

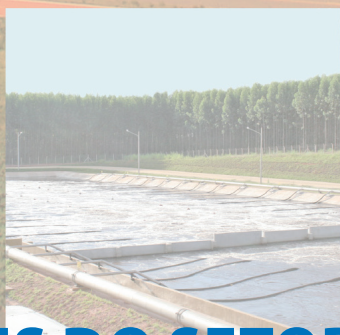
COMUNICAÇÃO ESTADUAL

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

EMISSÕES DO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS E EFLUENTES LÍQUIDOS

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 DO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS E EFLUENTES LÍQUIDOS, 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 do setor de resíduos sólidos e efluentes, 1990 a 2008 : relatório de referência [recurso eletrônico] / CETESB ; coordenação João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer ; equipe Calvin Stefan Lost... [et al.]. -- São Paulo : CETESB, 2013.

1 CD : 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 978-85-61405-42-7

1. Águas residuárias 2. Aquecimento global 3. Efeito estufa – gases 4. Gases – inventário 5. Mudanças climáticas 6. Política ambiental 7. Resíduos sólidos 8. São Paulo (Est.) I. Título II. Série.

CDD (21. ed. Esp.) 363.728 816 1

CDU (2. ed. Port.) 504.7:614.7(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

Geraldo do Amaral Filho – 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 RESÍDUOS SÓLIDOS E EFLUENTES LÍQUIDOS

Coordenação:

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB



Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA



Apoio:



Embaixada Britânica
Brasília

APRESENTAÇÃO DO SECRETÁRIO

A publicação de mais uma parte do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Estado de São Paulo reflete o compromisso do Governo do Estado com a questão global das mudanças climáticas.

O Inventário das Emissões do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos apresenta as emissões de GEE pela disposição e incineração de resíduos sólidos e pelo tratamento de efluentes domésticos e industriais.

Esta publicação cumpre o dever de comunicar à sociedade as emissões desse setor, além de servir como ferramenta para a gestão ambiental, uma vez que, com esse documento é possível identificar as emissões de GEE diante do perfil estadual de população, composição de resíduo, clima e tipo de destino dado ao resíduo sólido e ao efluente. Pode também embasar estudos de estratégias para que sejam atingidos os objetivos da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), que prevê metas de redução, bem como as diretrizes da Convenção do Clima (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*).

Um dos objetivos da PEMC é a promoção da educação ambiental e a conscientização social sobre as mudanças climáticas globais, informando amplamente acerca desse fenômeno, identificando vulnerabilidades e propondo medidas de adaptação, ações de prevenção e opções para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável, além de definir a atualização periódica e publicação de inventários. Nesse contexto, o inventário é a ferramenta chave para que se estabeleça um panorama geral e detalhado sobre as emissões de GEE no estado. Conhecendo-se a real dimensão do problema, torna-se possível planejar com mais clareza, e adotar as medidas mitigadoras e compensatórias que a situação demanda.

Mais uma vez se evidencia o protagonismo paulista nas políticas ambientais. O estado mais industrial e rico do Brasil também tem trabalhado duro para se destacar na transição para uma economia de baixo carbono.

Bruno Covas

Secretário do Meio Ambiente

APRESENTAÇÃO

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do setor de resíduos e efluentes líquidos do Estado de São Paulo, elaborado pela CETESB, pode ser comparado, sem adaptações, ao inventário nacional de emissões de GEE do mesmo setor. Isso porque ambos se baseiam nos métodos de inventário de 1996 do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC) e empregam as mesmas fontes de dados.

Elaborar, atualizar e divulgar os resultados do inventário nacional das emissões de GEE é um compromisso assumido pelo governo brasileiro na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1992, na cidade do Rio de Janeiro. Os governos estaduais não participam da CQNUMC e, portanto, o compromisso assumido pelo governo federal não representa compromisso para o Estado de São Paulo. Todavia, voluntariamente, o governo do Estado de São Paulo aprovou a lei 13.798 de novembro de 2009 criando essa obrigatoriedade.

Considerando que há diferenças na geração, na coleta, na composição gravimétrica e mesmo no destino dado aos resíduos sólidos e efluentes do estado em relação à média nacional, um estudo local se mostra mais adequado para apoiar a tomada de decisão na esfera estadual.

Atento a esse fato, o governo britânico, presente em inúmeras outras oportunidades, apoiou mais essa iniciativa do governo paulista e em uma parceria de mais de três anos apoiou a CETESB na reunião de dados, na adaptação metodológica, na elaboração e cuidadosa verificação dos resultados da estimativa das emissões antropogênicas de GEE no Estado de São Paulo. Uma parte do resultado dessa colaboração com o governo britânico é o documento a seguir. A equipe técnica da CETESB, que trabalha em estreita cooperação com a equipe técnica do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) desde a década de 90, realizou as estimativas das emissões nacionais de GEE do setor de resíduos. Dessa vez, apoiada no aprendizado que teve ao trabalhar com aquela equipe, elabora a estimativa das emissões de GEE do setor de resíduos em nível estadual com a mesma qualidade encontrada no documento nacional.

Em conclusão, a leitura desse documento, além de construtiva é indispensável aos que estão envolvidos com os temas: mudanças climáticas e tratamento e disposição de resíduos sólidos e de efluentes líquidos e, em especial, aos que se dedicam ao desenvolvimento sustentável do Estado de São Paulo.

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

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Equipe

Bruna Patrícia de Oliveira – Coordenação Técnica

Calvin Stefan Iost – Coordenação Técnica

Rodrigo Cietto Ridolfi (Apoio Coordenação Executiva)

Gisele dos Anjos Passareli

Sonia Maria Manso Vieira

Talita dos Santos Esturba

Revisão Técnica

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

João Wagner Silva Alves

Colaboradores

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

George Henrique Carvalho Magalhães Cunha
Ligia Prangutti Orlandi
Mariana Barbosa Gonzalez
Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça
Mayra Braga Rocha
Mauro Meirelles
Natacha Nogueira Britschka
Neuza Maria Maciel
Omar de Almeida Cardoso
Rafael Takayama Garrafoli

Capa

Vera Severo

Editoração

Eduardo Shimabokuro – Prestador de Serviço
Isabela Maria Rodrigues Silva
Wilson Issao Shiguemoto

Fotos

Acervo CETESB
Acervo Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
José Jorge Neto
Omar de Almeida Cardoso
Thiago Marcel Oshiro Campi

Esta Publicação é um Produto do Projeto CETESB “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 Técnica

João Wagner Silva Alves – PROCLIMA

Coordenação Executiva

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer – PROCLIMA
Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz (apoio)

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: 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, embaixador do Reino Unido no Brasil, parceiro imprescindível do projeto para elaboração do inventário estadual de São Paulo; Otavio Okano, presidente da CETESB e ao vice-presidente Nelson Roberto Bugalho, pelo apoio incondicional; Fátima Aparecida Carrara que coordenou o relacionamento institucional da CETESB com a Embaixada Britânica, 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, pela longa parceria e apoio na implementação deste 1º Inventário de Emissões de GEE do Estado de São Paulo para o Setor de Resíduos.

Expressamos nosso agradecimento: a equipe da Embaixada Britânica que atuou nesse projeto, em especial a Ana Nassar, Daniel Grabois, Larissa Araújo, Márcia Sumirê e Raissa Ferreira; a Aruntho Savastano Neto, ex-coordenador do Inventário de Resíduos Sólidos Domiciliares do Estado de São Paulo e equipe, pelas informações de excelente qualidade que agregaram valor ao Relatório de Referência.

Aos colegas da CETESB: Mauro Kazuo Sato, Marco Antônio Sanchez Artuzo, Paulo Takanori Katayama, Lineu José Bassoi, pelas informações e apoio ao projeto. Também agradecemos aos parceiros pelas informações: Alfred Swartz, André Elia Neto, Américo Sampaio, Daniel Picanço, Darcy Brega Filho, Diógenes Del Bel, Isabella de Oliveira, Mellina Zanon Breda, Taiana Brito, Cristina Costa, Edmundo Wallace, Expedito Ronaldo Gomes Rebello, Francisco do Nascimento, Jorge Lapa, Leandro Batista Yokomizo, Marcos Pellegrini Bandini, Tânia Maria Mascarenhas Pinto, Mariana Sigrist, Paulo de Lamo, Roberta Santoro de Constantino, Sílvia Astolpho, Sofia Jucon. Finalmente, à equipe de consultores que apoiou este projeto na pessoa de Eliane Aparecida Milani de Queiróz Lopes da Cruz, incansável, gentil e diligente durante todo o trabalho.



SUMÁRIO EXECUTIVO



Sumário Executivo

Sumário Executivo

De acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), adotada em 1992, as mudanças climáticas são relacionadas, direta ou indiretamente, às atividades humanas que alteram a composição global da atmosfera além da variabilidade climática natural. Entre as diretrizes da Convenção do Clima, nos artigos 4º e 12 é apresentado o dever da elaboração de inventários periódicos pelas partes, e que esses devem incorporar as emissões ou remoções antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal (MCT, 1992).

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 13.798 de 2009 estão definidas as diretrizes para a elaboração, a atualização periódica e a publicação de inventários de emissões antrópicas, discriminadas por fontes e das remoções, por meio de sumidouros, dos 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.

O Inventário

O Inventário do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos é parte integrante do 1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo (CETESB, 2011) composto pela estimativa dos setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos, Agropecuária, Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas e Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos.

O presente Relatório de Referência apresenta as estimativas de emissões de gases de efeito estufa gerados pelos resíduos sólidos e efluentes líquidos no Estado de São Paulo entre os anos 1990 e 2008.

As estimativas realizadas consideraram variáveis como a população urbana (para aterramento de resíduos sólidos) e população urbana e rural (para efluentes domésticos), a taxa de coleta de resíduos sólidos urbanos e a composição associada a cada município e a taxa de geração de matéria orgânica nos efluentes no Estado de São Paulo. Estima-se que, no ano de 2005, uma população urbana de mais de 37 milhões de habitantes gerou aproximadamente 11,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos e que a população total de 39 milhões gerou aproximadamente 770 mil toneladas de DBO.

Em relação aos efluentes industriais, foram selecionados os dez principais setores industriais geradores de carga orgânica do país: álcool, açúcar, cervejas, leite cru, algodão, papel, suínos, leite pasteurizado, aves e bovinos. No ano de 2005, no Estado de São Paulo, esses setores geraram mais de 5 milhões de toneladas de carga orgânica, medida em DBO.

Observando os registros dos incineradores no Estado de São Paulo, operando no período entre os anos de 1990 e 2008, foram processadas, em média, 8,8Gg.ano⁻¹

de HW (do inglês, *hazard waste*, resíduos perigosos), 2,3Gg.ano⁻¹ de CW (do inglês, *clinical waste*, resíduos de serviços de saúde) e quantidades insignificantes de MSW (do inglês *municipal solid waste*, resíduo sólido municipal) e SS (do inglês *sewage sludge*, lodo de esgotos).

