 7 apresenta a quantidade de equipamentos sucateados calculada usando a Equação 6 e a Equação 7 e as considerações anteriores.

Gráfico 4 Ajuste de Curva para Estimativa de Dados de Exportação no Estado e São Paulo

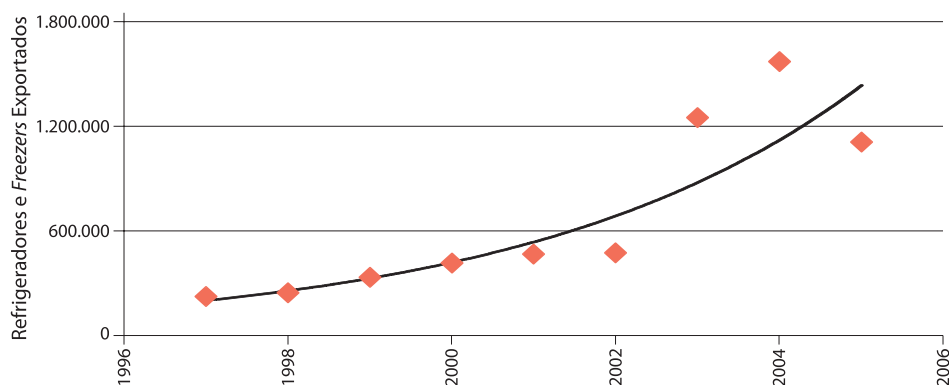


Tabela 6 Quantidade de Refrigeradores e Freezers Domésticos que Entram no Mercado Nacional (Produção-Exportação)

Ano	Produção	Exportação	Exportação/ Produção	Produção - Exportação
	[equipamentos]			
1990*	2.837.880	35.702		2.802.178
1991*	3.179.692	45.668		3.134.024
1992*	3.521.504	58.415		3.463.089
1993*	3.863.316	74.721		3.788.595
1994*	4.205.128	95.578		4.109.550
1995*	4.258.411	122.256		4.136.155
1996*	5.466.054	156.382		5.309.672
1997	4.942.035	223.066		4.718.969
1998	4.061.626	244.568		3.817.058
1999	3.679.207	332.827		3.346.380
2000	3.876.106	414.746		3.461.360
2001	4.086.359	467.194	0,114	3.619.165
2002	3.945.170	473.017	0,120	3.472.153
2003	4.888.335	1.249.250	0,256	3.639.085
2004	5.419.834	1.570.796	0,290	3.849.038
2005	5.296.945	1.108.869	0,209	4.188.076
2006**	6.128.610	1.213.465	0,198	4.915.145
2007**	7.318.636	1.449.090	0,198	5.869.546
2008**	6.694.221	1.325.456	0,198	5.368.765

*Valores estimados a partir do ajuste de curva exponencial aos dados de 1997 a 2005, conforme mostrado na Equação 11.

**Valores estimados admitindo-se um valor médio para a fração exportação/produção em 2006, 2007 e 2008 calculados para os anos de 2001 a 2005. Este valor foi de 19,8%.

Tabela 7 Quantidade de Refrigeradores e Freezers Domésticos Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Quantidade que entra no Mercado (Brasil)	Varição do Parque Instalado (Brasil)	Quantidade Sucateada (Brasil)	Quantidade Sucateada São Paulo (Quant. Brasil x 0,238)
	[equipamentos]			
1990	2.802.178	1.300.000	1.502.178	357.518
1991	3.134.024	1.300.000	1.834.024	436.498
1992	3.463.089	1.200.000	2.263.089	538.615
1993	3.788.595	1.300.000	2.488.595	592.286
1994	4.109.550	400.000	3.709.550	882.873
1995	4.136.155	800.000	3.336.155	794.005
1996	5.309.672	2.500.000	2.809.672	668.702
1997	4.718.969	2.500.000	2.218.969	528.115
1998	3.817.058	1.700.000	2.117.058	503.860
1999	3.346.380	400.000	2.946.380	701.238
2000	3.461.360	0	3.461.360	823.804
2001	3.619.165	2.100.000	1.519.165	361.561
2002	3.472.153	1.200.000	2.272.153	540.772
2003	3.639.085	2.100.000	1.539.085	366.302
2004	3.849.038	2.100.000	1.749.038	416.271
2005	4.188.076	2.900.000	1.288.076	306.562
2006	4.915.145	3.000.000	1.915.145	455.805
2007	5.869.546	3.600.000	2.269.546	540.152
2008	5.368.765	4.000.000	1.368.765	325.766

3.1.8 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Refrigeradores e Freezers Domésticos (y)

Considerando-se que, o tempo de vida médio dos equipamentos é de 25 anos, adotou-se a hipótese de que todos os equipamentos sucateados utilizam refrigerante CFC-12. Adicionalmente, foi adotada a premissa de que 50% dos equipamentos sucateados contém a carga total de refrigerante e que os outros 50% não contém refrigerante nenhum.

O FE (y) empregado na etapa de sucateamento foi de 50% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC na Tabela 21 deste documento.

3.2 Refrigeradores e Freezers Comerciais

Os refrigeradores e *freezers* comerciais são equipamentos de tecnologia similar aos equipamentos domésticos, constituídos por expositores (*displays*) para bebidas, *freezers* para sorvetes, etc.

3.2.1 Carga Média de Refrigeradores e Freezers Comerciais

A carga média em refrigeradores e *freezers* comerciais empregada nas estimativas foi de 400g de gás refrigerante (CFC-12 ou HFC-134a), recomendado pelo IPCC na Tabela 21 deste documento.

3.2.2 Quantidade Produzida

Os valores de produção permitem calcular as quantidades de HFCs e CFCs necessários para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a montagem dos equipamentos. As informações obtidas sobre a produção de refrigeradores e *freezers* domésticos e comerciais ao nível nacional são apresentadas na Tabela 8.

O número de refrigeradores e *freezers* comerciais produzidos anualmente no Brasil durante o período em análise foi estimado, admitindo-se como hipótese de trabalho, que esse número é uma fração (10,9%) da produção de refrigeradores e *freezers* domésticos no Brasil. Esse dado foi aplicado para todo o período.

Para a estimativa da produção no Estado de São Paulo, adotou-se que as empresas estabelecidas no Estado de São Paulo respondem por 50% da produção de equipamentos de refrigeração comercial (BELMONTE; SUCKEVERIS, 2010).

A proporção entre o emprego de CFC-12 e HFC-134a foi a mesma empregada na estimativa para refrigeradores e *freezers* domésticos.

Com essas premissas foram estimadas as quantidades produzidas no estado anualmente, entre 1990 e 2008, que são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 8 Produção de Refrigeradores e Freezers Domésticos e Comerciais de 1995 a 2002 no Brasil

Ano	Produção de Refrigeradores e freezers Comerciais	Produção de Refrigeradores e freezers Domésticos	Razão entre refrigeradores e freezers comerciais e domésticos
	[equipamentos]		
1995	680.370	4.258.411	0,1598
1996	744.722	5.466.054	0,1362
1997	703.990	4.942.035	0,1424
1998	493.023	4.061.626	0,1214
1999	357.975	3.679.207	0,0973
2000	333.325	3.876.106	0,0860
2001	252.198	4.086.359	0,0617
2002	277.310	3.945.170	0,0703
			Valor médio = 0,109

Fonte: ELETROS (2010)

Tabela 9 Estimativa de Produção de Refrigeradores e Freezers Comerciais com CFC-12 e com HFC-134a de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produtos com CFC-12	Produtos com HFC-134a
	[equipamentos]	
1990	154.664	
1991	173.293	
1992	191.922	
1993	210.551	
1994	229.179	
1995	232.083	
1996	297.900	
1997	185.360	83.980
1998	119.976	101.382
1999	119.789	80.728
2000	549	210.699
2001		222.706
2002		215.012
2003		266.414
2004		295.381
2005		288.683
2006		334.009
2007		398.866
2008		364.835

3.2.3 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Refrigeradores e Freezers Comerciais (k)

O FE (k) empregado na etapa de montagem foi de 1,75% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC conforme a Tabela 21 deste documento.

3.2.4 Parque Instalado

O parque instalado de equipamentos permite cálculo do estoque de HFCs e CFCs, necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a operação desses equipamentos.

Estima-se que, em 2010, o parque instalado desses equipamentos seja 4,54 milhões de unidades. Conforme informações obtidas de fabricantes, a previsão do parque instalado em 2010 de refrigeradores e freezers domésticos, a partir de uma extrapolação dos dados da Tabela 4, é de 60,7 milhões. A fração de unidades compactas de refrigeração comercial instalada em relação ao parque instalado de refrigeradores e freezers domésticos é de 7,5%. Adotou-se então como premissa que o

parque instalado nacional de equipamentos comerciais é igual a 7,5% do parque instalado de equipamentos domésticos nesse período.

Além disso, foram adotadas as mesmas premissas utilizadas para refrigeradores e freezers domésticos para a estimativa dos dados referentes ao Estado de São Paulo a partir dos dados nacionais, ou seja, considerou-se que o parque instalado no Estado de São Paulo responde por 23,8% do total nacional, fração considerada constante ao longo do período analisado, estimada a partir dos dados do IBGE (Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios - Síntese de Indicadores 2008).

A distribuição entre equipamentos instalados e que contém HFC-134a será adotada como igual à apresentada pelos refrigeradores e freezers domésticos. A Tabela 10 apresenta a estimativa do parque instalado no Estado de São Paulo de refrigeradores e freezers comerciais.

Tabela 10 Parque de Refrigeradores e Freezers Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Refrigeradores / Freezers Comerciais	
	[milhões de unidades]	
	CFC-12	HFC-134a
1990	0,47	
1991	0,49	
1992	0,51	
1993	0,54	
1994	0,54	
1995	0,56	
1996	0,60	
1997	0,62	0,02
1998	0,62	0,05
1999	0,61	0,07
2000	0,56	0,13
2001	0,53	0,19
2002	0,50	0,24
2003	0,48	0,30
2004	0,45	0,37
2005	0,43	0,44
2006	0,36	0,52
2007	0,31	0,61
2008	0,24	0,70

3.2.5. Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Refrigeradores e Freezers Comerciais (x)

O FE(x) empregado na etapa de operação foi de 10% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC na Tabela 21.

3.2.6 Quantidade Sucateada

A quantidade sucateada de equipamentos permite cálculo do estoque de HFCs e CFCs necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a disposição desses equipamentos. A estimativa da quantidade sucateada foi realizada de acordo com o procedimento apresentado na Equação 6 e Equação 7, admitindo que a quantidade importada não é significativa e que a quantidade exportada responde por 30% da produção, segundo informações obtidas da principal empresa fabricante destes equipamentos no Brasil.

Utilizando essas premissas, a Tabela 11 a seguir apresenta a quantidade sucateada.

Tabela 11 Quantidade de Refrigeradores e Freezers Comerciais Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Refrigeradores e Freezers Sucateados
	[equipamentos]
1990	32.939
1991	34.536
1992	42.528
1993	46.951
1994	69.223
1995	63.050
1996	54.635
1997	40.342
1998	38.191
1999	54.194
2000	55.518
2001	21.420
2002	35.700
2003	19.635
2004	30.345
2005	17.850
2006	69.752
2007	54.982
2008	60.785

3.2.7 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Refrigeradores e Freezers Comerciais (y)

Analogamente ao que foi considerado para refrigeradores e freezers domésticos, adotou-se que todo equipamento sucateado é baseado na tecnologia CFC-12 e que 50% contém carga total de refrigerante e os outros 50% carga nula.

3.3 Sistemas de Ar Condicionado Veicular

Os sistemas de climatização veiculares passaram a utilizar o refrigerante HFC-134a em todos veículos novos produzidos no Brasil a partir de 1996 e este é o único refrigerante utilizado nos novos sistemas. Nos sistemas produzidos antes desta data o refrigerante utilizado era o CFC-12, substituído devido às determinações do Protocolo de Montreal.

As emissões de fluidos refrigerantes em sistemas de ar condicionado veicular serão estimadas considerando-se somente as emissões referentes aos veículos em operação no campo julgadas as mais significativas. Os outros dois grupos, montagem e sucateamento, não serão considerados nesse momento. Com relação ao sucateamento, considera-se que quando da disposição final todos os veículos já perderam sua carga de refrigerante.

3.3.1 Automóveis

Carga Média em Automóveis

A carga média em automóveis empregada nas estimativas foi de 960g de gás refrigerante tanto para CFC-12 e de HFC-134a (BRASIL, 2002).

Parque Instalado

O parque instalado de equipamentos permite cálculo do estoque de HFCs e CFCs necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a operação desses equipamentos. Não há informações

disponíveis sobre o número de sistemas de ar condicionado instalado nas frotas anuais de automóveis. Dessa forma, esse número foi determinado a partir da frota do Estado de São Paulo, estimando-se a parcela dos automóveis novos licenciados anualmente que possuem sistema de ar condicionado de fábrica e aplicando-se uma taxa de sobrevivência para automóveis de acordo com a idade do automóvel.

As instituições e empresas contatadas não possuem nenhuma estatística oficial pública contendo dados sobre sistemas de ar condicionado veicular instalados. Apenas foram obtidas estimativas³, que são apresentadas na Tabela 12. Os dados se referem ao cenário nacional e foram admitidos, como hipótese de trabalho, válidos para o Estado de São Paulo.

Tabela 12 Estimativa da Parcela da Frota de Automóveis Novos com Sistemas de Ar Condicionado

Ano	FAC
	[%]
1990	10
1995	18
1997	27
1999	38
2001	45
2005	58
2009	65

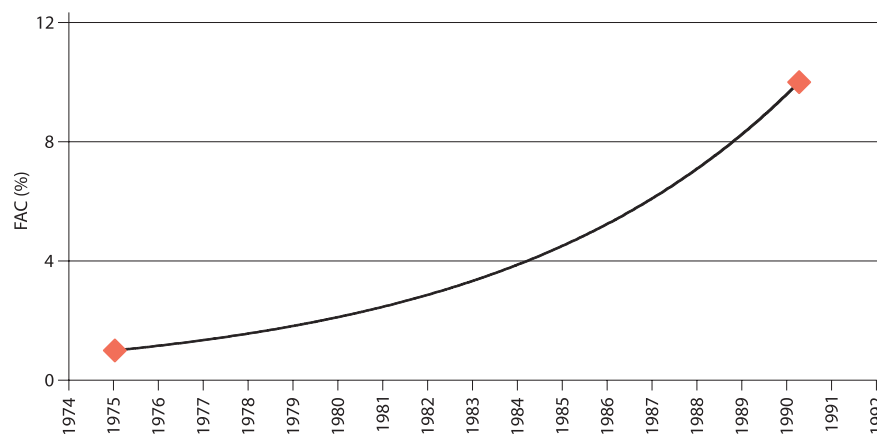
Fonte: CETESB (2011)

Esses dados foram utilizados para obter uma expressão relacionando a fração de automóveis novos licenciados anualmente com sistema de ar condicionado (FAC) no ano t , para o período de 1991 a 2008. Para determinar a expressão da variação anual de FAC para o período antes de 1991, considerou-se a informação obtida em entrevista com fabricante, de que em 1975, 1% dos veículos saía de fábrica com sistema de ar condicionado. Dessa forma, obteve-se a Gráfico 5 e a Equação 13, a seguir.

Equação 13 Evolução da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado Antes de 1991

$$FAC = 3,66912 \cdot 10^{-127} \cdot e^{(0,14743 \cdot \text{ano})}$$

Gráfico 5 Evolução da Fração da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado Antes de 1991



3 As fontes para essas estimativas foram entrevistas com fabricantes de sistemas de ar condicionado veicular (Densu, Behr), montadoras automotivas (Ford, GM) e publicações mencionadas nas referências deste estudo.

Foram aplicados dados de automóveis novos licenciados anualmente dois FAC distintos, o primeiro para veículos licenciados antes de 1991 (Equação 13) e o segundo para os veículos licenciados no período de 1991 a 2008 (Equação 14 e Gráfico 6).

A Tabela 12 apresenta a estimativa da parcela de frota de automóveis novos com sistemas de ar condicionado.

Equação 14 Evolução da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado de 1991 a 2008

$$FAC = 137.876.687 - (206.899,163 \cdot ano) + (103,489468 \cdot ano^2) - (0,0172545238 \cdot ano^3)$$

onde:

ano	Ano de estimativa da FAC	[ano]
-----	--------------------------	-------

Após determinado o número de veículos licenciados anualmente com ar condicionado de fábrica aplicou-se a esses dados a taxa de sobrevivência dos veículos de acordo com a sua idade, que é apresentada na Equação 15.

Equação 15 Taxa de Sobrevivência

$$S(t) = 1 - e^{-(a+(b \cdot t))}$$

onde:

t é a idade do veículo e a e b são constantes que dependem do tipo de veículo. Para automóveis, a equivale a 1,798 e b equivale a -0,137

Os valores determinados para a frota de veículos com sistemas de ar condicionado com CFC-12 e HFC-134a são apresentados na Tabela 13.

Gráfico 6 Evolução da Fração da Frota de Veículos Novos com Sistemas de Ar Condicionado de 1991 a 2008

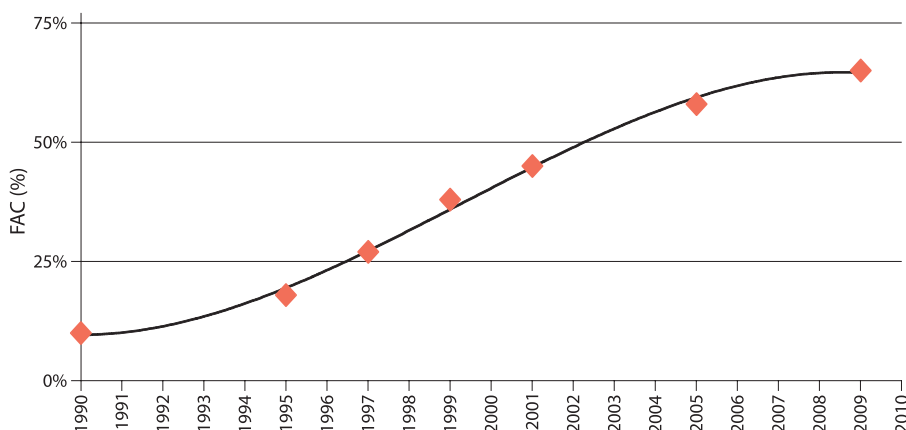


Tabela 13 Estimativa de Evolução Anual da Frota de Automóveis com Sistema de Ar Condicionado

Ano	Frota Veículos de SP*	Frota AC	AC HFC-134a	AC CFC-12
1990	3.771.571	137.272	-	137.272
1991	3.823.532	162.789	-	162.789
1992	3.865.692	190.429	-	190.429
1993	4.018.243	240.488	-	240.488
1994	4.221.291	309.517	-	309.517
1995	4.510.830	410.595	-	410.595
1996	4.839.312	539.930	137.252	402.677
1997	5.219.675	706.286	312.873	393.414
1998	5.413.557	835.160	452.511	382.648
1999	5.632.186	991.764	621.485	370.280
2000	5.919.514	1.197.550	841.266	356.283
2001	6.231.709	1.438.093	1.097.368	340.724
2002	6.402.849	1.630.195	1.306.434	323.761
2003	6.531.640	1.816.105	1.510.474	305.630
2004	6.674.122	2.024.382	1.737.753	286.628
2005	6.835.122	2.257.036	1.989.951	267.084
2006	7.035.773	2.525.866	2.278.532	247.334
2007	7.364.198	2.886.629	2.658.931	227.699
2008	7.747.356	3.288.170	3.079.704	208.466

Fonte: CETESB (2011)

Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Ar Condicionado em Automóveis (x)

O FE(x) empregado foi de 30% da carga de refrigerante durante o tempo de vida útil do equipamento, conforme default do IPCC apresentados na Tabela 22 deste documento.

3.3.2 Ônibus

Carga Média de Gás Refrigerante em Ônibus

Considerou-se a carga média de fluido refrigerante em sistemas de ar condicionado em ônibus igual a 5 kg (DENSO BRASIL, c2009).

Parque Instalado

O parque instalado permite cálculo do estoque de HFCs e CFCs necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a operação desses equipamentos.

Os sistemas de ar condicionado instalados em ônibus de transporte intermunicipal e transportes especiais (fretados) apresentam uma situação similar aos sistemas de ar condicionado instalados nos automóveis. O fluido refrigerante utilizado CFC-12 foi substituído pelo HFC-134a. A estimativa do número de ônibus equipados com ar condicionado no Estado de São Paulo foi realizada considerando-se que 80% dos ônibus intermunicipais e fretados contém sistema de ar condicionado, conforme dados de representantes de empresas fabricantes de sistemas de ar condicionado para ônibus.

Na ausência de dados sobre a parcela da frota com refrigerante CFC-12 e com refrigerante HFC-134a, adotou-se a mesma distribuição determinada para os veículos. A Tabela 14 apresenta os valores da frota de ônibus com sistema de ar condicionado.

Fator de Emissão de GEE da Fase de Operação de Ar Condicionado em Ônibus (x)

O FE_(x) empregado foi de 30% da carga de refrigerante durante o tempo de vida útil do equipamento, conforme *default* do IPCC apresentados na Tabela 22 deste documento.

Tabela 14 Frota de Ônibus com Sistema de Ar Condicionado

Ano	Frota Ônibus Rodoviários	Frota com AC	AC - HFC-134a	AC - CFC-12
	[ônibus]			
1990	5.701	4.561		4.561
1991	6.142	4.914		4.914
1992	6.494	5.195		5.195
1993	6.641	5.313		5.313
1994	6.635	5.308		5.308
1995	6.790	5.432		5.432
1996	6.907	5.526	1.405	4.121
1997	6.946	5.557	2.462	3.095
1998	7.000	5.600	3.034	2.566
1999	6.914	5.531	3.466	2.065
2000	6.950	5.560	3.906	1.654
2001	7.096	5.677	4.332	1.345
2002	7.298	5.838	4.679	1.159
2003	7.594	6.075	5.052	1.022
2004	7.909	6.327	5.431	896
2005	8.126	6.501	5.732	769
2006	8.318	6.655	6.003	652
2007	8.745	6.996	6.444	552
2008	9.022	7.218	6.760	458

Fonte: CETESB (2011)

3.4 Bebedouros

3.4.1 Carga Média de Fluido Refrigerante em Bebedouros

Considerou-se a carga média de fluido refrigerante em bebedouros igual a 50g (BRASIL, 2002).

3.4.2 Quantidade Produzida de Bebedouros

Os valores de produção permitem calcular as quantidades de HFCs e CFCs necessários para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a montagem dos equipamentos.

Bebedouros, assim como os refrigeradores domésticos, foram convertidos para utilizar HFC-134a como refrigerante alternativo ao CFC-12. Não há estatísticas disponíveis sobre a produção anual de bebedouros no Estado de São Paulo. Foram feitos contatos com a Associação Brasileira da Indústria de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (ABINEE), entidade que agrega os fabricantes de bebedouros, mas não foram obtidas as informações solicitadas.

Foram obtidos dados de produção nacional de bebedouros para o período de 1997 a 2005, publicados pelo IBGE, mostrados na Tabela 15, e em função disso adotou-se o seguinte procedimento: estimou-se a produção de bebedouros no Estado de São Paulo considerando que essa produção é uma fração constante da produção nacional apresentada na Tabela 15. O valor utilizado para essa fração foi a razão entre o número de fabricantes que se encontram no território paulista sobre o total de fabricantes nacionais, ou seja, 27 por 37 (27/37).

Estimou-se a produção estadual para o restante dos anos do período por meio de uma função matemática, ajustada com os dados existentes na Tabela 15 para o Estado de São Paulo, conforme apresentada no Gráfico 7.

Tabela 15 Produção de Bebedouros de 1997 a 2005 no Brasil e no Estado de São Paulo

Ano	Produção de bebedouros	
	Brasil	São Paulo
	[bebedouros]	
1997	161.057	117.528
1998	194.776	142.134
1999	154.809	112.969
2000	404.043	294.842
2001	427.078	311.652
2002	356.391	260.069
2003	266.734	194.644
2004	247.003	180.245
2005	340.474	248.454

Fonte: IBGE (2008)

Equação 16 Estimativa de Produção de Bebedouros no Estado de São Paulo

$$BP = 4,519633057358570 \cdot 10^{-63} \cdot e^{(0,07782665593489 \cdot \text{ano})}$$

onde:

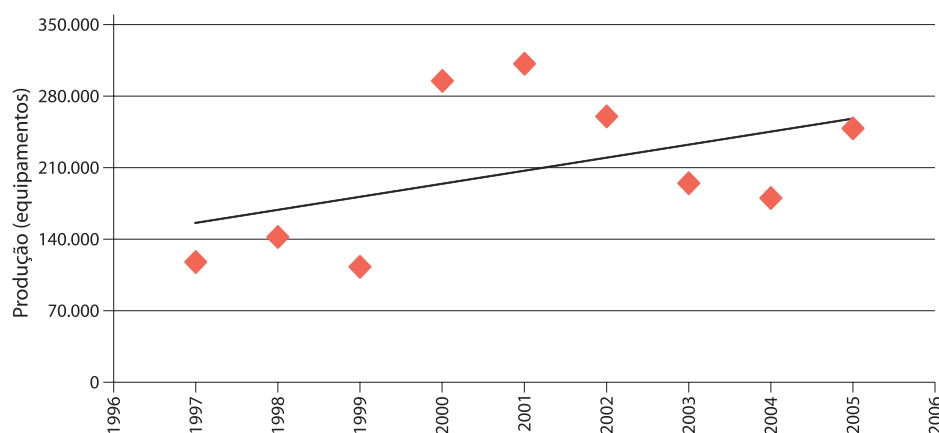
BP = Produção de bebedouro

Utilizando esse procedimento, a Tabela 16 apresenta uma estimativa para a produção de bebedouros no Estado de São Paulo.

Tabela 16 Estimativa para a Produção de Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produção de Bebedouros
	[bebedouros]
1990	82.505
1991	89.183
1992	96.401
1993	104.203
1994	112.637
1995	121.753
1996	131.607
1997	117.528
1998	142.134
1999	112.969
2000	294.842
2001	311.652
2002	260.069
2003	194.644
2004	180.245
2005	248.454
2006	286.600
2007	309.796
2008	334.869

Gráfico 7 Estimativa de Produção de Bebedouros no Estado de São Paulo



A Tabela 17 apresenta a produção estimada de bebedouros com CFC-12 e HFC-134a no Estado de São Paulo, adotando-se a mesma distribuição utilizada para refrigeradores e freezers domésticos.

Tabela 17 Produção Estimada de Bebedouros de 1990 a 2008 com CFC-12 e HFC-134a de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Produção de Bebedouros no Estado de São Paulo	Produtos com CFC-12	Produtos com HFC-134a
	[bebedouros]		
1990	82.505	82.505	
1991	89.183	89.183	
1992	96.401	96.401	
1993	104.203	104.203	
1994	112.637	112.637	
1995	121.753	121.753	
1996	131.607	131.607	
1997	117.528	80.883	36.645
1998	142.134	77.037	65.097
1999	112.969	67.488	45.481
2000	294.842	767	294.076
2001	311.652		311.652
2002	260.069		260.069
2003	194.644		194.644
2004	180.245		180.245
2005	248.454		248.454
2006	286.600		286.600
2007	309.796		309.796
2008	334.869		334.869

3.4.3 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Montagem de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (k)

Foram adotados os mesmos fatores de emissão de produção utilizados para refrigeradores domésticos. O $FE_{(k)}$ empregado na etapa de montagem foi de 0,6% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC, na Tabela 21, deste documento.

3.4.4 Parque Instalado

O parque instalado permite cálculo do estoque de HFCs, CFCs e HCFCs necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a operação desses equipamentos.

O Plano Nacional de Eliminação de CFCs (PNC) elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), apresenta uma estimativa de 4 milhões de unidades instaladas no campo em 2000.