Estimativas

Para as estimativas de GEE do setor, foram empregados 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*.

O levantamento dos dados do Setor de Resíduos e Efluentes foi realizado junto às principais fontes de informações do Setor de Saneamento do Estado e por pesquisas bibliográficas. Para a maioria das variáveis apresentadas no método, foram empregados *default*, por não existir dados nacionais e estaduais publicados, respeitando os princípios de transparência, consistência e acurácia recomendados pelo IPCC.

Este relatório apresenta as emissões para o período de 1990 a 2008. Os gases inventariados foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

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 de GEE do Setor de Resíduos para os Anos de 1990, 1994, 2000, 2005 e 2008

Setor	Ano	Unidade	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Resíduos Sólidos Aterrados	1990	Gg		120	
	1994			151	
	2000			220	
	2005			321	
	2008			360	
	Var.1990/2000	%		83	
	Var.1990/2005			167	
	Var.1990/2008			199	
Resíduos Sólidos Incinerados	1990	Gg	8		0,0005
	1994		13		0,0008
	2000		19		0,0012
	2005		17		0,0011
	2008		22		0,0014
	Var.1990/2000	%	150		157
	Var.1990/2005		122		129
	Var.1990/2008		193		203
Efluentes Domésticos	1990	Gg		73	
	1994			77	
	2000			87	
	2005			91	
	2008			94	
	Var.1990/2000	%		18	
	Var.1990/2005			25	
	Var.1990/2008			29	
Efluentes Industriais	1990	Gg			75
	1994				59
	2000				60
	2005				66
	2008				71
	Var.1990/2000	%			-19
	Var.1990/2005				-13
	Var.1990/2008				-6

Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas no Estado de São Paulo do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos

A Tabela 2, a seguir, resume as emissões estimadas para o setor em 2005.

De acordo com a referida tabela, são apresentadas as contribuições percentuais das atividades do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos. No ano de 2005, as emissões totais de GEE do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos foram de mais de 10 mil GgCO_{2eq}. A conversão das quantidades observadas na Tabela 2 foi feita com o emprego de equivalências de GWP¹.

Tabela 2. Emissões de GEE do Setor de Resíduos em 2005 no Estado de São Paulo

Setor	Emissão de Gás de Efeito Estufa [Gg _{GEE} .ano ⁻¹]		
	GEE		
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Disposição de MSW em aterros	321,18		
Incineração MSW, HW, CW e SS		16,92	1,06·10 ⁻³
Tratamento de efluentes domésticos	90,41		
Tratamento de efluentes industriais	65,62		

No período de 1990 a 2008, as emissões anuais per capita de CH₄, devidas à disposição de resíduos sólidos em aterros e o tratamento anaeróbio de efluentes domésticos, passaram de 7 para 12 kg_{CH₄}.(hab.ano)⁻¹.

A principal fonte de geração de GEE no Setor de Resíduos e Efluentes é a disposição de resíduos sólidos em aterros.

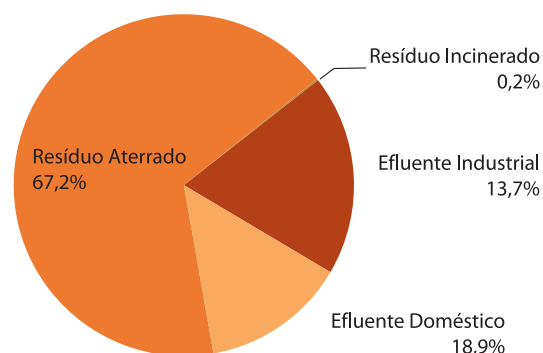
A Tabela 3 apresenta as emissões totais do setor de Resíduos Sólidos e Efluentes.

O Gráfico 1 apresenta as emissões totais de GEE em CO_{2eq} no ano de 2005.

Tabela 3. Emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Resíduo Aterrado	Resíduo Incinerado	Efluente Doméstico	Efluente Industrial	Total
[Gg _{CO_{2eq}} .ano ⁻¹]					
1990	2.528	8	1.538	1.578	5.652
1991	2.701	9	1.567	1.448	5.726
1992	2.864	21	1.597	1.430	5.913
1993	3.018	9	1.627	1.257	5.911
1994	3.165	13	1.620	1.243	6.041
1995	3.306	13	1.649	1.213	6.182
1996	3.442	13	1.679	1.161	6.295
1997	3.574	14	1.708	1.255	6.550
1998	3.967	13	1.737	1.230	6.948
1999	4.191	17	1.767	1.110	7.084
2000	4.623	19	1.796	1.270	7.708
2001	5.100	17	1.816	1.301	8.235
2002	5.583	17	1.837	1.459	8.896
2003	6.034	17	1.858	1.250	9.159
2004	6.348	17	1.878	1.341	9.585
2005	6.745	17	1.899	1.378	10.039
2006	7.129	21	1.919	1.474	10.543
2007	7.272	22	1.940	1.429	10.663
2008	7.565	23	1.960	1.483	11.031

Gráfico 1. Emissões Totais de GEE do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos em 2005 no Estado de São Paulo



1 O GWP é o potencial de aquecimento global dos GEE. Foram empregados dados de GWP conforme apresentado pelo IPCC (2000b) onde, para um horizonte de 100 anos, o GWP do CO₂ é de 1, o do CH₄ é de 21 e o do N₂O é de 310.

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos

ABIA – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel

CCW – Carbono Contido no Resíduo

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CESP – Companhia Energética de São Paulo

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

CW – *Clinical Wastes* (Resíduos de Serviços de Saúde)

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DOC – Carbono Orgânico Dissolvido

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EF – Eficiência de Combustão

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto ou Efluentes

FCF – Fração de Carbono Fóssil

FE – Fator de Emissão

FECOP – Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição

FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

FESPSP – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo

FOD – *First Order Decay* (Decaimento de Primeira Ordem)

GEE – Gás / Gases de Efeito Estufa

GWP – *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

HW – *Hazardous Wastes* (Resíduos Perigosos)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

IGES – *Institute for Global Environmental Strategies* (Instituto de Estratégias Ambientais Globais)

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQR – Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

IW – *Incinerated Waste* (Resíduo de Incineração)

LDRSM – Local de Disposição de Resíduo Sólido Municipal

MAP – Precipitação Média Anual

MAT – Temperatura Média Anual

MCF (resíduos) – Fator de Correção de Metano

MCF (efluentes) – Fator de Conversão de Metano

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia (atual MCTI)

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MSW – *Municipal Solid Waste* (Resíduo Sólido Municipal)

NBR – Norma Brasileira

OECD – *Organization for Economic Co-Operation and Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)

PEMC – Política Estadual de Mudanças Climáticas

PET – Potencial de Evapotranspiração

PIA – Pesquisa Industrial Anual

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROCLIMA – Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo

PRONACOP – Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS – *Sewage Sludge* (Lodo de Esgoto)

STEL – Sistemas de Tratamento de Efluentes Líquidos

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

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

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar

WHO – *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde)

Lista de Símbolos

C – Carbono

°C – Grau Celsius

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono / Gás Carbônico

CO_{2eq} – Gás Carbônico Equivalente/
Dióxido de Carbono Equivalente

g – Grama

Gg – Gigagrama

H₂O – Água

H₂S – Ácido Sulfídrico

Kg – Quilograma

N₂O – Óxido Nitroso

NH₃ – Amônia

t – Tonelada

SUMÁRIO

Sumário Executivo	19
1 Introdução	35
2 Resíduos Sólidos	39
2.1 Estratégia de Elaboração das Estimativas de Emissões de CH ₄ por Resíduos ..	45
2.1.1 Estimativa das Emissões de CH ₄ em Aterros de Resíduos Sólidos.....	45
2.1.2 Estimativa das Emissões de CO ₂ por Incineração de Resíduos Sólidos ..	47
2.1.3 Estimativa das Emissões de N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos..	48
2.2 Método de Estimativa de Emissões de GEE pelo Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	50
2.2.1 Estimativa das Emissões de CH ₄ em Aterros.....	50
2.2.2 Estimativa das Emissões de CO ₂ por Incineração de Resíduos Sólidos.	51
2.2.3 Estimativa das Emissões de N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos.	52
2.3 Dados.....	53
2.3.1 Emissão de CH ₄ em Aterros	53
2.3.2 Emissões de CO ₂ e N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos	67
2.4 Resultados	70
2.4.1 Estimativa das Emissões de CH ₄ pela Disposição de Resíduos Sólidos em Aterros	70
2.4.2 Estimativa das Emissões de CO ₂ e N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos	70
3 Efluentes Domésticos e Industriais	73
3.1 Estratégia das Estimativas das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Esgotos Domésticos	77
3.2 Método de Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Domésticos	79
3.3 Dados de Emissão de CH ₄ por Destino dos Efluentes Domésticos.....	81
3.3.1 Efluente Doméstico Orgânico Total (TOW _{dom}).....	81
3.3.2 População Total (Pop _{tot}).....	81
3.3.3 Fator de Emissão	82
3.3.4 Capacidade Máxima de Produção de Metano (B ₀).....	82
3.3.5 Média Ponderada dos MCF _i	82
3.3.6 Média Ponderada (MCF _j).....	90

3.3.7	Metano Recuperado (R).....	90
3.4	Estratégia das Estimativas das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais.....	91
3.5	Método de Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais.....	93
3.6	Dados de Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais.....	95
3.6.1	Identificação das Principais Atividades Industriais com Maior Potencial de Emissões de CH ₄	95
3.6.2	Produção Industrial (P _i).....	98
3.6.3	Fator de Emissão de Carga Orgânica por Unidade Produzida (D _{ind}).....	99
3.6.4	Capacidade Máxima de Produção de Metano (B ₀).....	99
3.6.5	Fração de Efluente Industrial Tratado Usando Sistema Anaeróbio i (WS _i).....	99
3.6.6	Cerveja.....	100
3.6.7	Açúcar e Álcool.....	102
3.6.8	Leite Cru, Algodão, Papel, Suínos, Leite Pasteurizado, Aves e Bovinos.....	102
3.6.9	Fator de Conversão de CH ₄ do Sistema i que Trata o Efluente MCF _x	102
3.6.10	Metano Recuperado (R).....	103
3.7	Resultados.....	104
3.7.1	Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Manejo de Efluentes Domésticos.....	104
3.7.2	Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Manejo de Efluentes Industriais.....	104
4	Incertezas.....	105
4.1	Resíduos Sólidos Aterrados e Incinerados.....	108
4.2	Efluentes Domésticos e Industriais.....	110
5	Controle e Garantia da Qualidade da Estimativa.....	111
5.1	Transparência e Rastreabilidade dos Dados, Fatores de Emissão e Dados de Atividade da Estimativa.....	113
5.2	Verificação dos Resultados.....	113
5.3	Envolvimento de Especialistas na Elaboração e Revisão da Estimativa.....	113
6	Considerações finais.....	115
6.1	Emissões Totais de CH ₄ do Setor de Resíduos.....	117
6.2	Emissões <i>per Capita</i> de CH ₄ do Setor de Resíduos.....	119
7	Conclusão.....	121
7.1	Emissões Totais do Setor de Resíduos em 2005.....	123