A estimativa da evolução do parque de bebedouros instalado no Estado de São Paulo foi feita considerando-se que:

- A proporção entre bebedouros no Estado de São Paulo e no Brasil é a mesma que a apresentada por refrigeradores domésticos e freezers;

- A relação entre quantidade de bebedouros e quantidade de refrigeradores domésticos e freezers apresentada em 2000 (único ano para o qual existe uma estimativa do parque instalado de bebedouros no Brasil) se mantém ao longo do período estudado $(4/40,4)^4$;

- A distribuição entre bebedouros com CFC-12 e com HFC-134a, é igual a apresentada por refrigeradores domésticos e freezers.

A Tabela 18 apresenta o parque instalado de bebedouros no Estado de São Paulo.

Tabela 18 Evolução do Parque de Bebedouros no Estado de São Paulo

Ano	Bebedouro	
	CFC-12	HFC-134a
	[milhões de equipamentos]	
1990	0,62	
1991	0,65	
1992	0,68	
1993	0,71	
1994	0,72	
1995	0,74	
1996	0,79	
1997	0,85	
1998	0,89	
1999	0,90	
2000	0,83	0,07
2001	0,80	0,15
2002	0,75	0,23
2003	0,73	0,30
2004	0,69	0,39
2005	0,66	0,48
2006	0,64	0,58
2007	0,62	0,68
2008	0,61	0,78

4 Admitiu-se que a proporção entre bebedouros e refrigeradores e freezers, no Brasil e no Estado de São Paulo, seja constante ao longo do período. O ano de 2001 foi o único com dados do parque de bebedouros (4 milhões para o Estado e 40,4 milhões no país. (MMA-PNC).

3.4.5 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Operação de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (x)

Foram adotados os mesmos FE de operação (x) utilizados para refrigeradores domésticos. O x empregado na etapa de montagem foi de 0,5% da carga anual total de refrigerante, recomendado pelo IPCC na Tabela 21 deste documento.

3.4.6 Quantidade Sucateada

A quantidade sucateada de equipamentos permite calcular o estoque de HFCs, CFCs, e HCFCs necessário para a estimativa das emissões dessas substâncias durante a disposição desses equipamentos.

A quantidade de bebedouros sucateados anualmente durante o período analisado foi estimada considerando-se que:

- A relação entre a quantidade de bebedouros sucateados e a quantidade de refrigeradores e *freezers* sucateados é igual à relação entre os parques instalados desses equipamentos em 2000 (único ano para o qual existe uma estimativa do parque instalado de bebedouros no Brasil) e se mantém constante ao longo do período estudado;
- Os produtos sucateados são todos com CFC-12, considerando-se o tempo de vida estimado dos produtos (15 anos) e o início da fabricação de produtos com HFC-134a.

A Tabela 19 apresenta a quantidade de bebedouros sucateados no Estado de São Paulo.

3.4.7 Fator de Emissão de GEE para a Fase de Sucateamento de Equipamentos Refrigerantes em Bebedouros (y)

Para o FE (y) empregado na etapa de sucateamento de equipamentos refrigerantes em bebedouros foi utilizada a mesma hipótese adotada para refrigeradores e *freezers* domésticos e comerciais, de que 50% dos produtos têm carga total e os 50% restantes não contém refrigerante.

Tabela 19 Quantidade de Bebedouros Sucateados de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Bebedouros Sucateados
	[bebedouros]
1990	35.398
1991	43.218
1992	53.328
1993	58.642
1994	87.413
1995	78.614
1996	66.208
1997	52.289
1998	49.887
1999	69.430
2000	81.565
2001	35.798
2002	53.542
2003	36.268
2004	41.215
2005	30.353
2006	45.129
2007	53.480
2008	32.254

3.5 Emissões de HCFC-22

O fluido refrigerante HCFC-22 é utilizado nas aplicações de ar condicionado estacionário e de refrigeração. Em sistemas de ar condicionado, o HCFC-22 é utilizado nos equipamentos compactos de janela, *split*, *multi-split*, assim como nos sistemas de água gelada com unidades resfriadoras (*chillers*) com compressores alternativos, *scroll* ou parafuso. Em sistemas de refrigeração utiliza-se HCFC-22, principalmente de refrigeração comercial, tanto em unidades condensadoras instaladas em pequenas instalações como padarias, açougues e restaurantes, como em sistemas de refrigeração centralizados para supermercados com *rack* de compressores.

A elaboração das estimativas de emissões de HCFC-22 nessas aplicações, utilizando-se o método apresentado anteriormente necessita de dados de atividade sobre o parque de equipamentos com HCFC-22 instalado no Estado de São Paulo e carga de refrigerante. Apesar dos esforços realizados junto às empresas e associações do Subsetor de Refrigeração e Ar Condicionado não foi possível obter esses dados.

No entanto, considerando-se a importância de se realizar uma estimativa preliminar das emissões de HCFC-22 resolveu-se adotar um procedimento alternativo ao método que foi utilizada para as outras aplicações. Tal procedimento foi baseado na estimativa do consumo de HCFC-22 no Estado de São Paulo e na parcela desse consumo destinada a manutenção e a carga inicial dos equipamentos e sistemas de refrigeração e ar condicionado.

A carga inicial do equipamento recém-fabricado pode ser realizada tanto na própria fábrica, caso das unidades de ar condicionado de janela, quanto durante a instalação no campo, o que ocorre com os equipamentos de ar condicionado tipo *split* e dos equipamentos de refrigeração comercial (unidades condensadoras e sistemas de supermercado).

O consumo de HCFC-22 para a manutenção, durante as atividades de reparo e assistência técnica visa completar total ou parcialmente, a carga necessária dessa substância para a operação dos equipamentos e sistemas. Isso é necessário em decorrência de possíveis emissões fugitivas que ocorrem no equipamento durante sua operação normal, quando houver uma avaria, ou em função de perdas intencionais que ocorrem nos procedimentos de reparos. Dessa forma, ao estimar-se a quantidade de HCFC-22 utilizada para a manutenção, estarão sendo estimadas as emissões que ocorrem durante a operação dos equipamentos considerados.

O consumo de HCFC-22 no Estado de São Paulo foi estimado a partir do consumo nacional, obtido de informações das importações (o HCFC-22 não é produzido no Brasil), apresentadas no portal ALICE-Web (Anexo C).

Baseando-se em julgamentos de especialistas, profissionais do mercado de fluidos refrigerantes, e de informações fornecidas pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), considerou-se que o Estado de São Paulo é responsável por 35% do consumo nacional e que 75% do consumo do Estado

de São Paulo destinam-se às atividades de manutenção. A Tabela 20 apresenta o consumo de HCFC-22 no Brasil e no Estado de São Paulo.

Tabela 20 Estimativa de Consumo de HCFC-22 de 1990 a 2008* no Brasil e no Estado de São Paulo

Ano	Consumo HCFC-22 - Brasil	Consumo HCFC-22 - Estado de São Paulo
	[t]	
1990	2.520	882
1991	2.733	957
1992	2.964	1.037
1993	3.214	1.125
1994	3.485	1.220
1995	3.780	1.323
1996	3.754	1.314
1997	4.056	1.420
1998	4.471	1.565
1999	5.907	2.068
2000	6.806	2.382
2001	6.136	2.147
2002	7.362	2.577
2003	7.289	2.551
2004	7.805	2.732
2005	7.953	2.784
2006	8.966	3.138
2007	9.032	3.161
2008	11.327	3.964

* Foi empregado o GWP do HCFC-22 igual a 1.810 (IPCC, 2007)

3.6 A Escolha de Fatores de Emissão

A boa prática para escolher FE é usar dados específicos do país ou região (estado), baseados em informações fornecidas por fabricantes de equipamento, empresas de serviço, e companhias de coleta e envolvidas com o tratamento dado ao sucateamento de equipamentos.

Quando esses dados não estão disponíveis, o IPCC recomenda que devem ser utilizados os FEs *default* apresentados na Tabela 21 e na Tabela 22, a seguir, que resumem as melhores estimativas para carga de equipamento, tempo de vida, e FE. Essa situação é a que ocorre no presente trabalho e dessa forma serão utilizadas informações contidas na Tabela 21 e na Tabela 22 agregadas a julgamentos de especialistas, também considerada boa prática pelo IPCC nessas situações.

Tabela 21 Estimativas (Baseadas na Avaliação de Especialistas) para os Valores de Carga de Refrigerante, Tempo de Vida e Fatores de Emissão para Equipamentos Estacionários de Refrigeração

Aplicação	Carga	Tempo de vida	Fatores de emissão		
	[kg]	[ano]	[% de Carga Inicial / ano]		
			Emissão inicial	Emissão durante o tempo de vida	Emissão na disposição final (eficiência de recolhimento)
Refrigeração Doméstica	$0,05 \leq e \leq 0,5$	$12 \leq t \leq 15$	$0,2 \leq e \leq 1$	$0,1 \leq e \leq 0,5$	70% restante
Equipamentos Compactos de Refrigeração Comercial	$0,2 \leq e \leq 6$	$8 \leq t \leq 12$	$0,5 \leq e \leq 3$	$1 \leq e \leq 10$	$70 \leq r \leq 80\%$ restante
Refrigeração Comercial Médio & Grande Porte	$50 \leq e \leq 2.000$	$7 \leq t \leq 10$	$0,5 \leq e \leq 3$	$10 \leq e \leq 30$	$80 \leq r \leq 90\%$ restante
Transporte Refrigerado	$3 \leq e \leq 8$	$6 \leq t \leq 9$	$0,2 \leq e \leq 1$	$15 \leq e \leq 50$	$70 \leq r \leq 80\%$ restante
Refrigeração Industrial incluindo Processamento de Alimentos e Armazenagem Frigorificada	$10 \leq e \leq 10K$	$10 \leq t \leq 20$	$0,5 \leq e \leq 3$	$7 \leq e \leq 25$	$80 \leq r \leq 90\%$ restante
Unidades Resfriadoras de Líquidos (<i>chillers</i>)	$10 \leq e \leq 2.000$	$10 \leq t \leq 30$	$0,2 \leq e \leq 1$	$2 \leq e \leq 15$	$80 \leq r \leq 95\%$ restante
Ar Condicionado Residencial e Comercial incluindo Bombas de Calor	$0,5 \leq e \leq 100$	$10 \leq t \leq 15$	$0,2 \leq e \leq 1$	$1 \leq e \leq 5$	$70 \leq r \leq 80\%$ restante

Fonte: IPCC (2000)

Tabela 22 Parâmetros para Sistemas de Ar Condicionado Veicular

Definição	Valor de Referência	Comentário
Perdas na Montagem em Relação ao Total da Carga	4-5 %	
Taxa de Vazamento Anual em Relação a Carga Total	30 %	10 % com melhorias nos selos, conexões e mangueiras
Tempo de Vida Médio do Equipamento	12 anos	11 Anos (pequenos carros) 15 Anos (caminhões)
Quantidade de HFC em Sistemas no Momento da Disposição Final com % da Carga Inicial	75%	
Quantidade de HFC Recolhido em Relação a Carga Real Existente (Eficiência de Recolhimento)	0 %	80 % se Utilizados Práticas de Recolhimento

Nota: As cargas de refrigerantes típicas em sistemas de ar condicionado automotivo são 1,2 kg.unidade⁻¹ para carros, e 1,5 kg.unidade⁻¹ para caminhões. Ar condicionado automotivo em carros mais novos podem ter uma carga menor, por exemplo, 800 g que é típica para carros japoneses de passageiro.

Fonte: IPCC (2006)

4 Resultados

Nos itens a seguir são apresentados os resultados para as estimativas de emissões, que foram calculadas utilizando-se as equações da metodologia adotada e os dados de atividade de equipamentos fabricados, instalados, e sucateados; FE e carga de refrigerante, descritos no item anterior. As emissões são apresentadas tanto em base mássica da substância, quanto em toneladas equivalentes de CO₂ utilizando-se o potencial de aquecimento global (GWP).

4.1 Refrigeradores e Freezers Domésticos

Utilizando-se os dados descritos da seção 3.1 foram estimadas as emissões de CFC-12 e HFC-134a que são apresentadas na Tabela 23 e na Tabela 24.

Tabela 23 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Refrigeradores e Freezers Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Sucateamento	Total	Total*
	[t]			[t _{CFC-12}]	[Gg _{CO2eq}]
1990	0,457	4,68	26,8	31,9	349
1991	0,512	4,91	32,7	38,2	414
1992	0,567	5,12	40,4	46,1	502
1993	0,622	5,36	44,4	50,4	549
1994	0,677	5,43	66,2	72,3	788
1995	0,686	5,57	59,6	65,8	717
1996	0,881	6,02	50,2	57,0	622
1997	0,548	6,23	39,6	46,4	506
1998	0,355	6,25	37,8	44,4	484
1999	0,354	6,11	52,6	59,1	644
2000	0,002	5,55	61,8	67,3	734
2001		5,34	27,1	32,5	354
2002		4,98	40,6	45,5	496
2003		4,78	27,5	32,3	352
2004		4,48	31,2	35,7	389
2005		4,30	23,0	27,3	298
2006		3,60	34,2	37,8	412
2007		3,06	40,5	43,6	475
2008		2,45	24,4	26,9	293

* Foi empregado o GWP do CFC-12 igual a 10.900 (IPCC, 2007)

A Tabela 24 apresenta as estimativas das emissões anuais de HFC-134a em refrigeradores e freezers domésticos.