7.2	Emissões Totais do Setor de Resíduos em 2008.....	123
7.3	Dados de Atividade do Período e Fatores de Emissão Estaduais.....	124
8	Referências.....	127
9	Anexos	135

EQUAÇÕES

Equação 1. Emissão de CH ₄ pelo Método de Decaimento de Primeira Ordem – Tier 2	50
Equação 2. Fator de Normalização para a Soma	50
Equação 3. Potencial de Geração de CH ₄	51
Equação 4. Carbono Orgânico Degradável.....	51
Equação 5. Estimativa de Emissão de CO ₂ por Incineração de Resíduos Sólidos	51
Equação 6. Estimativa de Emissão de N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos	52
Equação 7. Quantidade de Resíduo Aterrado	56
Equação 8. População	58
Equação 9. TaxaMSW ₍₁₉₇₀₎	60
Equação 10. TaxaMSW Empregada para o Ano de 2008	62
Equação 11. TaxaMSW dos Anos entre 1970 e 2008.....	62
Equação 12. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008	64
Equação 13. Estimativa de Emissões de CH ₄ por Tratamento Anaeróbio de Efluentes Domésticos	79
Equação 14. Estimativa do Efluente Doméstico Orgânico Total.....	79
Equação 15. Fator de Emissão	79
Equação 16. Média Ponderada dos MCF.....	79
Equação 17. WS _{i,x} do Efluente Coletado, Tratado e Não Tratado	80
Equação 18. Fator de Ajuste	80
Equação 19. Estimativa de Emissão de CH ₄ por Tratamento Anaeróbio de Efluentes Industriais.....	93
Equação 20. Estimativa do Efluente Industrial Orgânico Total	93
Equação 21. Estimativa do Fator de Emissão para Efluentes Industriais.....	93
Equação 22. Metano Recuperado de 1990 a 1994	94
Equação 23. Metano Recuperado de 1995 a 2008.....	94
Equação 24. Incerteza Combinada por Adição (U _{Total})	107
Equação 25. Incerteza Combinada por Multiplicação	107
Equação 26. Dedução I	139
Equação 27. Dedução II	139
Equação 28. Dedução III	139
Equação 29. Dedução IV	140
Equação 30. Dedução V	140
Equação 31. Dedução VI	140
Equação 32. Dedução VII	141
Equação 33. Dedução VIII.....	141
Equação 34. Dedução IX	141
Equação 35. Dedução X	141

FIGURAS

Figura 1. Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) em 1997 no Estado de São Paulo	42
Figura 2. O IQR em 2008 no Estado de São Paulo	42
Figura 3. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH ₄ em Aterros de Resíduos Sólidos	45
Figura 4. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CO ₂ por Incineração de Resíduos Sólidos ..	47
Figura 5. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de N ₂ O por Incineração de Resíduos Sólidos ..	49
Figura 6. Temperatura Média Compensada de 1961 a 1990 no Estado de São Paulo	54
Figura 7. Intensidade Pluviométrica de 1961 a 1990 no Estado de São Paulo	55
Figura 8. Cidades Onde Foram Obtidos Dados de Composição de MSW	64
Figura 9. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Domésticos	77
Figura 10. Fração de Efluentes Coletados e Não Coletados de 1990 a 1994 no Estado de São Paulo	84
Figura 11. WS _{i,x} no Brasil Aplicado no Ano de 1994, Utilizadas para o Período entre 1990 e 1994 no Estado de São Paulo	87
Figura 12. WS _{i,x} no Brasil e Aplicado no Ano de 2000, Empregado no Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	88
Figura 13. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH ₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais	91
Figura 14. WS _i para Efluentes das Indústrias de Cerveja	101
Figura 15. Dados, Fatores de Emissão e Método de Elaboração da Estimativa de Emissões de CH ₄ por Aterros	145

GRÁFICOS

Gráfico 1. Emissões Totais de GEE do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos em 2005 no Estado de São Paulo	23
Gráfico 2. IQR Médio no Estado de São Paulo de 1997 a 2008	43
Gráfico 3. Distribuição Percentual das Unidades de Destinação Final dos Resíduos, por Distritos, em 2000, no Estado de São Paulo	43
Gráfico 4. Distribuição Percentual da Quantidade Diária de Lixo Coletado, por Unidade de Destino Final do Lixo Coletado em 2000, no Estado de São Paulo	44
Gráfico 5. Percentual entre a Emissão do Vigésimo Ano e a Emissão do Primeiro Ano de Aterramento....	57
Gráfico 6. População Urbana de 1970 a 2010 no Estado de São Paulo	58
Gráfico 7. Modelo Utilizado para Estimar a População Urbana e População Total de 1970 a 2010 no Estado de São Paulo	58
Gráfico 8. Funções de Estimativa de RSU Coletado em 1970 para o Estado de São Paulo	60
Gráfico 9. Relação Obtida entre a Taxa de Geração de Resíduos e a População Urbana em 2008 no Estado de São Paulo	61
Gráfico 10. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008 no Estado de São Paulo	65
Gráfico 11. Fração de Domicílios com Rede Coletora de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	84
Gráfico 12. Proporção de Emissões de CO _{2eq} para o Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo	117
Gráfico 13. Emissões Totais em t _{CO2eq} no Estado de São Paulo de 1990 a 2008	118
Gráfico 14. Emissões de CH ₄ por Habitante no Estado de São Paulo de 1990 a 2008.	119
Gráfico 15. Disponibilidade de Carbono Orgânico ao Longo dos Anos em Aterros.....	138

TABELAS

Tabela 1. Emissões de GEE do Setor de Resíduos para os Anos de 1990, 1994, 2000, 2005 e 2008.....	22
Tabela 2. Emissões de GEE do Setor de Resíduos em 2005 no Estado de São Paulo.....	23
Tabela 3. Emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	23
Tabela 4. Temperatura dos Municípios com População Urbana Superior a 500 mil Habitantes e sem Estação do INMET	54
Tabela 5. Dados <i>Default</i> do IPCC de k para o MSW Misturado.....	56
Tabela 6. População Urbana dos anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 no Estado de São Paulo	57
Tabela 7. Taxa $MSW_{(1970)}$	59
Tabela 8. Taxa $MSW_{(2008)}$ de Municípios do Estado de São Paulo	61
Tabela 9. Coeficientes Angular e Linear Empregados para Estimar a Taxa MSW para 2008 no Estado de São Paulo	61
Tabela 10. Dados <i>Default</i> do IPCC de MCF(t)	62
Tabela 11. Conversão de IQR para MCF(t).....	63
Tabela 12. Análises de DOC, do MSW para Municípios do Estado de São Paulo	63
Tabela 13. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008 no Estado de São Paulo.....	65
Tabela 14. Reduções de Emissões Municipais de 2003 a 2008 no Estado de São Paulo (R).....	66
Tabela 15. Quantidade de Resíduos Sólidos Incinerados por Ano e por Tipo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	68
Tabela 16. <i>Default</i> do IPCC de CCW e FCF.....	69
Tabela 17. <i>Default</i> do IPCC de FE para as Estimativas de Emissões de CO_2 por Incineração.....	69
Tabela 18. Fatores de Emissão de N_2O <i>Default</i> do IPCC por Técnica de Incineração	69
Tabela 19. Emissões de CH_4 pela Disposição de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ...	70
Tabela 20. Emissões de CO_2 pela Incineração de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ..	70
Tabela 21. Emissões de N_2O pela Incineração de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ..	71
Tabela 22. TOW_{dom} de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	81
Tabela 23. População Total dos Anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 no Estado de São Paulo	81
Tabela 24. Fatores de Emissão (FE) para o Efluente Doméstico de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo ..	82
Tabela 25. $WS_{i,x}$ do Ano de 1994 e Empregados no Período de 1990 a 1994 no Estado de São Paulo	84
Tabela 26. Distritos e Estimativa de $WS_{i,x}$ do Efluente Coletado e Tratado no Ano de 2000 e Empregado para o Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo	86
Tabela 27. Distritos e $WS_{i,x}$ do Efluente sem Coleta no Ano de 2000 Empregado para o Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo.....	86
Tabela 28. Distritos e $WS_{i,x}$ do Efluente Coletado e Não Tratado.....	87

Tabela 29. $WS_{i,x}$ por Destino Anaeróbio dos Efluentes, com Emissão de CH_4 , em 2000 Empregada para o Período de 1995 a 2008.....	89
Tabela 30. <i>Default</i> de MCF_x	89
Tabela 31. Médias Ponderadas (MCF_i) dos Efluentes Domésticos	90
Tabela 32. Produção Industrial (P_i) no Ano de 2005 do Brasil.....	96
Tabela 33. Fatores de Emissão de Carga Orgânica (D_{ind}) no Estado de São Paulo	96
Tabela 34. Emissões de DBO dos Setores Industriais mais Representativos para o Ano de 2005 no Brasil.....	97
Tabela 35. Regressões Empregadas para a Obtenção de Dados de Produção de 2009 e 2010.....	98
Tabela 36. Produção Industrial (P_i) ²⁶ no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	98
Tabela 37. Fator de Emissão de Carga Orgânica (D_{ind}) dos Principais Setores da Economia.....	99
Tabela 38. TOW no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	100
Tabela 39. Sistemas de Tratamento dos Efluentes da Produção de Cerveja Cadastrados no Banco de Dados até 1999	101
Tabela 40. Tratamento de Efluentes da Indústria de Cerveja nos Sistemas Cadastrados até 1999 (WS_i)... ..	101
Tabela 41. Dados para Obtenção do MCF_i Ponderado dos Setores Industriais.....	102
Tabela 42. FE por Setor Industrial	103
Tabela 43. Estimativa das Emissões Líquidas de CH_4 pelo Manejo de Efluentes Domésticos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	104
Tabela 44. Estimativa das Emissões Líquidas de CH_4 pelo Manejo de Efluentes Industriais no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	104
Tabela 45. Incertezas das Estimativas do Setor de Resíduos.....	108
Tabela 46. Incertezas das Estimativas do Setor de Incineração de Resíduos.....	109
Tabela 47. Incertezas das Estimativas do Subsetor de Efluentes Domésticos.....	110
Tabela 48. Incertezas das Estimativas do Setor de Efluentes Industriais.....	110
Tabela 49. Emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	117
Tabela 50. Estimativa das Emissões Líquidas de CH_4 pelo Tratamento de Resíduos e Efluentes de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo.....	119
Tabela 51. Emissões de GEE pelo Tratamento de Resíduos em 2005 no Estado de São Paulo.....	123
Tabela 52. Emissões de GEE pelo Tratamento de Resíduos no Brasil no Ano de 2008 no Estado de São Paulo	123
Tabela 53. Temperatura Média Anual Compensada das Estações do Estado de São Paulo.....	143
Tabela 54. Precipitação Total das Estações do Estado de São Paulo	144

1

INTRODUÇÃO



1 Introdução

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) insere-se no contexto estadual 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 do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes dos períodos de 1990 a 1994 e de 1990 a 2005. Esses inventários compuseram a 1ª e 2ª Comunicação Nacional, respectivamente.

A Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), Lei 13.798 de 9 de novembro de 2009, define em seu Artigo 4º, inciso IX, a Comunicação Estadual como documento oficial do governo sobre políticas e medidas abrangentes para a proteção do sistema climático global e instrumento legal que determina a elaboração e publicação de relatórios de referência, como segue.

Conforme o Artigo 28 da PEMC, o PROCLIMA, é responsável pela coordenação das ações estaduais sistemáticas de inventário e pelo acompanhamento do monitoramento de vulnerabilidades e implementação de medidas. Dentro desse contexto o PROCLIMA foi responsável pela coordenação da 1ª Comunicação Estadual (CETESB, 2011) e elaboração de alguns cadernos dessa mesma comunicação.

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

O Inventário de emissões de GEE do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes apresenta as emissões de GEE pela disposição e incineração de resíduos sólidos e pelo tratamento de efluentes domésticos e industriais.

Os métodos empregados nas estimativas foram os publicados pelo IPCC 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*. Esses métodos possibilitaram realizar as estimativas de GEE da disposição ou tratamento dos resíduos sólidos e efluentes líquidos. Para o emprego de dados *default*², além das publicações citadas acima, também foi consultado o *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Guidelines 2006*.

A maioria das informações empregadas nas estimativas são provenientes das pesquisas realizadas para a elaboração da Segunda Comunicação Nacional e de pesquisas na bibliografia disponível, contatos com as principais fontes de dados, como as do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), CETESB, entre outros.

Os gases estimados no período de 1990 a 2008 foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

2 *Default*: de acordo com o dicionário de língua portuguesa: padrão (HOUAISS, 2010).

2

RESÍDUOS SÓLIDOS



2 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos, tanto nos estados sólido quanto semi-sólido, são aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além dos lodos provenientes de sistemas de tratamento de água gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (ABNT, 2004a).

De acordo com a mesma norma os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos: aqueles que apresentam periculosidade, ou seja, devido às suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente;
- Resíduos classe II – Não perigosos:
 - Resíduos classe II A – não inertes: não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II B. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos classe II B – inertes: quaisquer resíduos amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus

constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Embora exista a classificação ABNT para os resíduos, por critérios metodológicos, foi adotado para este inventário, a classificação de resíduos sugerida nos métodos do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC)³.

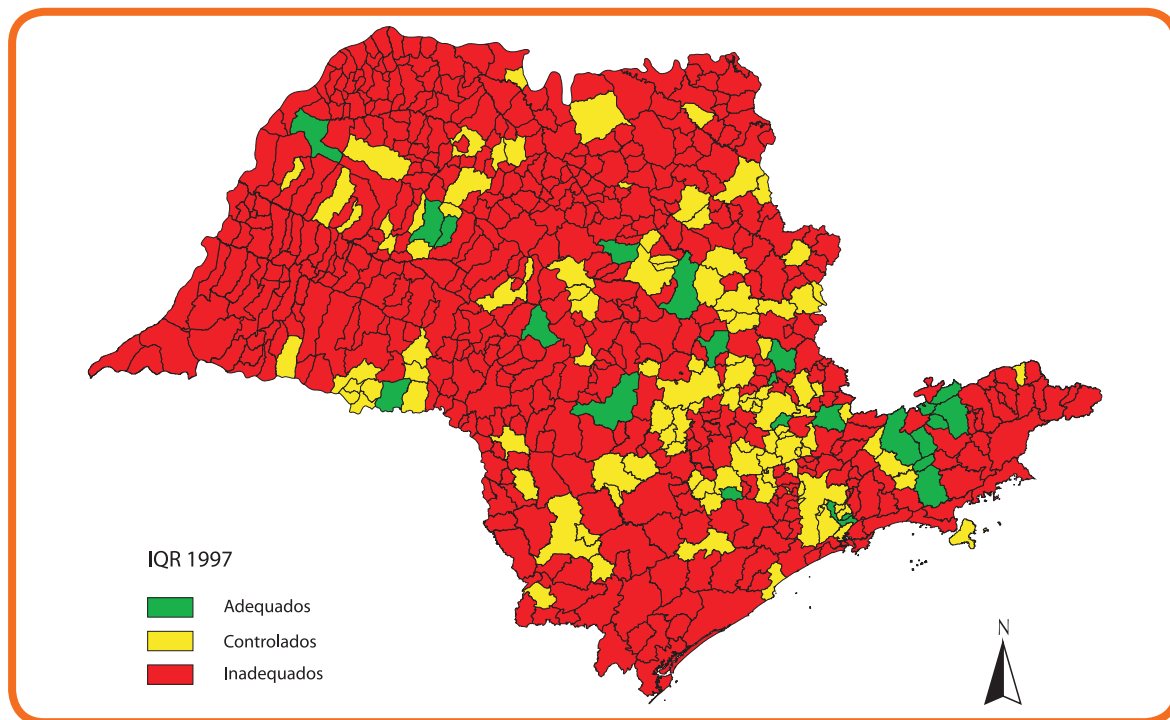
Quando os resíduos são encaminhados aos locais de disposição final inadequados, esses podem causar problemas envolvendo aspectos sanitários, ambientais e sociais, tais como a disseminação de doenças, a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais (CETESB, 2010).

Desde 1997, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) organiza os dados e avalia as condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares nos municípios paulistas, realizando o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. As condições dos aterros, de acordo com os dados coletados, expressam-se pelo Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR). Tal índice busca avaliar, por meio de um questionário, as condições de operação dos aterros de uma forma padronizada utilizando-se índices que variam entre 0 e 10, classificando os locais de disposição como inadequados (0 a 6,0), controlados (6,1 a 8,0) e adequados (8,1 a 10).

3 O método do IPCC sugere a divisão do resíduo em MSW (resíduo sólido municipal), SS (lodo de esgoto), HW (resíduo perigoso) e CW (resíduo de serviço de saúde). No Brasil, de acordo com a NBR 10.004/2004, a definição de perigoso inclui os resíduos industriais perigosos e os resíduos de serviços de saúde. Essa estimativa seguiu a divisão proposta pelo IPCC (2000a), ou seja, os resíduos, que pela ABNT, são considerados perigosos são divididos em: HW, que equivale a resíduos industriais perigosos e CW, que equivale a resíduos de serviços de saúde.

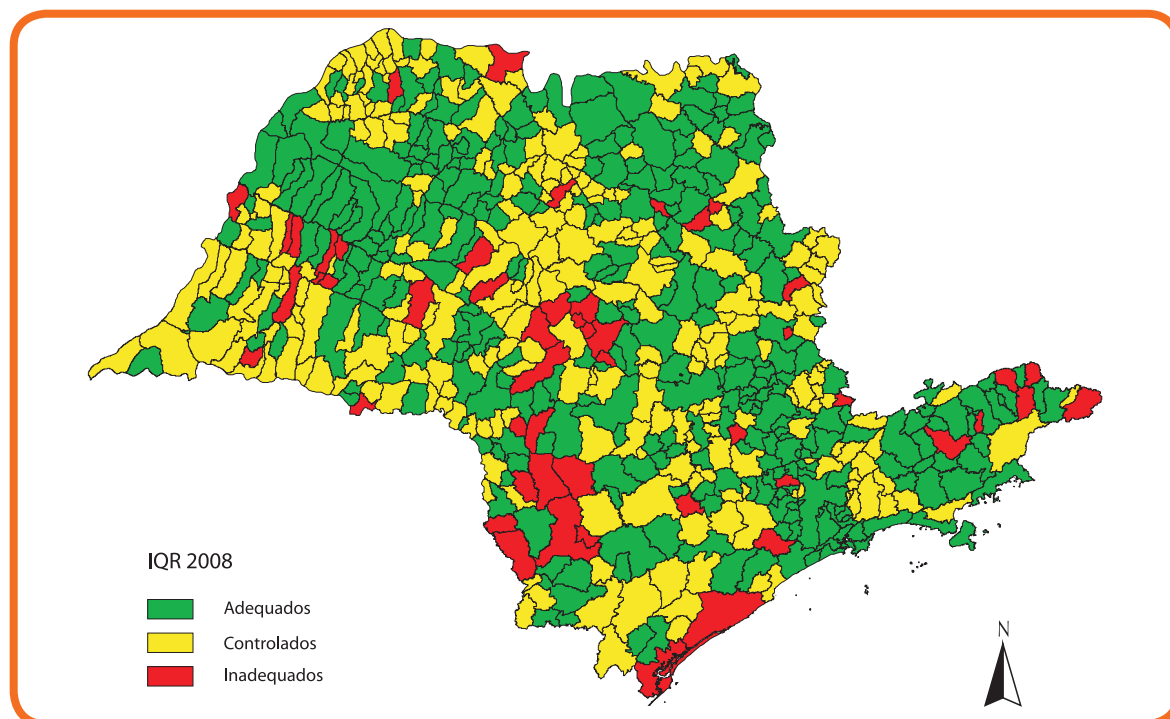
Segundo a CETESB (2009), desde a publicação do primeiro Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares em 1997, houve significativa melhora no índice de qualidade. A seguir, a Figura 1 e a Figura 2, representam a evolução mencionada.