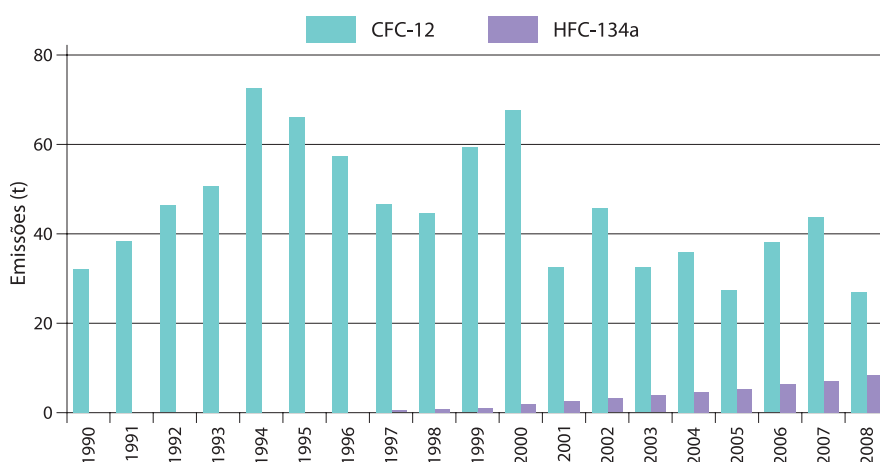
Tabela 24 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Refrigeradores e Freezers Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Total	Total*
	[t]		[t _{HFC-134a}]	[Gg _{CO2eq}]
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997	0,248	0,232	0,480	0,62
1998	0,300	0,518	0,817	1,06
1999	0,239	0,732	0,970	1,26
2000	0,623	1,285	1,908	2,48
2001	0,658	1,874	2,533	3,29
2002	0,636	2,445	3,081	4,01
2003	0,788	3,017	3,804	4,95
2004	0,873	3,695	4,568	5,94
2005	0,853	4,391	5,244	6,82
2006	1,009	5,237	6,246	8,12
2007	0,848	6,103	6,950	9,04
2008	1,362	7,029	8,390	10,91

*Foi empregado o GWP do HFC-134a igual a 1.300 (IPCC, 2007)

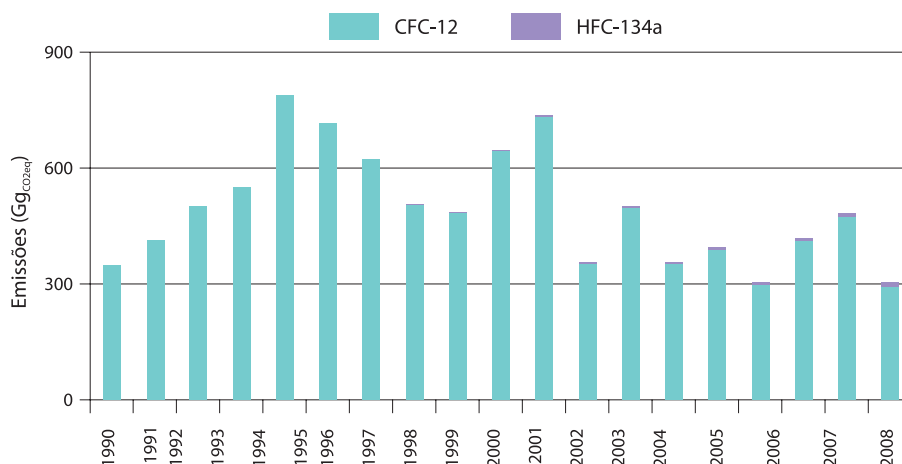
O Gráfico 8 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em refrigeradores e freezers domésticos em tonelada dessas substâncias.

Gráfico 8 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e Freezers Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 9 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em refrigeradores e freezers domésticos em t_{CO_2eq} dessas substâncias.

Gráfico 9 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e Freezers Domésticos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



4.2 Refrigeradores e Freezers Comerciais

Utilizando-se os dados descritos na seção 3.2 foram estimadas as emissões de CFC-12 e HFC-134a que são apresentadas na Tabela 25 e na Tabela 26.

Tabela 25 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Refrigeradores e Freezers Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Sucateamento	Total	Total*
	[t]			[t _{CFC-12}]	[Gg _{CO2eq}]
1990	1,08	18,7	6,59	26,4	288
1991	1,21	19,6	6,91	27,8	303
1992	1,34	20,5	8,51	30,3	331
1993	1,47	21,4	9,39	32,3	352
1994	1,60	21,7	13,85	37,2	405
1995	1,63	22,3	12,61	36,5	398
1996	2,09	24,1	10,93	37,1	404
1997	1,30	24,9	8,07	34,3	374
1998	0,84	25,0	7,64	33,5	365
1999	0,84	24,4	10,84	36,1	393
2000	0,00	22,2	11,10	33,3	363
2001		21,3	4,28	25,6	279
2002		19,9	7,14	27,1	295
2003		19,1	3,93	23,1	251
2004		17,9	6,07	24,0	261
2005		17,2	3,57	20,8	226
2006		14,4	13,95	28,4	309
2007		12,2	11,00	23,2	253
2008		9,8	12,16	21,9	239

* Foi empregado o GWP do CFC-12 igual a 10.900 (IPCC, 2007)

A Tabela 26 apresenta as emissões de HFC-134 em refrigeradores e *freezers* comerciais.

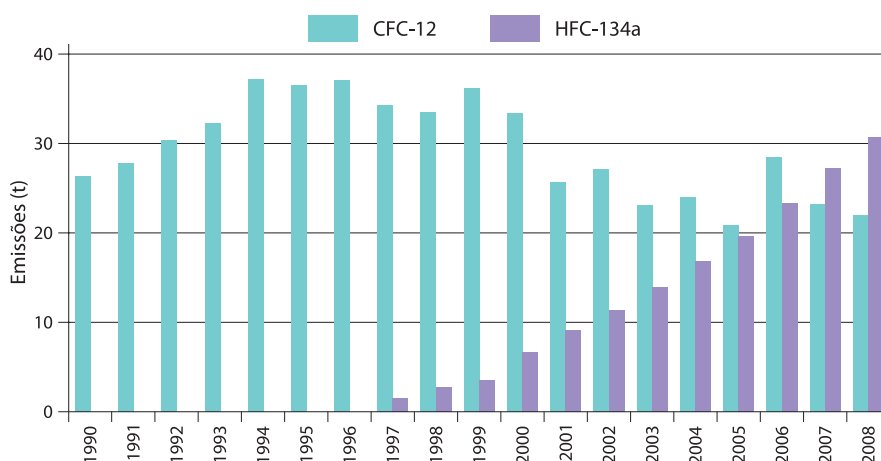
Tabela 26 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Refrigeradores e Freezers Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Total	Total*
	[t]		[t _{HFC-134a}]	[Gg _{CO2eq}]
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997	0,59	0,93	1,52	2,0
1998	0,71	2,07	2,78	3,6
1999	0,57	2,93	3,49	4,5
2000	1,48	5,14	6,62	8,6
2001	1,56	7,50	9,06	11,8
2002	1,51	9,78	11,29	14,7
2003	1,87	12,07	13,93	18,1
2004	2,07	14,78	16,85	21,9
2005	2,02	17,56	19,59	25,5
2006	2,34	20,95	23,29	30,3
2007	2,79	24,41	27,20	35,4
2008	2,55	28,12	30,67	39,9

*Foi empregado o GWP do HFC-134a igual a 1.300 (IPCC, 2007)

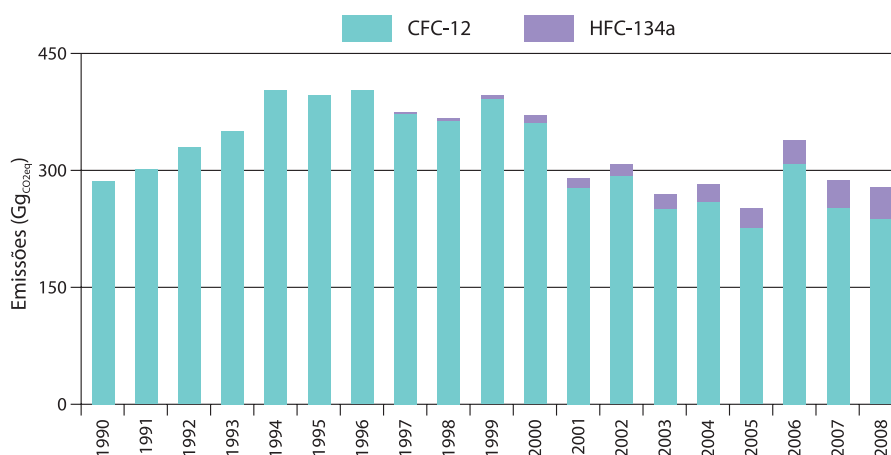
O Gráfico 10 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em refrigeradores e *freezers* comerciais em tonelada dessas substâncias.

Gráfico 10 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e Freezers Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 11 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em refrigeradores e *freezers* comerciais em t_{CO₂eq} dessas substâncias.

Gráfico 11 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Refrigeradores e *Freezers* Comerciais de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



4.3 Sistemas de Ar Condicionado Automotivo

As estimativas de emissões de CFC-12 e HFC-134a nas unidades de ar condicionado automotivo no período em análise são apresentadas a seguir.

A Tabela 27 apresenta a estimativa das emissões de CFC-12 em sistemas de ar condicionado automotivo para o período de 1990 a 2008.

A Tabela 28 apresenta a estimativa das emissões de HFC-134a em sistemas de ar condicionado automotivo para o período de 1996 a 2008.

Tabela 27 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões de CFC-12	Emissões de CFC-12*
	[t]	[Gg _{CO₂eq}]
1990	39,5	431
1991	46,9	511
1992	54,8	598
1993	69,3	755
1994	89,1	972
1995	118,3	1.289
1996	116,0	1.264
1997	113,3	1.235
1998	110,2	1.201
1999	106,6	1.162
2000	102,6	1.118
2001	98,1	1.070
2002	93,2	1.016
2003	88,0	959
2004	82,6	900
2005	76,9	838
2006	71,2	776
2007	65,6	715
2008	60,0	654

*Foi empregado o GWP do CFC-12 igual a 10.900 (IPCC, 2007)

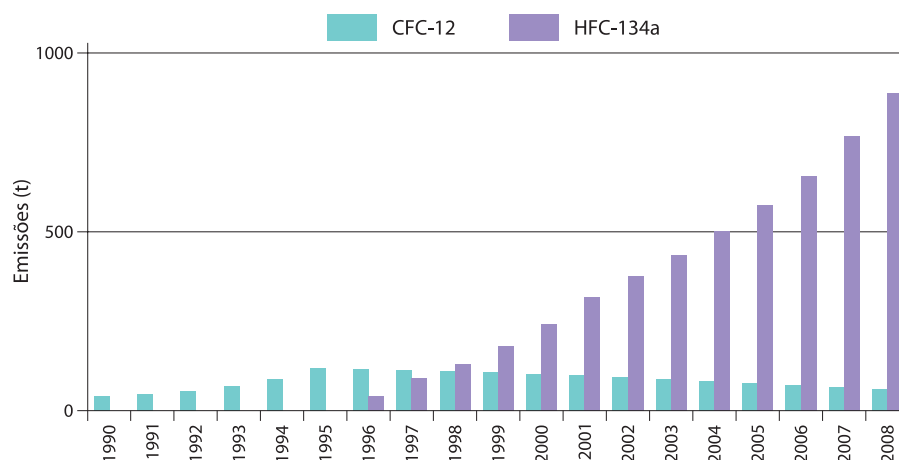
Tabela 28 Tabela 28. Estimativa de Emissões de HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões de HFC-134a	Emissões de HFC-134a*
	[t]	[Gg _{CO₂eq}]
1990		
1991		
1992		
1993		
1994		
1995		
1996	40	51
1997	90	117
1998	130	169
1999	179	233
2000	242	315
2001	316	411
2002	376	489
2003	435	566
2004	500	651
2005	573	745
2006	656	853
2007	766	996
2008	887	1.153

* Foi empregado o GWP do HFC-134a igual a 1.300 (IPCC, 2007)

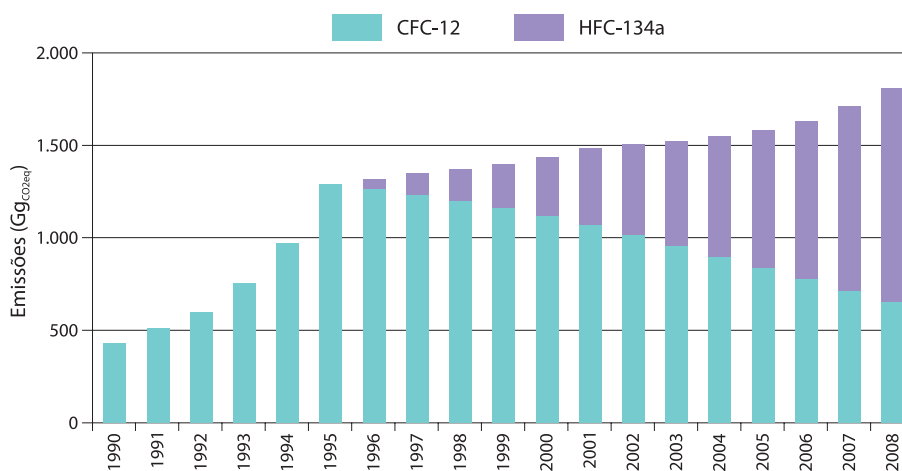
O Gráfico 12 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em sistemas de ar condicionado automotivo em toneladas dessas substâncias.

Gráfico 12 Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 13 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de ar condicionado automotivo em t_{CO2eq} dessas substâncias.

Gráfico 13 Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



4.4 Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus

Utilizando-se os dados descritos na seção 3.3.2, a Tabela 29 e a Tabela 30 apresentam os valores das emissões de CFC-12 e HFC-134a estimadas em sistemas de ar condicionado de ônibus.