Figura 1. Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) em 1997 no Estado de São Paulo



Fonte: CETESB (2009)

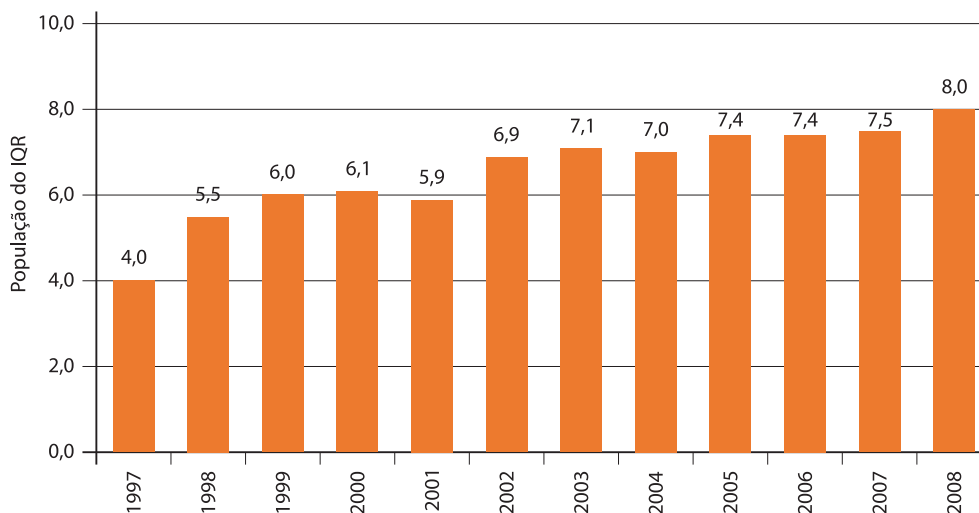
Figura 2. O IQR em 2008 no Estado de São Paulo



Fonte: CETESB (2009)

A seguir, o Gráfico 2 registra a evolução dos resultados de IQR médio estadual nos anos avaliados desde 1997 até 2008.

Gráfico 2. IQR Médio no Estado de São Paulo de 1997 a 2008



Fonte: CETESB (2004; 2009)

Deve ser considerado que, mesmo com a melhora no gerenciamento e disposição de resíduos, ainda assim, há indicadores que revelam a necessidade de ações como coleta seletiva, reciclagem, compostagem, entre outras, para reduzir a quantidade de resíduos disposta, o que, conseqüentemente, traduziria um melhor aproveitamento dos recursos naturais e uma redução dos custos de disposição.

A prática de reciclagem e coleta seletiva no Estado de São Paulo tem uma participação pequena nos serviços de limpeza urbana e coleta de lixo. Segundo dados

da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), dos 645 municípios de São Paulo, apenas 57 possuem serviços de reciclagem e 82 com coleta seletiva (IBGE, 2002).

De acordo com a PNSB (IBGE, 2002) no Estado de São Paulo, dos 1.022 distritos, 941 apresentavam serviços de limpeza urbana ou coleta de lixo. Desses 941 distritos, alguns utilizavam uma ou mais unidades de destinação. O Gráfico 3 apresenta a distribuição por tipo de destinação em porcentagem estimada a partir do total de vezes em que o tipo de destinação final foi utilizado.

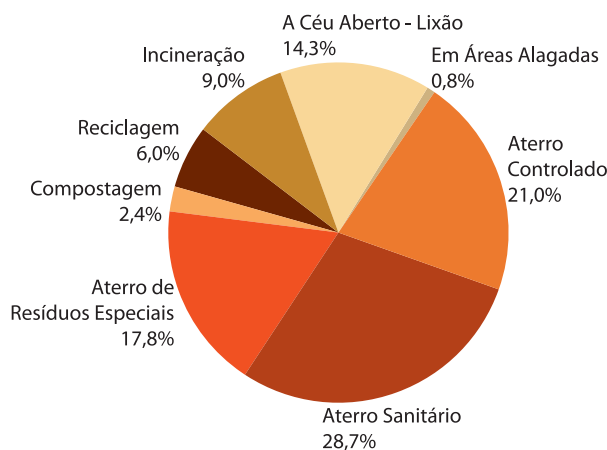
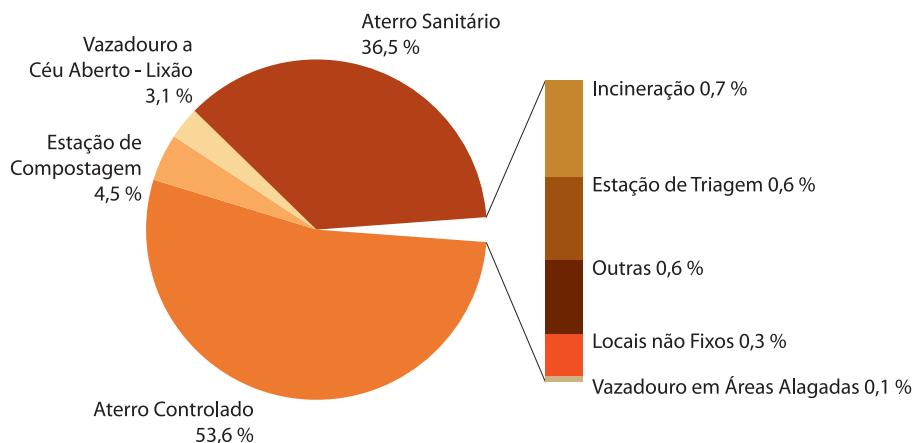


Gráfico 3. Distribuição Percentual das Unidades de Destinação Final dos Resíduos, por Distritos, em 2000, no Estado de São Paulo

Fonte: IBGE (2002)

Segundo dados da PNSB, em 2000 (IBGE, 2002) foram coletados 105.582 t.dia⁻¹ de lixo no Estado de São Paulo, destinado para as unidades finais como segue no Gráfico 4 abaixo.

Gráfico 4. Distribuição Percentual da Quantidade Diária de Lixo Coletado, por Unidade de Destino Final do Lixo Coletado em 2000, no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE (2002)

Embora, em São Paulo, exista uma porcentagem relativamente alta de destinação apropriada dos resíduos urbanos, ainda assim, há uma quantidade considerável, em massa, disposta inadequadamente, já que se trata de um estado com elevada população e conseqüentemente com grandes quantidades de resíduos.

Há políticas públicas e programas no Estado de São Paulo, que direcionam a melhoria da qualidade de disposição dos resíduos. Dentre as políticas públicas no estado, destaca-se a lei 12.300 de 2006 que instituiu a Política Estadual de

Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção, controle da poluição, à proteção, à recuperação da qualidade do meio ambiente e à promoção da saúde pública (SÃO PAULO, 2006). Em relação às ações, que também promovem essa melhoria junto aos municípios do estado, destacam-se o Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição (FECOP), o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e o Programa Município Verde Azul.

2.1 Estratégia de Elaboração das Estimativas de Emissões de CH₄ por Resíduos

O método utilizado para a estimativa das emissões provenientes dos aterros é o de decaimento de primeira ordem presente no Método Revisado de 1996 (IPCC, 1996) e do Guia de Boas Práticas (IPCC, 2000a). Os fatores de emissão (FE) foram obtidos no IPCC de 2006 (IPCC, 2006).

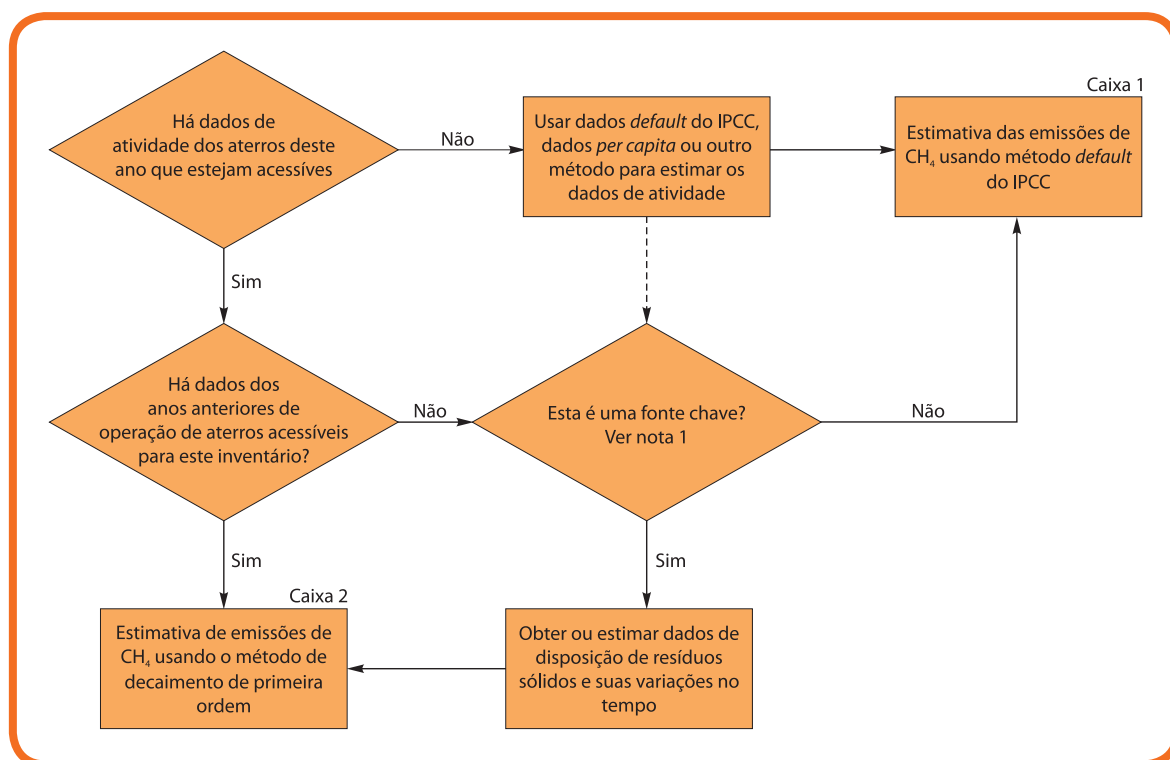
A definição da estratégia de elaboração de cada uma das estimativas deste inventário foi feita considerando as árvores de decisão⁴ sugeridas pelo IPCC (2000a). A seguir, essas árvores de decisão são reproduzidas juntamente com a estratégia adotada pela equipe executora deste inventário.

2.1.1 Estimativa das Emissões de CH₄ em Aterros de Resíduos Sólidos

Para estimar as emissões de CH₄, considerou-se a árvore de decisões descrita na Figura 3. A equipe responsável por este levantamento acrescentou a única linha tracejada desta árvore para descrever a estratégia adotada. Outras explicações podem ser encontradas logo mais adiante.

Observando-se a árvore de decisão, tem-se o seguinte resumo, que justifica a estratégia de elaboração da estimativa das emissões de CH₄ pela disposição de resíduos em aterros:

Figura 3. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH₄ em Aterros de Resíduos Sólidos



Nota 1: A fonte chave é priorizada no sistema do inventário porque esta estimativa tem significativa influência no inventário estadual de gases de efeito estufa em termos de níveis absolutos de emissões, tendência das emissões ou ambos.

Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

4 As árvores de decisões são recursos metodológicos empregados para definir, de acordo com o método do IPCC, o nível de rigor a ser empregado na estimativa.

Existe uma parte dos dados necessários à elaboração do inventário. Para os casos em que há dados, o diagrama indica estimar as emissões de CH₄ usando o Método de Decaimento de Primeira Ordem (FOD - *First Order Decay*) da Caixa 2. Para os casos em que não há dados, o diagrama indica que se devem usar os valores de referência (*default*) per capita do IPCC, ou outro método para estimar os dados de atividade.