Tabela 29 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões de CFC-12	Emissões de CFC-12
	[t]	[Gg _{CO2eq}]*
1990	6,84	75
1991	7,37	80
1992	7,79	85
1993	7,97	87
1994	7,96	87
1995	8,15	89
1996	6,18	67
1997	4,64	51
1998	3,85	42
1999	3,10	34
2000	2,48	27
2001	2,02	22
2002	1,74	19
2003	1,53	17
2004	1,34	15
2005	1,15	13
2006	0,98	11
2007	0,83	9
2008	0,69	8

*Foi empregado o GWP do CFC-12 igual a 10.900 (IPCC, 2007)

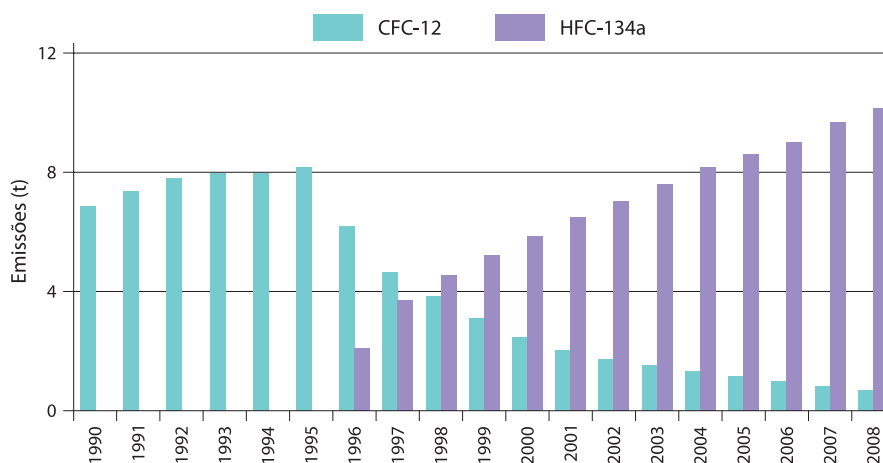
Tabela 30 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões de HFC-134a	Emissões de HFC-134a
	[t]	[Gg _{CO2eq}]*
1996	2,11	3
1997	3,69	5
1998	4,55	6
1999	5,2	7
2000	5,86	8
2001	6,5	8
2002	7,02	9
2003	7,58	10
2004	8,15	11
2005	8,6	11
2006	9,0	12
2007	9,67	13
2008	10,14	13

*Foi empregado o GWP do HFC-134a igual a 1.300 (IPCC, 2007)

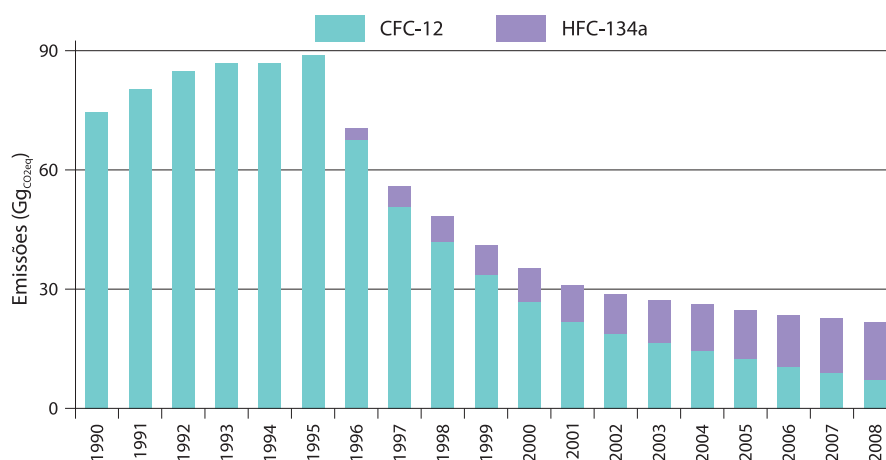
O Gráfico 14 mostra as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em sistemas de ar condicionado de ônibus em toneladas dessas substâncias.

Gráfico 14 Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 15 mostra as emissões anuais de CFC-12 e HFC-134a em sistemas de ar condicionado automotivo em t_{CO2eq} dessas substâncias.

Gráfico 15 Emissões de CFC-12 e HFC-134a em Sistemas de Ar Condicionado de Ônibus de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



4.5 Bebedouros

Com a utilização do método e dos dados apresentados na seção 3.4, foram estimadas as emissões de CFC-12 e HFC-134 em bebedouros. Essas são apresentadas na Tabela 31 e na Tabela 32.

Tabela 31 Estimativa de Emissões de CFC-12 em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Sucateamento	Total	Total*
	[t _{CFC-12}]				[Gg _{CO2eq}]
1990	0,025	0,154	0,89	1,06	11,6
1991	0,027	0,162	1,08	1,27	13,8
1992	0,029	0,169	1,33	1,53	16,7
1993	0,031	0,177	1,47	1,67	18,2
1994	0,034	0,179	2,19	2,40	26,1
1995	0,037	0,184	1,97	2,19	23,8
1996	0,039	0,199	1,66	1,89	20,6
1997	0,024	0,206	1,31	1,54	16,8
1998	0,023	0,206	1,25	1,48	16,1
1999	0,020	0,201	1,74	1,96	21,3
2000	0,000	0,183	2,04	2,22	24,2
2001		0,176	0,90	1,07	11,7
2002		0,164	1,34	1,50	16,4
2003		0,158	0,91	1,07	11,6
2004		0,148	1,03	1,18	12,8
2005		0,142	0,76	0,90	9,80
2006		0,119	1,13	1,25	13,6
2007		0,101	1,34	1,44	15,7
2008		0,081	0,81	0,89	9,70

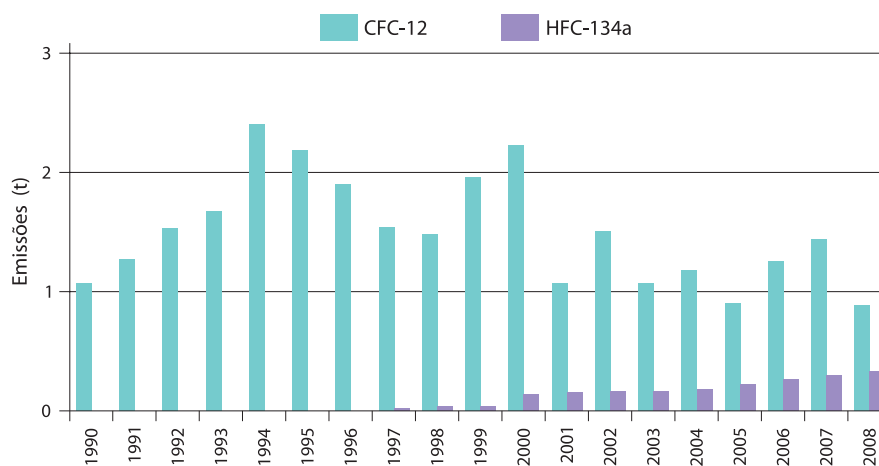
*Foi empregado o GWP do CFC-12 igual a 10.900 (IPCC, 2007)

Tabela 32 Estimativa de Emissões de HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Montagem	Operação	Total	Total*
	[t]		[t _{HFC-134a}]	[Gg _{CO2eq}]
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997	0,011	0,008	0,019	0,025
1998	0,020	0,017	0,037	0,048
1999	0,014	0,024	0,038	0,049
2000	0,088	0,042	0,131	0,170
2001	0,093	0,062	0,155	0,202
2002	0,078	0,081	0,159	0,207
2003	0,058	0,100	0,158	0,205
2004	0,054	0,122	0,176	0,229
2005	0,075	0,145	0,219	0,285
2006	0,086	0,173	0,259	0,337
2007	0,093	0,201	0,294	0,382
2008	0,100	0,232	0,332	0,432

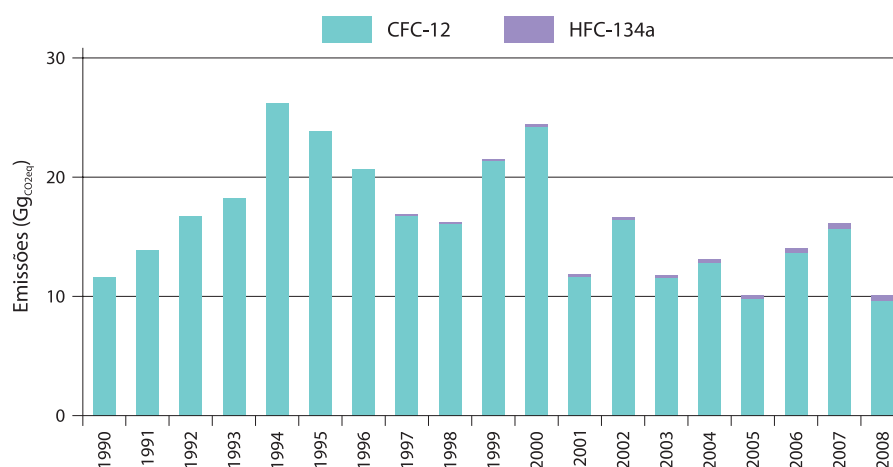
*Foi empregado o GWP do HFC-134a igual a 1.300 (IPCC, 2007)

O Gráfico 16 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HCFC-134a em bebedouros em tonelada dessas substâncias.

Gráfico 16 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

O Gráfico 17 apresenta as emissões anuais de CFC-12 e HCFC-134a em bebedouros em t_{CO_2eq} dessas substâncias.

Gráfico 17 Emissões Anuais de CFC-12 e HFC-134a em Bebedouros de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



4.6 Emissões de HCFC-22

Utilizando-se os dados descritos na seção 3.5, a Tabela 33 apresenta o consumo e as emissões de HCFC-22 estimados para o Estado de São Paulo.

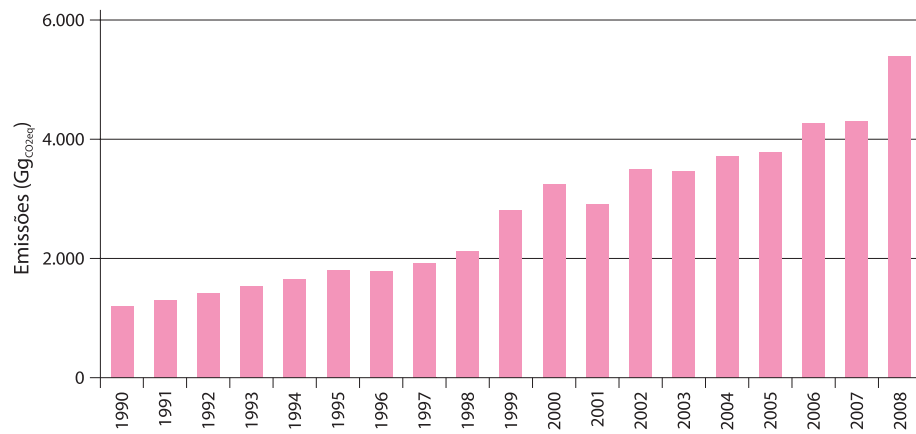
Tabela 33 Consumo e Estimativa de Emissões de HCFC-22 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Manutenção - Emissões 75% do Consumo	Emissões*
	[$t_{HCFC-22}$]	[Gg_{CO_2eq}]
1990	662	1.198
1991	717	1.298
1992	778	1.408
1993	844	1.528
1994	915	1.656
1995	992	1.796
1996	985	1.783
1997	1.065	1.928
1998	1.174	2.125
1999	1.551	2.807
2000	1.786	3.233
2001	1.611	2.916
2002	1.932	3.497
2003	1.913	3.463
2004	2.049	3.709
2005	2.088	3.779
2006	2.354	4.261
2007	2.371	4.292
2008	2.973	5.381

*Foi empregado o GWP do HCFC-22 igual a 1.810 (IPCC, 2007)

O Gráfico 18 apresenta as emissões de HCFC-22 no Estado de São Paulo.

Gráfico 18 Emissões de HCFC-22 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



5 Conclusões

Foram realizadas as estimativas das emissões diretas de compostos químicos usados como fluidos refrigerantes, ou simplesmente refrigerantes, em equipamentos de refrigeração e climatização. Os refrigerantes CFCs e HCFCs são substâncias que destroem a camada de ozônio estratosférico e estão sendo eliminados conforme medidas estabelecidas pelo Protocolo de Montreal. Além disso, são também GEE com altos valores de GWP. Os refrigerantes HFCs substituíram os CFCs e HCFCs em muitas aplicações e são GEEs controlados pelo Protocolo de Quioto.

Foram utilizadas, prioritariamente e sempre que possível, as metodologias apresentadas pelo IPCC.

As estimativas de emissões, de acordo com as metodologias adotadas, necessitam de um grande número de dados de atividade. Para as aplicações consideradas, a obtenção direta de dados se configurou como uma atividade complexa e difícil de realizar. Em alguns casos não são informações monitoradas e contabilizadas, em outros são dados de atividade relacionados com aspectos de mercado que não são públicos. Além dos problemas existentes no levantamento de dados nacionais específicos, adicionou-se a dificuldade de regionalização desses dados para a obtenção de informações para o Estado de São Paulo.

Apesar de não existirem informações fornecidas por estatísticas oficiais a respeito dos dados no Estado de São Paulo, houve um esforço para estimar essas informações principalmente a partir de dados nacionais. Estes foram utilizados para derivar dados para o Estado de São Paulo utilizando fatores socioeconômicos.

A estimativa das emissões dos fluidos refrigerantes CFC-12 e HFC-134a nas aplicações de refrigeração doméstica, refrigeração comercial compacta (*self-contained*), bebedouros e ar condicionado veicular, os principais utilizadores e emissores dessas substâncias no subsetor de refrigeração e ar condicionado, foi realizada utilizando-se o método *Tier 2 Bottom-up*, que é baseado em dados de atividade de produção e sucateamento anuais de equipamentos e do parque instalado. Por ausência de informações e considerando que não são aplicações que apresentam emissões significativas, comparadas com as aplicações analisadas, não foram estimadas as emissões nas aplicações de transporte refrigerado e unidades de resfriamento de líquidos (*chillers*) centrífugas.

A avaliação das emissões do fluido refrigerante HCFC-22, utilizado nos equipamentos de refrigeração comercial não *self-contained*, destacando-se a refrigeração em supermercados, e de condicionamento de ar, seguiram um outro caminho. Na impossibilidade de determinar os dados de atividade necessários para utilizar o procedimento *Tier 2 Bottom-up*, adotou-se uma aproximação do método *Tier 1* (balanço de massa) a partir do consumo dessa substância para o uso em serviços e manutenção desses equipamentos.

As emissões de refrigerantes HFCs são responsáveis, atualmente, por uma pequena parcela das emissões de GEEs de um país ou região. Se forem consideradas também as emissões de CFCs e HCFCs esta parcela é mais significativa. No caso dos HFCs existem estudos mostrando que em cenários futuros *business as usual* (BAU) seu uso apresenta um crescimento significativo, assim como as suas emissões que podem chegar até 20% das emissões globais de GEE em 2050 (VELDERS et al. 2009).

A estimativa de emissões de refrigerantes em equipamentos de refrigeração e ar condicionado é uma nova área de investigação e não existem muitos trabalhos publicados na literatura. A avaliação e melhoria de metodologias existentes assim como confiabilidade e o desenvolvimento de procedimentos alternativos é fundamental para aumentar a precisão das estimativas.