Assim, foram usados os seguintes dados:

- Regime de chuvas dos anos de 1961 a 1990 (INMET, 2009a; 2009b) para definição dos *default* das variáveis *k* e *A* do IPCC em 2006;
- População urbana (Pop_{urb}) dos Censos nacionais de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 de todos os municípios do estado (IBGE, 2011a, 2011b) e;
- L_{0(t)} e DOC_(t) – Estimados a partir da composição do resíduo sólido urbano (RSU) de diferentes fontes para vários municípios em diferentes anos.

Na ausência de dados, foram usados os seguintes *default* do IPCC:

- DOC_f – *default* do IPCC;
- F – *default* do IPCC e;
- R – Dado recomendado para o Brasil, por Magalhães et al. (2010) e, quando disponíveis, dados de certificação dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Estado de São Paulo.

Além disso, foram empregadas informações estaduais para determinar os seguintes *default* do IPCC:

- *k* e *A* – *default* do IPCC (2000a) de acordo com os dados de regime de chuva (INMET, 2009a);
- MCF – *default* do IPCC, definido de acordo com a qualidade de operação do aterro, quando esta é conhecida e;
- OX – *default* do IPCC, os quais relacionou-se com os dados de operação do aterro (MCF).

Desconhecendo a proporção das emissões dos aterros frente às demais fontes estimadas no inventário estadual, definiu-se que esta é uma fonte chave e, conforme recomenda a árvore de decisões, levantou-se para os anos desde 1970, como descrito acima, os dados necessários para aplicação do método de decaimento (*Tier 2*)⁵.

A recomendação da árvore de decisões é obter dados ou estimar dados de disposição de resíduos sólidos e suas variações no tempo. Dessa forma, foram usados os seguintes dados, disponíveis na literatura.

- Taxa_{MSW1970} – Taxa de resíduos coletados per capita para o ano de 1970 da CETESB e;
- Taxa_{MSW2008} – Taxa de resíduos coletados per capita para o ano de 2008 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (ABRELPE, 2008).

Ao contrário do que recomenda a árvore de decisões do IPCC em caso de resposta negativa para a Pergunta 1, a estimativa das emissões de CH₄ não foi feita empregando-se o método *default* do IPCC (*Tier 1*)⁶. Em função de haver disponibilidade de alguns dados, optou-se por fazer a estimativa empregando o método de decaimento (*Tier 2*), presente na Caixa 2 do diagrama.

5 Conforme IPCC (2000a), páginas 5.5, 5.6 e 5.7, equação 5.1.

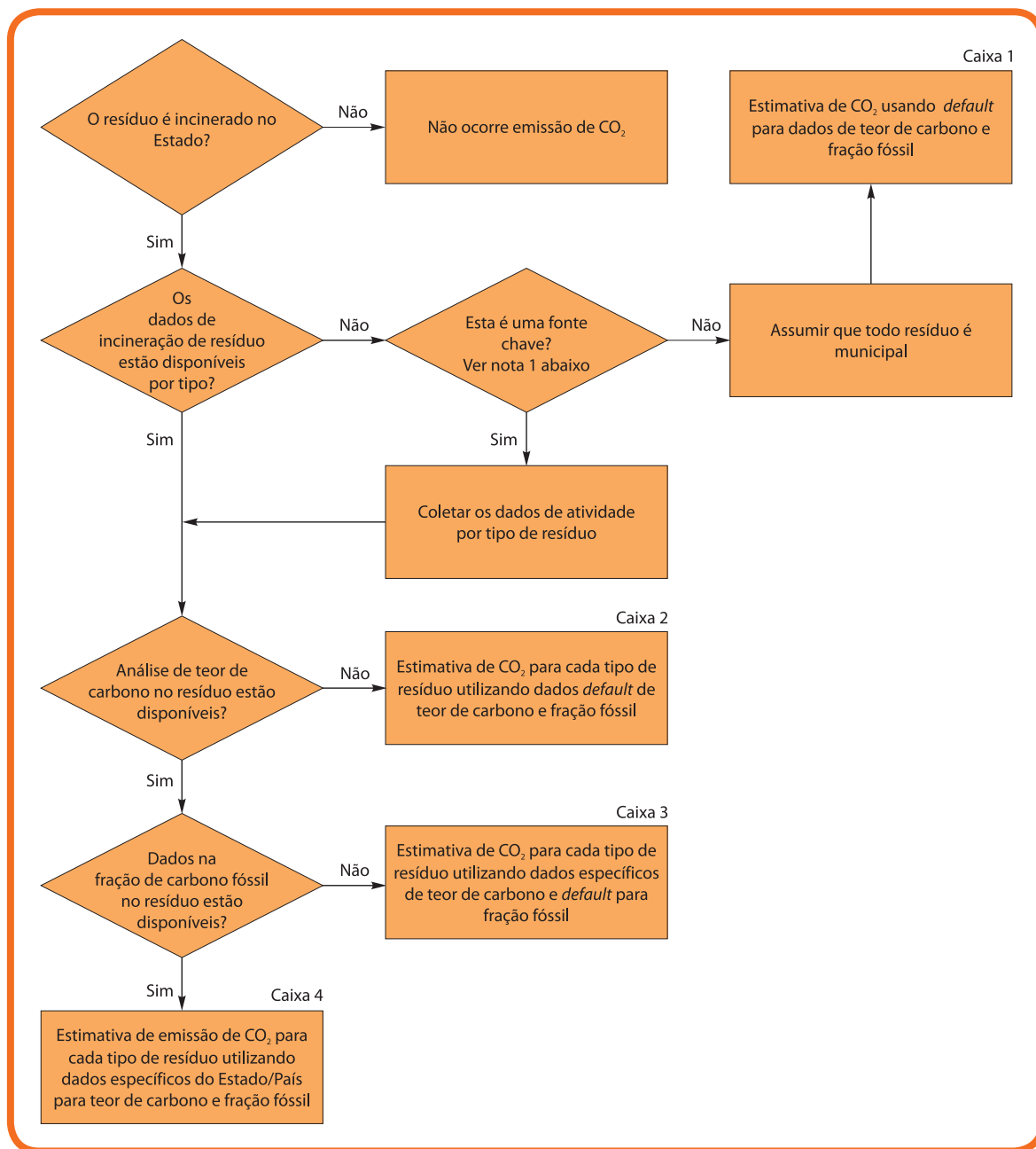
6 Conforme IPCC (2000a), página 5.7, equação: 5.3.

2.1.2 Estimativa das Emissões de CO₂ por Incineração de Resíduos Sólidos

Para estimar as emissões de dióxido de carbono (CO₂), considerou-se a árvore de decisões descrita na Figura 4. Outras explicações podem ser encontradas adiante.

Observando-se a árvore de decisão, tem-se o seguinte resumo, que justifica a estratégia de elaboração da estimativa das emissões de CO₂ por incineração de resíduos:

Figura 4. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CO₂ por Incineração de Resíduos Sólidos



Nota 1: A fonte chave é priorizada no sistema do inventário porque esta estimativa tem significativa influência no inventário estadual de gases de efeito estufa em termos de níveis absolutos de emissões, tendência das emissões ou ambos.

Fonte: IPCC (2000a)

Existe resíduo incinerado no Estado de São Paulo, com dados de quantidades disponíveis para os resíduos divididos em MSW (*Municipal Solid Waste*), SS (*Sewage Sludge*), CW (*Clinical Wastes*) e HW (*Hazardous Wastes*).

Os dados de teor de carbono estão disponíveis para MSW. Para SS, CW e HW, foram empregados *default*, sendo realizada a estimativa conforme descreve a Caixa 2 da árvore de decisões.

2.1.3 Estimativa das Emissões de N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

Para estimar as emissões de óxido nitroso (N₂O), considerou-se a árvore de decisões

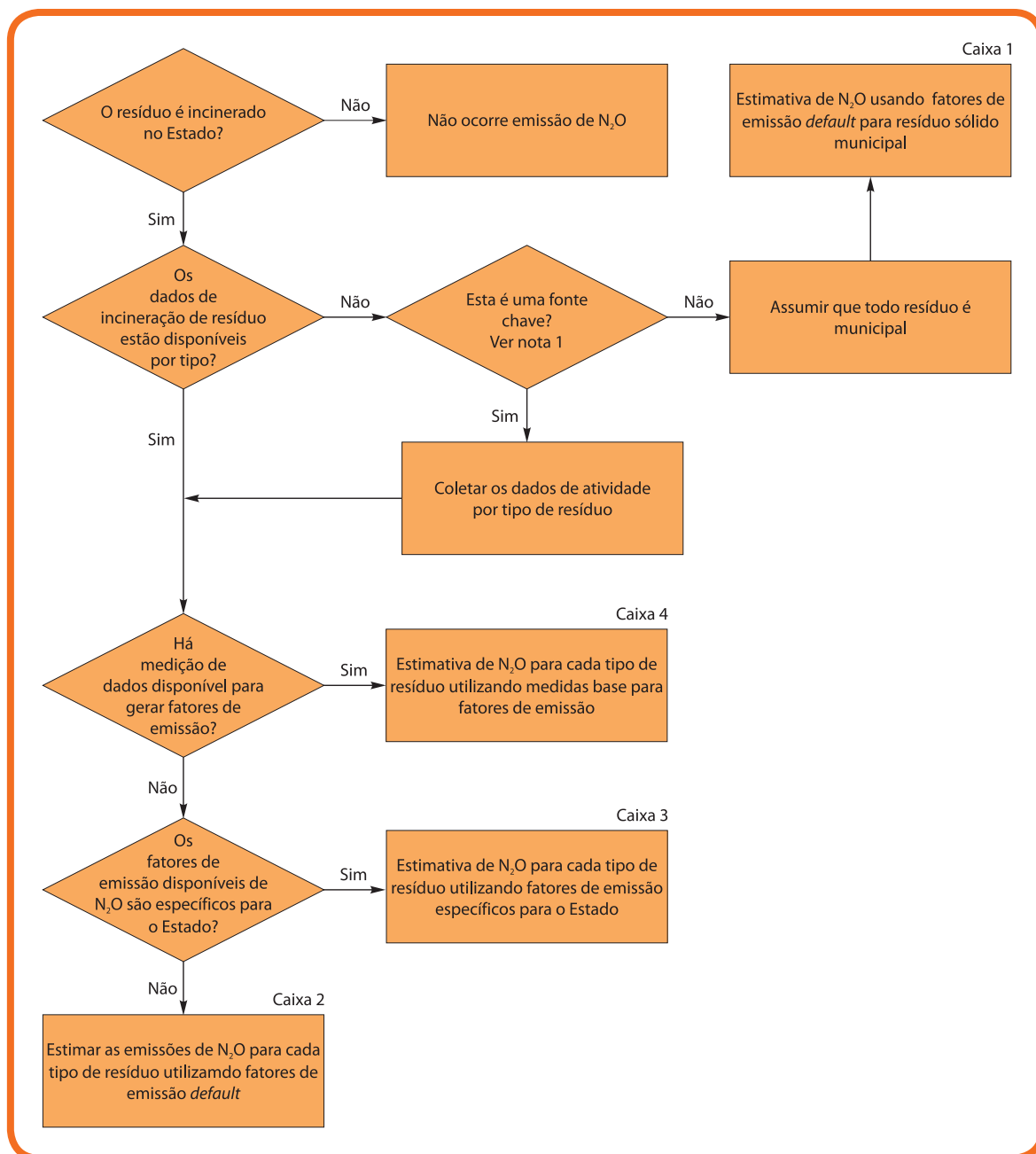
descrita na Figura 5. Outras explicações podem ser encontradas logo mais adiante.

Da árvore de decisão a seguir, tem-se o seguinte resumo, que justifica a estratégia de elaboração da estimativa das emissões de N₂O por incineração de resíduos:

Existem resíduos incinerados no estado e as quantidades estão disponíveis por tipo. No entanto, não há fatores de emissão específicos de N₂O disponíveis.

Conforme recomendação da árvore de decisões, estimou-se as emissões de N₂O para cada tipo de resíduo utilizando fatores de emissão *default*⁷ como descreve a Caixa 2.

7 Foram empregados os fatores de emissão de N₂O por incineração de resíduos *default* do IPCC (2006).

Figura 5. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

Nota 1: A fonte chave é priorizada no sistema do inventário porque esta estimativa tem significativa influência no inventário estadual de gases de efeito estufa em termos de níveis absolutos de emissões, tendência das emissões ou ambos

Fonte: IPCC (2000a)

2.2 Método de Estimativa de Emissões de GEE pelo Gerenciamento de Resíduos Sólidos

A exposição dos métodos divide-se em Estimativa das Emissões de CH₄ em Aterros, Estimativa das Emissões de CO₂ por Incineração de Resíduos Sólidos, Estimativa das Emissões de N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos, nos itens 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3, a seguir.

2.2.1 Estimativa das Emissões de CH₄ em Aterros

O método utilizado para a estimativa das emissões provenientes dos aterros é o de Decaimento de Primeira Ordem FOD – *First Order Decay* (IPCC, 2000a), e caracteriza-se por considerar que a emissão de CH₄ persiste ao longo de uma série de anos, após a disposição do resíduo (IPCC, 2000a). Para a sua aplicação, são necessários dados relativos ao clima (médias anuais de temperatura, chuva e evapotranspiração), à quantidade de resíduo aterrada, à composição do resíduo, à qualidade de operação do aterro e às quantidades de CH₄ recuperadas e oxidadas.

De acordo com o IPCC (2000a), a equação para a estimativa de emissões de CH₄, do método de decaimento de primeira ordem (*Tier 2*) é descrito na Equação 1.

Equação 1. Emissão de CH₄ pelo Método de Decaimento de Primeira Ordem – *Tier 2*

$$Q(t) = \sum_i \{ [A \cdot k \cdot MSW_T(t) \cdot MSW_F(t) \cdot L_0(t) \cdot e^{-k \cdot (T-t)}] - R \} \cdot \{ 1 - OX \}$$

onde:

Q(t)	= Quantidade de CH ₄ gerada ao ano	[Gg _{CH4} ·ano ⁻¹]
A	= Fator de normalização para a soma	[ano]
k	= Taxa constante de geração de CH ₄	[ano ⁻¹]
MSW _T (t)	= Quantidade total de resíduo sólido urbano ⁸ gerado no ano x	[Gg _{MSW} ·ano ⁻¹]
MSW _F (t)	= Fração de MSW destinado ao aterro no ano x	[adimensional]
L ₀ (t)	= Potencial de geração de CH ₄	[Gg _{CH4} ·Gg _{MSW} ⁻¹]
T	= Ano do inventário	[ano]
t	= Anos para os quais os dados foram considerados	[ano]
R	= Recuperação do CH ₄	[Gg _{CH4} ·ano ⁻¹]
OX	= Fator de oxidação	[adimensional]
i	= Cada Município do Estado	[adimensional]

Sendo que A é definido pela Equação 2:

Equação 2. Fator de Normalização para a Soma

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k}$$

8 O *Municipal Solid Waste* (MSW) equivale, na literatura nacional, ao Resíduo Sólido Urbano (RSU). Não estão incluídas outras classes de resíduos como os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) ou os Resíduos de Serviços de Saúde. (RSS).

$L_0(t)$ é definido pela Equação 3:

Equação 3. Potencial de Geração de CH_4

$$L_0(t) = MCF(t) \cdot DOC(t) \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

onde:

MCF(t)	= Fator de correção do CH_4 referente ao gerenciamento dos locais de disposição	[adimensional]
DOC(t)	= Carbono orgânico degradável	$[g_C \cdot g_{MSW}^{-1}]$
DOC _f	= Fração do DOC que decompõe	[adimensional]
F	= Fração de CH_4 no biogás ⁹	[adimensional]
$16/12^{-1}$	= Razão de conversão de carbono (C) a metano (CH_4)	$[g_{CH_4} \cdot g_C^{-1}]$

$DOC(t)$ é definido pela Equação 4:

Equação 4. Carbono Orgânico Degradável

$$DOC(t) = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,30 \cdot D)$$

onde:

O conteúdo de carbono total *default* é:

0,4	= devido à fração de papéis e têxteis do MSW	$[g_C \cdot g_{MSW_{\text{papel}}}^{-1}]$
0,17	= devido à fração de resíduos provenientes de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares do MSW	$[g_C \cdot g_{MSW_{\text{outros}}}^{-1}]$
0,15	= devido à fração de resíduos alimentares do MSW	$[g_C \cdot g_{MSW_{\text{alimento}}}^{-1}]$
0,3	= devido à fração de madeira e palha do MSW	$[g_C \cdot g_{MSW_{\text{madeira}}}^{-1}]$

e

A	= Fração do resíduo correspondente a papéis e têxteis	$[g_{MSW_{\text{papel}}} \cdot g_{MSW}^{-1}]$
B	= Fração do resíduo proveniente de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares	$[g_{MSW_{\text{outros}}} \cdot g_{MSW}^{-1}]$
C	= Fração do resíduo correspondente a resíduos alimentares	$[g_{MSW_{\text{alimento}}} \cdot g_{MSW}^{-1}]$
D	= Fração do resíduo correspondente a madeira e palha	$[g_{MSW_{\text{madeira}}} \cdot g_{MSW}^{-1}]$

2.2.2 Estimativa das Emissões de CO_2 por Incineração de Resíduos Sólidos

As emissões de CO_2 pela incineração foram estimadas pela Equação 5.

Equação 5. Estimativa de Emissão de CO_2 por Incineração de Resíduos Sólidos

$$Q_{CO_2} = \sum_i \left(IW_i \cdot CCW_i \cdot FCF_i \cdot Ef_i \cdot \frac{44}{12} \right)$$

9 O IPCC disponibiliza um *default* de 50% de CH_4 no biogás.

onde:

Q_{CO_2}	= Quantidade de dióxido de carbono gerada ao ano	[Gg _{CO2} .ano ⁻¹]
i	= MSW: Resíduo sólido urbano	
	= HW: Resíduo perigoso	
	= CW: Resíduo de serviços de saúde	
	= SS: Lodo de esgoto	
IW_i	= Massa de resíduo incinerado por tipo i	[Gg _{resíduo} .ano ⁻¹]
CCW_i	= Carbono contido no resíduo tipo i	[g _C .g _{resíduo} ⁻¹]
FCF_i	= Fração de carbono fóssil no resíduo tipo i	[adimensional]
Ef_i	= Eficiência de queima dos incineradores de resíduo tipo i	[adimensional]
$44/12^{-1}$	= Conversão de C para CO ₂	[g _{CO2} .g _C ⁻¹]

2.2.3 Estimativa das Emissões de N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

As emissões de N₂O pela incineração foram estimadas pela Equação 6.

Equação 6. Estimativa de Emissão de N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

$$Q_{N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

onde:

Q_{N_2O}	= Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano	[Gg _{N2O} .ano ⁻¹]
i	= MSW: Resíduo sólido urbano	
	= HW: Resíduo perigoso	
	= CW: Resíduo de serviços de saúde	
	= SS: Lodo de esgoto	
IW_i	= Massa de resíduo incinerado por tipo i	[Gg _{resíduo} .ano ⁻¹]
FE_i	= Fator de emissão para o tipo i de resíduo	[kg _{N2O} .Gg _{resíduo} ⁻¹]
10^{-6}	= Fator de conversão de Gg para kg	[10 ⁻⁶ Gg.kg ⁻¹]

2.3 Dados

Os dados a seguir foram reunidos para a aplicação do método IPCC (1996) e IPCC (2000a). Foram obtidos da literatura estadual e para os casos em que não existem, foram obtidos dentre os dados *default* fornecidos pelo IPCC. Estão divididos pelos temas a que se referem:

- Emissões de CH₄ em aterros;
- Emissões de CO₂ e N₂O por incineração de resíduos sólidos.

2.3.1 Emissão de CH₄ em Aterros

Em função do método adotado, foram reunidos dados estaduais e na ausência empregou-se *default*. A seguir, esses dados são apresentados:

Taxa Constante de Geração de CH₄ (k) e Fator de Normalização para a Soma (A)

A taxa constante de geração de CH₄ (k) definida no método FOD está relacionada ao tempo necessário para que a parcela de Carbono Orgânico Degradável (DOC) do resíduo depositado possa decair para metade de sua massa inicial.

O *k* aplicável aos locais de disposição de resíduos sólidos é determinado por uma série de fatores, os quais se encontram associados ao tipo do resíduo e às condições da região onde se localiza o aterro, como por exemplo: a composição do resíduo, a temperatura média anual, a precipitação média anual e o potencial de evapotranspiração (IPCC, 2000a).

A escolha do *default* de *k* demanda o levantamento das seguintes informações: temperatura média anual (MAT), precipitação média anual (MAP) e potencial de evapotranspiração (PET). Nas estimativas aplicou-se um *k* para cada município.

Temperatura Média Anual (MAT)

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009b), a temperatura média anual MAT é a média das tempe-

raturas médias mensais, que por sua vez, representam o registro da somatória das temperaturas médias compensadas diárias, dividido pelo número de dias do mês.

Na Figura 6, são apresentadas informações de MAT no país para o período de 1961 a 1990. No Anexo C são apresentados dados de estações meteorológicas no Estado de São Paulo para o período de 1961 a 1990. Esses dados representam a melhor informação encontrada e, por essa razão, foram adotados para a elaboração da estimativa de emissões de GEE do Setor de Resíduos.