A partir das metodologias apresentadas pelo IPCC, alguns trabalhos têm sido realizados. Um deles é o desenvolvido por Sabá (2009) no Centro para Energia e Processos da *École Supérieure de Mines de Paris*, que aperfeiçoou o modelo computacional desenvolvido por este Centro para avaliação de emissões globais de refrigerantes no subsetor de refrigeração e ar condicionado. A estimativa de emissões é feita a partir de uma base de dados global incluindo dados de atividade e FE estimados considerando dados técnicos de equipamentos, dados de mercado e fatores socioeconômicos.

A questão da disponibilidade de dados e sua confiabilidade é o ponto crucial de um inventário. Com a realização dos futuros inventários, conforme estabelecido pela Política Estadual Sobre Mudança do Clima (PEMC) (Lei n.13.798/2009 e Decreto n. 55.947/2010) pode-se prever que, a partir do aprofundamento dos contatos com associações e empresas do setor, os dados necessários para o Estado de São Paulo possam vir a ser obtidos diretamente, aumentando a precisão dos resultados e a melhor representação da situação do subsetor de refrigeração e ar condicionado.

Referências

- ALICE-WEB. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: set. 2012.
- BELMONTE, W.; SUCKEVERIS, B. **Metalfrio: planos globais no segmento de refrigeração comercial**. Salvador: Ricardo Xavier Recursos Humanos, 2009. Disponível em: <www.ricardoxavier.com.br/index.php?acao=entrevistas&subacao=ler&i=73>. Acesso em: set. 2012.
- BRASIL. MCT. **Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília:MCT, 2010. 520 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326988/Texto_Completo_Publicado.html>. Acesso em: fev. 2013
- _____. MMA. **Plano Nacional de Eliminação de CFCs (PNC)**. Brasília: MMA, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_arquivos/pnc.pdf>.
- _____. MME. **Programa de Substituição e Promoção de Acesso a Refrigeradores Eficientes**. Brasília: MME, 2009.
- CETESB. IMT. **Emissões no transporte rodoviário: relatórios de referência: energia**. São Paulo, 2011. (1°. Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo). (no prelo).
- DENSO DO BRASIL. **Sistema de climatização para ônibus**. São Paulo, c2009. Disponível em: <www.denso.com.br/bus>. Acesso em: jun. 2013.
- ELETROS. Disponível em: <<http://www.eletros.org.br/>>. Acesso em: set. 2010.
- IBGE. **Pesquisa Industrial: produto**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 27, n. 2, 2008. 209 p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2008/piaproduto2008.pdf>>. Acesso em: abr. 2013
- IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.
- _____. **Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007**. New York: Cambridge University Press, 2007.
- _____. **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: set. 2013.
- _____. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell (UK): IPCC, OECD, IEA, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2013.
- _____; TEAP. **Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons**. New York: Cambridge University Press, 2005.
- LEONELLI, P. A. **Refrigeradores eficientes: A experiência do Brasil**. Brasília: MME, 2008.
- PEIXOTO, R. A. Impacto Ambiental de Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado. **Revista Abrava**. São Paulo: p. 56-66, jul/ago1999.

_____. Uso de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos: estado atual e tendências. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso de fluidos naturais em sistemas de refrigeração e ar-condicionado**: artigos técnicos. Brasília: MMA, 2008. p. 63-77. Apresentado ao Seminário Uso de Refrigerantes Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar-Condicionado, São Paulo 21-22 nov. 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_publicacao/130_publicacao05012009032220.pdf>. Acesso em: mar. 2013.

SABA, S. **Inventaires mondiaux et estimation des émissions directes de gaz à effet de serre des systèmes de réfrigération** 2009. 141p. Thèse (Doctorat en Énergie) - École Nationale Supérieure des Mines de Paris, MINES ParisTech, Paris, 2009.

UNEP. **Project Proposal: Brazil**. Montreal, 2002. 222 p. Presented to 37th Meeting of the Executive Committee of the Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol, Montreal 17-19 jul. 2002. (UNEP/OzL.Pro/ExCom/37/30). Disponível em: <<http://www.multilateralfund.org/sites/37/Document%20Library2/1/3730.pdf>>. Acesso em: abr. 2013.

_____. **Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee**. 2002 Assessment. Nairobi: 2003. Relatório.

_____. **2006 report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee**. 2006 Assessment. Nairobi: 2006. Relatório.

VELDERS, G. J. M., et al. The Large Contribution of Projected HFC Emissions to Future Climate Forcing. In: PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences. Washington. vol. 106, n. 27, p. 10949-10954. 07 jul. 2009.

Anexos

Anexo A. Fluidos Refrigerantes

A tabela abaixo apresenta um resumo do uso de refrigerantes nos equipamentos e sistemas de refrigeração e ar condicionado, antigos e novos.

Tabela A1 - Uso de Fluidos Refrigerantes em Sistema e Equipamento de Refrigeração e Ar Condicionado no Brasil

Aplicação	Refrigerante HFC Puro ou Misturas contendo HFCs	Refrigerante CFC ou HCFC
Refrigeração Doméstica Bebedouros	HFC-134a R-401A	CFC-12
Refrigeração comercial - unidades compactas (congeladores para sorvetes e refrigeradores de bebidas, <i>vending machines</i> , expositores, etc.)	HFC-134a, R-404A R-417A	CFC-12 R-502
Refrigeração comercial - unidades condensadoras	HFC-134a R-404A	HCFC-22 CFC-12
Refrigeração comercial - supermercados (sistemas centralizados com <i>rack</i> de compressores)	R-404A R-417A	HCFC-22
Transporte Refrigerado - caminhões frigoríficos	HFC-134a, R-404A	CFC-12
Ar Condicionado e Refrigeração Industrial (unidades resfriadoras de líquidos - <i>chillers</i> centrífugos e com compressores alternativos, parafuso ou <i>scroll</i>)	HFC-134a R-407C	CFC-11 CFC-12 HCFC-22 HCFC-123
Ar Condicionado Veicular (automóveis, ônibus)	HFC-134a	CFC-12

Fonte: UNEP (2006)

Fluidos refrigerantes misturas que contém HFCs na sua composição, caracterizados pela denominação ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*) R-4XX, são apresentados na tabela abaixo.

Fluidos Refrigerantes

Fluido Refrigerante	Composição
R-401a	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0)
R-401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0)
R-401C	R-22/152a/124 (33.0/15.0/52.0)
R-402a	R-125/290/22 (60.0/2.0/38.0)
R-402B	R-125/290/22 (38.0/2.0/60.0)
R-403a	R-290/22/218 (5.0/75.0/20.0)
R-403B	R-290/22/218 (5.0/56.0/39.0)
R-404a	R-125/143a/134a (44.0/52.0/4.0)
R-405a	R-22/152a/142b/C318 (45.0/7.0/5.5/42.5)
R-406a	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0)
R-407a	R-32/125/134a (20.0/40.0/40.0)
R-407B	R-32/125/134a (10.0/70.0/20.0)
R-407C	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0)
R-407D	R-32/125/134a (15.0/15.0/70.0)
R-407E	R-32/125/134a (25.0/15.0/60.0)
R-408a	R-125/143a/22 (7.0/46.0/47.0)

Fluido Refrigerante	Composição
R-409a	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)
R-409B	R-22/124/142b (65.0/25.0/10.0)
R-410a	R-32/125 (50.0/50.0)
R-410B	R-32/125 (45.0/55.0)
R-411A	R-1270/22/152a
R-411B	R-1270/22/152a (3.0/94.0/3.0)
R-412a	R-22/218/142b (70.0/5.0/25.0)
R-413a	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0)
R-414a	R-22/124/600a/142b (51.0/28.5/4.0/16.5)
R-414B	R-22/124/600a/142b (50.0/39.0/1.5/9.5)
R-415a	R-22/152a (82.0/18.0)
R-415B	R-22/152a (25.0/75.0)
R-416a	R-134a/124/600 (59.0/39.5/1.5)
R-417a	R-125/134a/600 (46.6/50.0/3.4)
R-418a	R-290/22/152a (1.5/96.0/2.5)
R-419A	R-125/134a/E170 (77.0/19.0/4.0)

Anexo B. Valores de Potencial de Aquecimento Global de SDOs⁵

Tempo de Vida de Gases de Efeito Estufa e Potenciais de Aquecimento Global

Para substâncias destruidoras de ozônio e suas alternativas.

As tabelas abaixo mostram os tempos de vida e o potencial de aquecimento global direto para o período de 100 anos (exceto CH₄) relativo ao CO₂ para substâncias destruidoras de ozônio e suas alternativas. Estas tabelas são do IPCC, 4º. Relatório de Avaliação, o AR4 (*Fourth Assessment Report*), Grupo de Trabalho 1, Capítulo 2, Mudanças nos Constituintes Atmosféricos e no Forçamento Radioativo, Tabela 2.14, Página 212.

Importantes Gases de Efeito Estufa

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos
			Potencial de Aquecimento Global (SAR)
Dióxido de Carbono	CO ₂		1
Metano	CH ₄	12	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	114	310

Fonte : IPCC (2007)

Substâncias Controladas pelo Protocolo de Montreal

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos
			Potencial de Aquecimento Global (SAR)
CFC-11	CCl ₃ F	45	3.800
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	8.100
CFC-13	CClF ₃	640	10.800
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	4.800
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	8.040
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1.700	5.310
Halon-1301	CBrF ₃	65	5.400
Halon-1211	CBrClF ₂	16	4.750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	3.680
Tetracloroeto de Carbono	CCl ₄	26	1.400
Brometo de Metila	CH ₃ Br	0,7	17
Clorofórmio Metil	CH ₃ CCl ₃	5	506
HCFC-22	CHClF ₂	12	1.500
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1,3	90
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5,8	470
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9,3	2.250
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17,9	1.800
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1,9	429
HCFC-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	5,8	2.030

Fonte: IPCC (2007)

5 Tradução do texto "GHG Life Time and GWPs - for Ozone - Depleting Substances and Their Replacements". Fonte: HULL (2009).

Hidrofluorcarbonos

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
HFC-23	CHF ₂	270	11.700
HFC-32	CH ₂ F ₂	4,9	650
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	2.800
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	1.300
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	3.800
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1,4	140
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	34,2	2.900
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	6.300
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,6	3.380
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8,6	2.520
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₂	15,9	1.300

Fonte: IPCC (2007)

Compostos de perfluorados

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
Hexafluoredo de Enxofre	SF ₆	3.200	23.900
Trifluoredo de Nitrogênio	NF ₃	740	12.300
PFC-14	CF ₄	50.000	6.500
PFC-116	C ₂ F ₆	10.000	9.200
PFC-218	C ₃ F ₈	2.600	7.000
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3.200	8.700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2.600	7.000
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4.100	6.510
PFC-5-1-14	C ₈ F ₁₄	3.200	7.400
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000d	>5.500
Trifluorometilpentafluoredo de Enxofre	SF ₅ CF ₃	800	13.200

Fonte: IPCC (2007)

Éter fluorado

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	13.800
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	12.200
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4,3	2.630
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2,6	1.230
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5,1	2.440
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4,9	2.280
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2,6	1.260
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5,2	1.980
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7,1	1.900
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0,33	386
HFE-449sl	C ₄ F ₉ OCH ₃	3,8	1.040
HFE-569sf2	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0,77	207
HFE-43-10pccc124	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6,3	6.320
HFE-236ca12	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12,1	8.000
HFE-338pcc13	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6,2	5.100

Fonte: IPCC (2007)

Perfluoropoliéter

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento
			(SAR)
PFPME	$\text{CF}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{OCF}_3$	800	7.620

Hidrocarbonetos e Outros Compostos - Efeitos Diretos

Designação ou Nome	Fórmula Química	Tempo de Vida [anos]	100 anos Potencial de Aquecimento Global
			(SAR)
Dimetiléter	CH_3OCH_3	0,015	1
Cloreto de Metileno	CH_2Cl_2	0,38	31
Cloreto Metílico	CH_3Cl	1,0	45

Anexo C. Portal ALICE-Web⁶

O Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet, da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), denominado ALICE-Web, foi desenvolvido com vistas a modernizar as formas de acesso e a sistemática de disseminação dos dados estatísticos das exportações e importações brasileiras. O ALICE-Web é atualizado mensalmente, quando da divulgação da balança comercial, e tem por base os dados obtidos a partir do Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX), sistema que administra o comércio exterior brasileiro. No momento, o acesso ao ALICE-Web é gratuito. Para proceder à consulta, basta clicar no módulo de pesquisa desejado. As informações do ALICE-Web são disponibilizadas em base mensal, e acumuladas, a partir de janeiro de 1989 até o último mês divulgado.

As informações são expressas em dólares dos Estados Unidos, na condição de venda FOB (*Free on Board*), e em quilograma líquido. Quando constar da pesquisa a variável mercadoria, além das informações anteriores, aparecerá a quantidade da mercadoria expressa na unidade de comercialização (unidade estatística) e os respectivos preços médios. Estão disponíveis para consulta as seguintes informações, tanto para a exportação quanto para a importação:

- Mercadoria;
- País;
- Bloco Econômico;
- Unidade da Federação (Estados e Distrito Federal);
- Via de transporte; e
- Porto.

Os conceitos e definições relativos às variáveis de consulta disponíveis no ALICE-Web são:

Exportação- corresponde às mercadorias embarcadas para o exterior, sem retorno previsto;

Importação- corresponde à entrada de mercadorias originárias do exterior, sem retorno previsto;

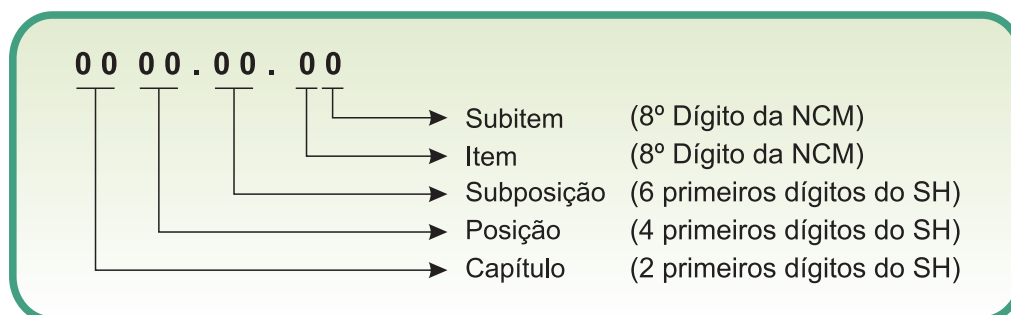
Mercadoria- corresponde a todo produto objeto de uma exportação ou importação. Para efeito de classificação de mercadorias, o Brasil passou a utilizar, desde 1996, a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), utilizada igualmente pelos demais países partícipes do bloco (Argentina, Paraguai e Uruguai), baseado no Sistema Harmonizado de Designação e de Codificação de Mercadorias (SH).

Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM)- A NCM é composta de oito dígitos, sendo os seis primeiros formados pelo Sistema Harmonizado (capítulo, posição e subposição), e os dois últimos (item e subitem), criados de acordo com a definição estabelecida entre os países do Mercosul. A classificação das mercadorias na NCM rege-se pelas Regras Gerais para a Interpretação do Sistema Harmonizado. O código NCM apresenta a seguinte estrutura:

O segundo passo foi a obtenção de dados de atividade referentes às duas aplicações que consomem HFCs há mais tempo e em maior quantidade: refrigeração doméstica e ar condicionado automotivo. No caso da refrigeração doméstica foram obtidos dados de produção de refrigeradores e *freezers* domésticos fornecidos pela Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS). Uma lacuna destes dados é que eles se referem somente a produção, não discriminam se é para o mercado interno ou externo (exportação) e a partir

6 Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>.

de 2002, por decisão dos associados (empresas fabricantes de eletrodomésticos) os valores de produção são fornecidos para toda linha branca agregada (refrigeradores, fogões, lavadoras, etc.). Estes problemas nos dados obtidos deverão ser solucionados via contato direto com fabricantes (já iniciado), consulta a banco de dados oficiais, IBGE e ALICE-Web (conforme apresentado no anexo).



Anexo D. Antecipação da Eliminação dos HCFCs

A 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal, em setembro de 2007, mudou os prazos anteriormente fixados para eliminação dos HCFCs. Para os países em desenvolvimento, antes da alteração, o consumo poderia crescer indiscriminadamente até 2015, quando seria congelado. A eliminação só se daria em 2040, sem cronograma intermediário. Esta alteração levou em conta os benefícios para a recuperação da camada de ozônio e também para a proteção do clima. HCFCs, como CFCs e HFCs, são GEE.

Cronograma de Eliminação dos HCFCs Países em Desenvolvimento

Países em Desenvolvimento (A5) Compromissos Existentes	Novos Compromissos em Função do Ajuste Montreal 2007
Linha de Base - 2015	Valor Médio da Produção e Consumo de 2009 e 2010
Congelamento em 2016	Congelamento em 2013
S/ Obrigações	10% Redução em 2015
S/ Obrigações	35% Redução em 2020
S/ Obrigações	67,5% Redução em 2025
S/ Obrigações	97,5% Redução em 2030*
Eliminação em 2040	Inalterado

O valor médio anual de 2,5% é restrito a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado durante o período de 2030 - 2040 e sujeito a revisão em 2025.

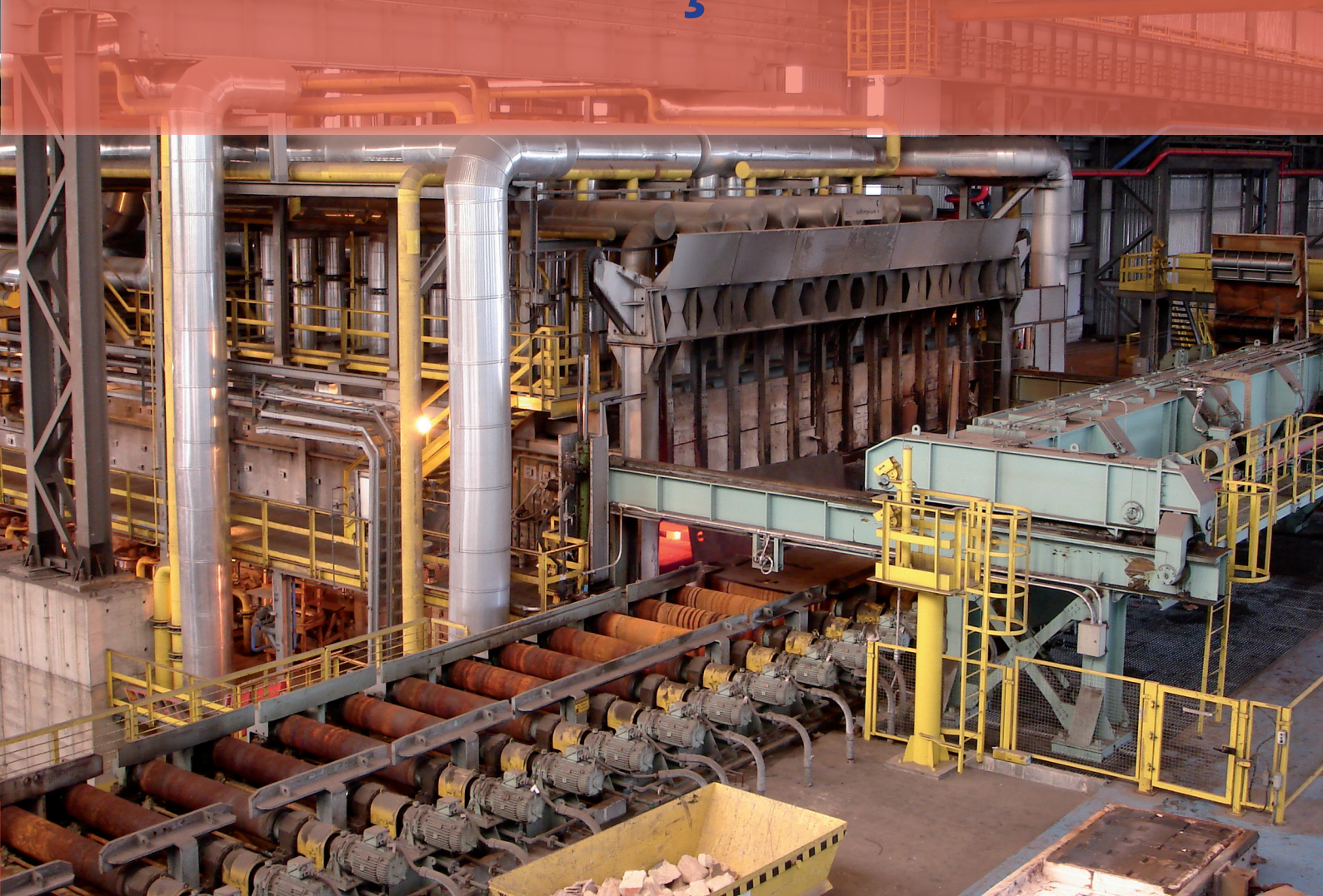
Cronograma de Eliminação dos HCFCs Países Desenvolvidos

Países em Desenvolvimento (A5) Compromissos Existentes	Novos Compromissos em Função do Ajuste Montreal 2007
Linha de Base - 2.8% CFC1989 mais 100% HCFC 1989	Inalterado
Congelamento em 1996	Inalterado
35% Redução em 2004	75% Redução em 2010
65% Redução em 2010	90% Redução em 2015
99,5% Redução em 2020	Inalterado
Eliminação em 2030	Inalterado

O valor médio anual de 0,5% é restrito a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado durante o período de 2020 - 2030 e sujeito a revisão em 2015.



CONSIDERAÇÕES FINAIS



Considerações Finais

Os resultados totais do inventário do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos foram apresentados em duas abordagens: por subsetor e por gás.

São apresentados também os resultados incluindo ou não os gases controlados pelo Protocolo de Montreal. A Lei n. 13.798 de 2009 prevê que os inventários do estado apresentem as emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) controlados pelo Protocolo de Quioto. Porém, o inventário estadual ampliou o escopo legal incluindo as emissões dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal, visto que, também são GEEs, e contribuem para o aquecimento global. Observa-se que, conforme ocorre a inclusão ou não dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal, o perfil das emissões totais do estado é modificado.

Emissões de GEE por Subsetor Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal

A Tabela 1 apresenta as emissões de GEE incluindo as emissões dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal.

As emissões dos subsectores de alimentos e bebidas e de papel e celulose não constam na Tabela 1 por emitirem apenas GEE Indiretos, ou seja, não contribuem para as emissões totais de GEE do estado.

Tabela 1 Emissões Totais de GEE por Subsetor Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg)

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg.ano ⁻¹]									
Produção de Cimento	2.293	2.441	1.854	1.791	1.934	2.345	2.893	3.041	3.087	3.026
Produção de Cal	457	472	499	533	554	601	645	848	823	594
Produção Química	4.001	4.808	4.598	5.679	5.856	6.184	4.988	4.598	6.773	6.770
Produção Metalúrgica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Produção de Vidro	41	56	65	86	89	103	108	125	118	125
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	30	29	29	29	29	29	29	30	34	35
Espumas	3.167	2.886	5.830	5.852	5.889	5.811	5.072	5.158	5.335	5.343
Aerossóis	NE	NE	NE	NE	NE	301	313	339	380	424
Solventes	1.571	1.390	1.017	685	533	410	248	148	111	113
Refrigeradores e Ar-Condicionado	2.352	2.620	2.941	3.289	3.934	4.312	4.215	4.234	4.413	5.307
Total	13.911	14.701	16.832	17.945	18.818	20.097	18.512	18.521	21.073	21.737

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[Gg.ano ⁻¹]								
Produção de Cimento	2.853	2.384	2.128	1.705	1.564	1.734	2.229	2.459	2.500
Produção de Cal	816	781	798	806	877	789	608	640	642
Produção Química	7.091	5.867	7.226	6.639	7.851	8.214	NE	NE	NE
Produção Metalúrgica	NE	NE	NE	NE	NE	9.467	9.595	10.032	9.233
Produção de Vidro	131	128	132	140	139	142	138	143	141
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	36	37	38	40	43	44	46	47	49
Espumas	6.525	6.492	1.906	477	592	592	586	809	800
Aerossóis	464	516	564	612	674	742	804	867	948
Solventes	100	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Refrigeradores e Ar-Condicionado	5.833	5.087	5.857	5.652	5.976	5.953	6.686	6.812	7.802
Total	23.849	21.291	18.649	16.071	17.716	27.677	20.692	21.810	22.116

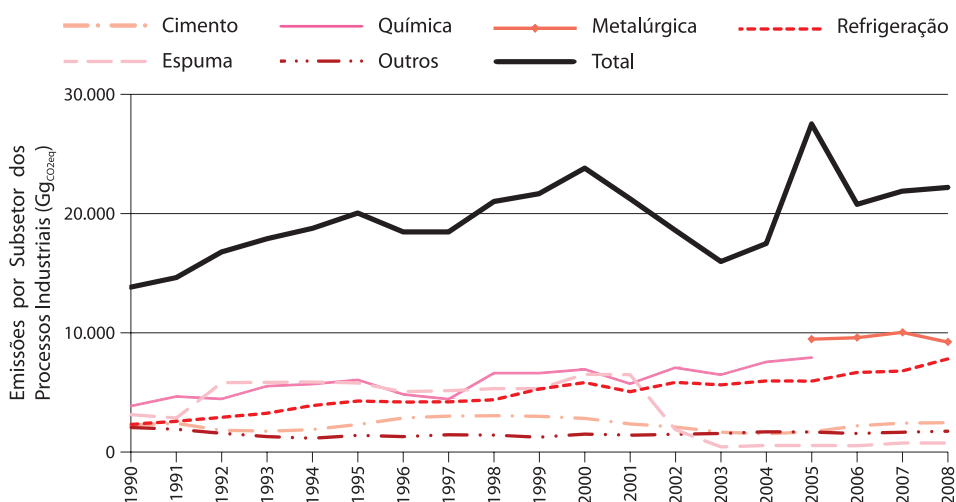
Nota: NE - Não Estimado

As oscilações das emissões em um período inventariado são decorrentes, principalmente, das variações na economia que afetam os dados de produção, e dos avanços tecnológicos que podem alterar além da produção, os fatores de emissão.

Em decorrência da indisponibilidade de dados ou de limitações legais ao uso de alguns dos gases empregados nos subsetores, ocorreu uma variação quanto ao período das estimativas dos mesmos. As emissões da produção química foram estimadas de 1990 a 2005, por ser uma segregação e adaptação do inventário brasileiro feito pela ABIQUIM para o período de 1990 a 2005. As do subsetor de espumas, a partir de 2002¹. As emissões do subsetor de metalurgia foram estimadas de 2005 a 2008².

O Gráfico 1 apresenta as emissões de GEE em CO_{2eq} do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos.

Gráfico 1 Emissões de GEE Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

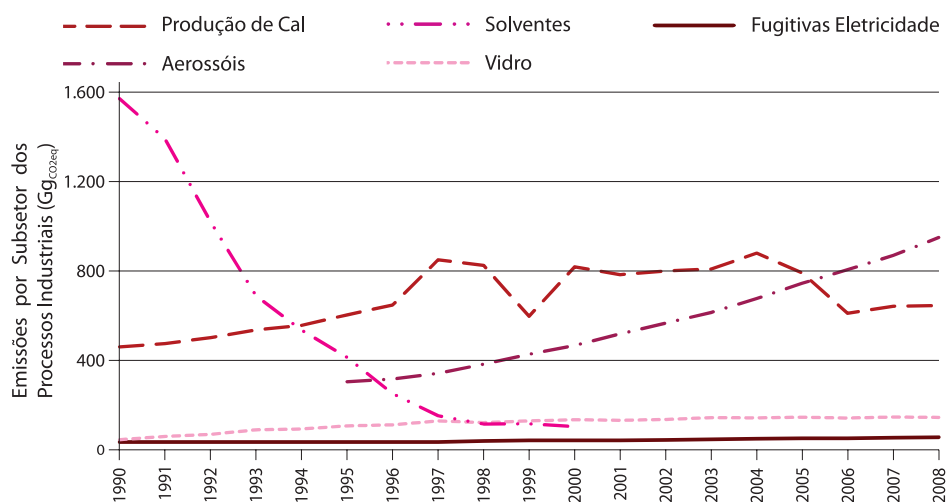


1 O HCFC 141-b foi utilizado como uma alternativa ao uso do CFC-11.

2 As emissões do subsetor de produção metalúrgica foram realizadas somente no período de 2005 a 2008 em decorrência da disponibilidade dos dados de atividade do setor.

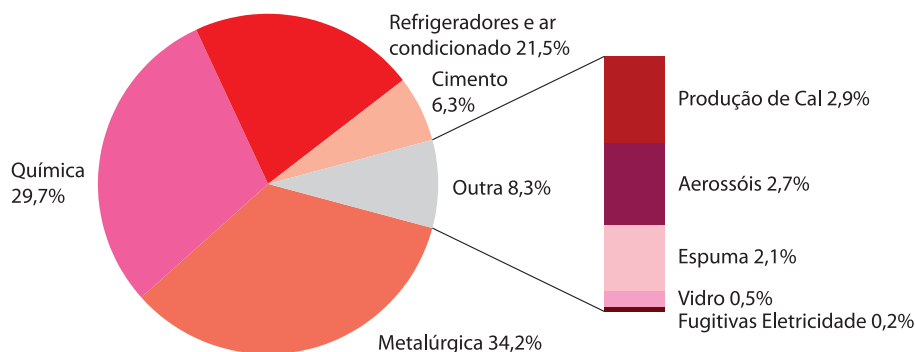
Como pode ser observado no Gráfico 2, as estimativas do subsetor de solventes foram realizadas de 1990 a 2000. As estimativas do subsetor de aerossóis, a partir de 1995³.

Gráfico 2 Emissões de GEE Incluindo os Gases Controlados pelo Montreal do Subsetor “Outros” no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (CO_{2eq})



O Gráfico 3 apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq} incluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

Gráfico 3 Emissões Totais de GEE por Subsetor Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal em 2005 no Estado de São Paulo (%)



De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a produção metalúrgica é o subsetor que apresenta maior participação nas emissões de GEE, com 34% das emissões, seguido da produção química com 27% e refrigeração e ar-condicionado com 22%.

3 No subsector de aerossóis foram estimadas as emissões de CFC-11 e CFC-12 a partir de 1995 por não ter sido possível obter dados dos anos anteriores. Também por falta de dados, não foram incluídas nesse subsector as emissões de HFCs.

Emissões de GEE por Gás Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal

A Tabela 2 apresenta as emissões de GEE incluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal: CFCs e HCFCs.

Tabela 2 Emissões Totais de GEE por Tipo de Gás Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg_{CO₂eq})

Gases	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg _{CO₂eq} .ano ⁻¹]									
CO ₂	3.508	3.655	3.164	3.135	3.397	3.851	4.428	4.869	4.877	4.635
CH ₄	23	18	19	21	22	21	25	30	31	32
N ₂ O	3.261	4.103	3.833	4.933	5.015	5.361	4.182	3.713	5.893	5.848
HFC-134a	NE	NE	NE	NE	NE	NE	54	125	180	245
SF ₆	30	29	29	29	29	29	29	30	34	35
CFC-11	3.167	2.886	5.830	5.852	5.889	5.866	5.129	5.218	5.402	5.418
CFC-12	1.153	1.322	1.532	1.761	2.278	2.763	2.635	2.460	2.421	2.604
CFC-113	1.571	1.390	1.017	685	533	410	248	148	111	113
HCFC-22	1.198	1.298	1.408	1.528	1.656	1.796	1.783	1.928	2.125	2.807
HCFC-141b	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Total	13.911	14.701	16.832	17.945	18.818	20.097	18.512	18.521	21.076	21.737

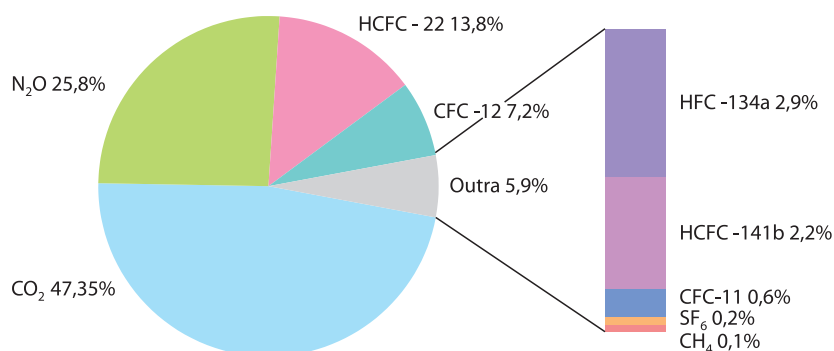
Gases	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[Gg _{CO₂eq}]								
CO ₂	4.722	4.113	4.004	3.539	3.697	12.965	12.281	12.968	12.218
CH ₄	32	31	28	31	33	32	NE	NE	NE
N ₂ O	6.137	5.015	6.252	5.720	6.701	7.057	NE	NE	NE
HFC-134a	334	435	517	599	689	789	911	1.064	1.231
SF ₆	36	37	38	40	43	44	46	47	49
CFC-11	6.608	6.584	1.605	120	135	151	167	187	209
CFC-12	2.648	2.161	2.302	2.083	2.117	1.976	2.158	2.147	1.942
CFC-113	100	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
HCFC-22	3.233	2.916	3.497	3.463	3.709	3.779	4.261	4.292	5.381
HCFC-141b	NE	NE	406	477	592	592	578	798	786
Total	23.849	21.291	18.649	16.071	17.716	27.385	20.403	21.504	21.818

Nota: NE - Não Estimado

O Gráfico 4 apresenta as emissões de GEE incluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal no ano de 2005.

Observa-se que o CO₂ apresenta maior participação nas emissões de GEE, com 47%, seguido do N₂O com 26% e HCFC-22 com 14%.

Gráfico 4 Emissões Totais de GEE por Tipo de Gás Incluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal, em 2005 no Estado de São Paulo (%)



Emissões por Setor Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal

A Tabela apresenta as emissões de GEE excluindo as emissões dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal.

As emissões dos subsetores de alimentos e bebidas e de papel e celulose não constam na Tabela 3 por emitirem apenas GEE Indiretos. Não estão incluídas as emissões dos subsetores de aerossóis e espumas e parte das emissões do subsetor de refrigeradores e ar condicionado (CFC-12 e HCFC-22 controlados pelo Protocolo de Montreal).

O Gráfico apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq}, excluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal, no ano de 2005.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que o subsetor de produção metalúrgica é o que apresenta maior participação nas emissões de GEE, com 45% das emissões, seguido dos subsetores de produção química, com 39%, e da produção de cimento, com 8%.

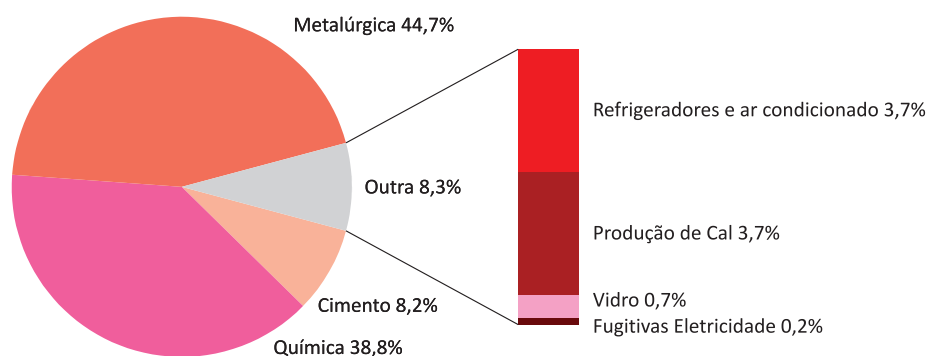
Tabela 3 Emissões totais de GEE por Subsetor Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg_{CO2eq})

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]									
Produção de Cimento	2.293	2.441	1.854	1.791	1.934	2.345	2.893	3.041	3.087	3.026
Produção de Cal	457	472	499	533	554	601	645	848	823	594
Produção Química	4.001	4.808	4.598	5.679	5.856	6.184	4.988	4.598	6.773	6.770
Produção Metalúrgica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Produção de Vidro	41	56	65	86	89	103	108	125	118	125
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	30	29	29	29	29	29	29	30	34	35
Refrigeradores e Ar Condicionado	NE	NE	NE	NE	NE	NE	54	125	180	245
Total	6.822	7.806	7.044	8.118	8.462	9.262	8.718	8.767	11.015	10.796

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[Gg _{CO2eq} .ano ⁻¹]								
Produção de Cimento	2.853	2.384	2.128	1.705	1.564	1.734	2.229	2.459	2.500
Produção de Cal	816	781	798	806	877	789	608	640	642
Produção Química	7.091	5.867	7.226	6.639	7.851	8.214	NE	NE	NE
Produção Metalúrgica	NE	NE	NE	NE	NE	9.467	9.595	10.032	9.233
Produção de Vidro	131	128	132	140	139	142	138	143	141
Fugitivas do Subsetor de Distribuição de Eletricidade	36	37	38	40	43	44	46	47	49
Refrigeradores e Ar-Condicionado	334	435	517	599	689	789	904	1.053	1.217
Total	11.261	9.631	10.839	9.929	11.163	21.178	13.527	14.385	13.797

Nota: NE - Não Estimado

Gráfico 5 Emissões Totais de GEE por Subsetor Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal, em 2005 no Estado de São Paulo (%)



Emissões de GEE por Tipo de Gás Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal

A Tabela 4 apresenta as emissões de GEE excluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal: CFCs e HCFCs.

O Gráfico 6 apresenta as emissões de GEE excluindo os gases controlados pelo Protocolo de Montreal no ano de 2005.

Observa-se que o CO₂ apresenta maior participação nas emissões de GEE, com 61% das emissões totais, seguido do N₂O com 34% e HFC-134a com 4%.

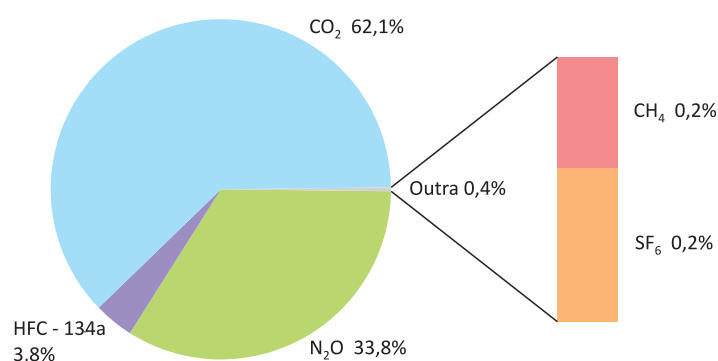
Tabela 4 Emissões Totais de GEE por Tipo de Gás Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg_{CO₂eq})

Gases	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg _{CO₂eq} .ano ⁻¹]									
CO ₂	3.508	3.655	3.164	3.135	3.397	3.851	4.428	4.869	4.877	4.635
CH ₄	23	18	19	21	22	21	25	30	31	32
N ₂ O	3.261	4.103	3.833	4.933	5.015	5.361	4.182	3.713	5.893	5.848
HFC-134a	NE	NE	NE	NE	NE	NE	54	125	180	245
SF ₆	30	29	29	29	29	29	29	30	34	35
Total	6.822	7.806	7.044	8.118	8.462	9.262	8.718	8.767	11.015	10.796

Gases	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[Gg _{CO₂eq} .ano ⁻¹]								
CO ₂	4.722	4.113	4.004	3.539	3.697	12.965	12.281	12.968	12.218
CH ₄	32	31	28	31	33	32	NE	NE	NE
N ₂ O	6.137	5.015	6.252	5.720	6.701	7.057	NE	NE	NE
HFC-134a	334	435	517	599	689	789	911	1.064	1.231
SF ₆	36	37	38	40	43	44	46	47	49
Total	11.261	9.631	10.839	9.929	11.163	20.886	13.238	14.079	13.499

Nota: NE - Não Estimado.

Gráfico 6 Emissões Totais de GEE por Tipo de Gás Excluindo os Gases Controlados pelo Protocolo de Montreal, em 2005 no Estado de São Paulo (%)



Emissões de GEE Indiretos

No setor de processos industriais e uso de produtos foram inventariados os GEE indiretos: Compostos Orgânicos Voláteis Não Metanos (NMVOC), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx) dos subsetores: alimentos e bebidas, papel e celulose e vidro.

A Tabela 5 apresenta as emissões de NMVOC de 1990 a 2008 da produção de alimentos e bebidas, papel e celulose e vidro. A produção de alimentos e bebidas apresenta uma média de 94% das emissões de NMVOC do período.

Tabela 5 Emissões de NMVOC de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg)

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg.ano ⁻¹]									
Alimentos e Bebidas	130	135	140	145	151	157	163	170	170	200
Papel e Celulose	2	3	4	4	6	6	6	7	7	7
Vidro	2	3	3	4	4	5	5	6	5	6
Total NMVOC	134	140	146	153	160	167	174	182	182	212

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
	[Gg.ano ⁻¹]									
Alimentos e Bebidas	213	180	204	228	237	251	257	283	280	
Papel e Celulose	8	7	8	9	11	11	12	13	13	
Vidro	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Total NMVOC	227	193	217	244	254	269	276	302	299	

A Tabela 6 apresenta as emissões de CO do subsetor de papel e celulose.

Tabela 6 Emissões de CO de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg)

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg.ano ⁻¹]									
Papel e Celulose	4	4	5	6	9	9	9	10	10	11
Total CO	4	4	5	6	9	9	9	10	10	11

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
	[Gg.ano ⁻¹]									
Papel e Celulose	11	11	12	14	17	17	19	20	20	
Total CO	11	11	12	14	17	17	19	20	20	

A Tabela 7 apresenta as emissões de NOx do subsetor de papel e celulose.

Tabela 7 Emissões de NOx de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo (Gg)

Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg.ano ⁻¹]									
Papel e Celulose	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
Total NOx	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
	[Gg.ano ⁻¹]									
Papel e Celulose	3	3	3	4	4	5	5	5	5	
Total NOx	3	3	3	4	4	5	5	5	5	

Apoio



Embaixada Britânica
Brasília

Realização



CETESB



GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Secretaria do Meio Ambiente

ISBN 978-85-61405-51-9