Observa-se na Figura 6 que a maior parte do Estado de São Paulo apresenta MAT superior a 20°C, o que significa clima tropical, com exceção de alguns municípios na região sudoeste e nordeste do estado.

Para a elaboração das estimativas, em relação aos dados de temperatura, empregou-se os dados das estações meteorológicas do INMET para os municípios onde estas se localizavam, conforme Anexo C. Por não haver essa informação para todos os municípios, realizou-se algumas associações para defini-las em todo o estado.

As associações tiveram como ponto de partida os municípios onde havia estações meteorológicas do INMET, porém, tais associações, somente foram realizadas para municípios cuja população foi considerada representativa.

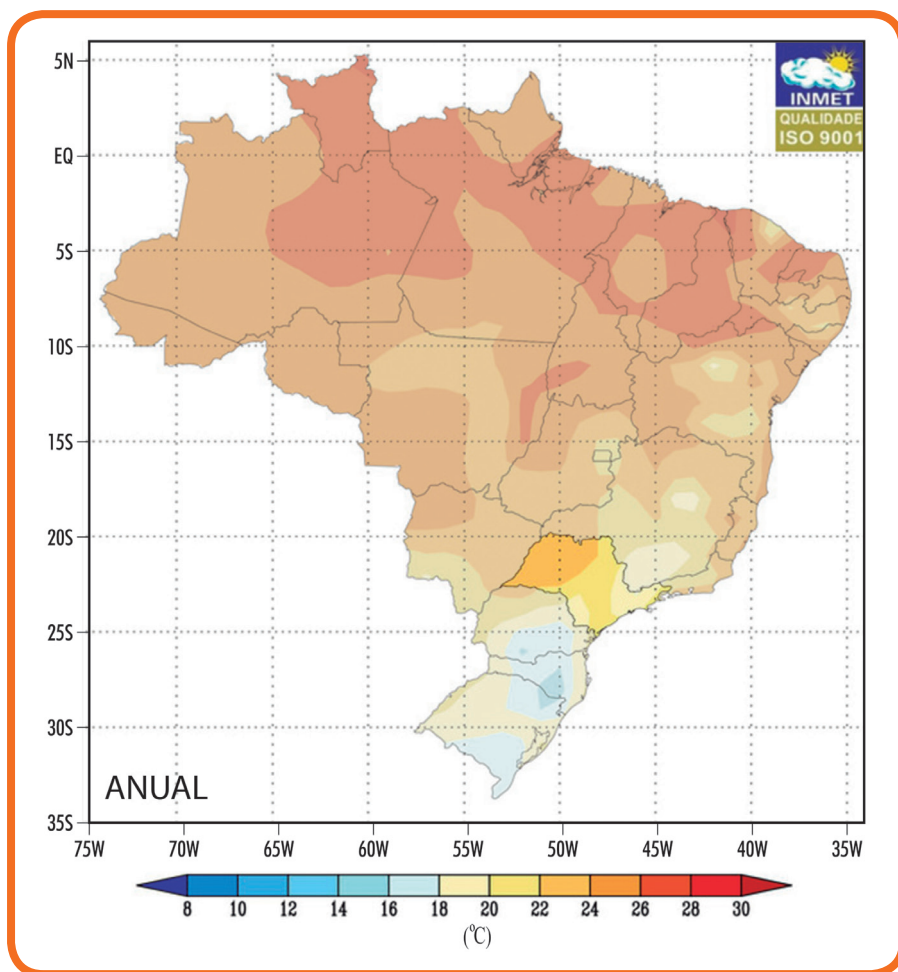
Foi empregado o mapa da Figura 6 para estimar as regiões que, possivelmente,

apresentam temperatura inferior a 20°C. Para estimar quais são os municípios dentro dessas regiões foi realizada uma análise visual de um mapa mais detalhado.

Após realizar essa análise considerou necessário aplicar um *k* diferente da média do estado para os municípios que estão na região sudoeste e nordeste do estado cuja população no Censo de 2010

apresentou população urbana superior a 500 mil habitantes. De acordo com o observado na Tabela 4, os municípios foram: Guarulhos, Osasco, Santo André e São Bernardo do Campo. Os outros municípios do estado, ou seja, onde não havia dados das estações meteorológicas e os citados anteriormente, empregou-se uma média estadual superior a 20°C.

Figura 6. Temperatura Média Compensada de 1961 a 1990 no Estado de São Paulo



Fonte: INMET (2009a)

Tabela 4. Temperatura dos Municípios com População Urbana Superior a 500 mil Habitantes e sem Estação do INMET

Município com População Urbana Superior a 500 mil e Sem Estação do INMET	Temperatura	Estação Meteorológica do INMET
Guarulhos	inferior a 20°C	São Paulo (Mirante de Santana)
Osasco	inferior a 20°C	São Paulo (Mirante de Santana)
Santo André	inferior a 20°C	São Paulo (Mirante de Santana)
São Bernardo do Campo	inferior a 20°C	São Paulo (Mirante de Santana)

Fonte: INMET (2011)

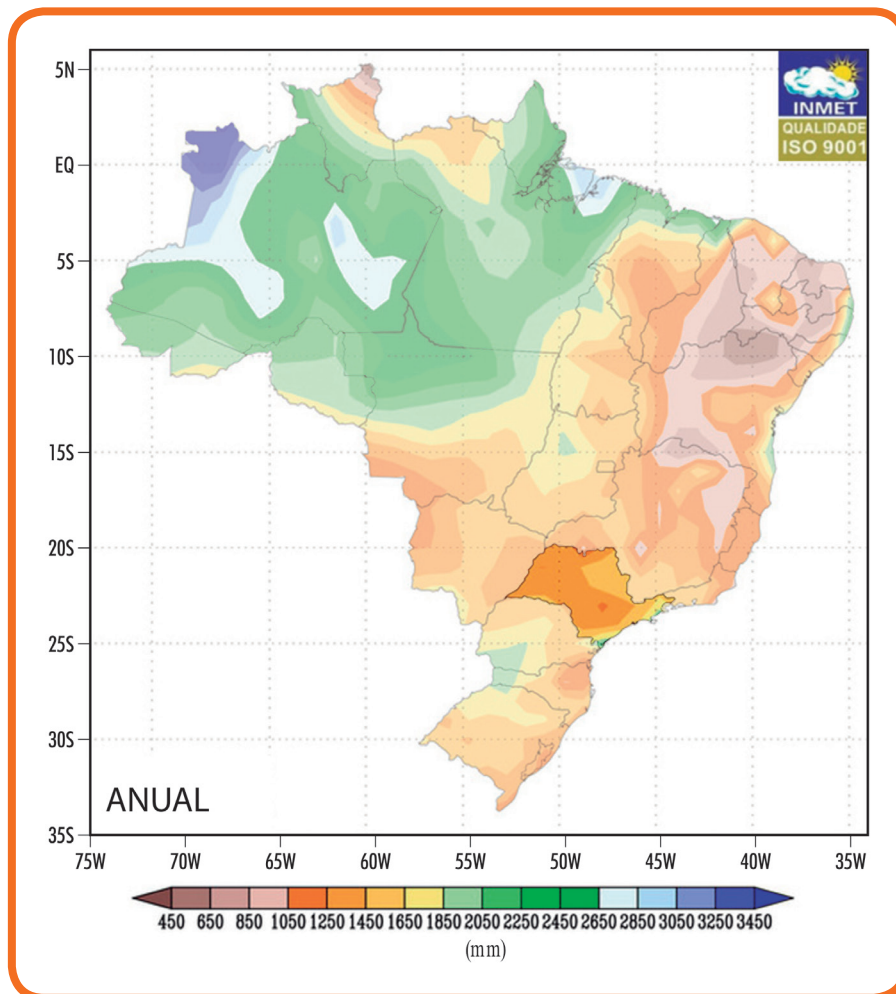
Precipitação Média Anual (MAP)

A MAP é a razão da soma da precipitação anual ocorrida no período de 1961 a 1990 pelo número de anos.

O regime de chuvas das diferentes zonas do Estado de São Paulo (INMET, 2009a;

2009b) é representado na Figura 7 com dados de 1961 a 1990. Os municípios discriminados na planilha do INMET tiveram registrados os regimes de chuvas e encontram-se no Anexo D deste documento.

Figura 7. Intensidade Pluviométrica de 1961 a 1990 no Estado de São Paulo



Fonte: INMET (2009a)

A Escolha do k

Não foram identificados dados estaduais de k ou A . Diante disso, utilizou-se a recomendação do IPCC (2006)¹⁰, reproduzida parcialmente na Tabela 5, que fornece os *default* de k , para a massa misturada de MSW nos climas boreal ou temperado e tropical.

No Estado de São Paulo verifica-se que a maior parte dos municípios apresenta MAT superior a 20°C e que a MAP é superior a 1.000mm.ano⁻¹ em todo o estado. Para a escolha do k empregou-se as diretrizes apresentadas na Tabela 5.

10 Conforme se observa no IPCC Guidelines, Chapter 3 - Solid Waste Disposal, Tab 3.3, pag 3.17.

Tabela 5. Dados *Default* do IPCC de k para o MSW Misturado

Clima Boreal e Temperado				Clima Tropical			
MAT < 20° C				MAT ≥ 20° C			
Seco		Úmido e Chuvoso		Seco		Úmido e Chuvoso	
MAP/PET < 1		MAP/PET > 1		MAP < 1000 mm		MAP ≥ 1000 mm	
Default	Faixa	Default	Faixa	Default	Faixa	Default	Faixa
0,05	0,05 - 0,06	0,09	0,08 - 0,1	0,065	0,05 - 0,08	0,17	0,15 - 0,2

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

Quantidade Total de Resíduo Gerado ($MSW_T(t)$) e Fração de Resíduos Destinada ao Aterro ($MSW_F(t)$)

No Estado de São Paulo, há poucos dados sobre $MSW_T(t)$ e $MSW_F(t)$. O produto desses dados significa a quantidade de MSW depositada em aterros. Observando-se os dados disponíveis, conclui-se que essa informação pode ser estimada, sendo numericamente igual ao produto de dados mais acessíveis como $TaxaMSW(t)$ e $Pop_{urb}(t)$. Assim, o produto ($MSW_T(t) \cdot MSW_F(t)$) pode ser reescrito de acordo com a Equação 7.

Equação 7. Quantidade de Resíduo Aterrado

$$MSW_T(t) \cdot MSW_F(t) = TaxaMSW(t) \cdot Pop_{urb}(t)$$

onde:

$TaxaMSW(t)$	= Taxa de resíduo coletado per capita	$[kg_{MSW} \cdot (hab.dia)^{-1}]$ ou $[Gg_{MSW} \cdot (1000hab.ano)^{-1}]$
$Pop_{urb}(t)$	= População urbana	$[hab]$ ou $[1000hab]$

Período de Tempo Usado na Estimativa de Emissões por Aterramento

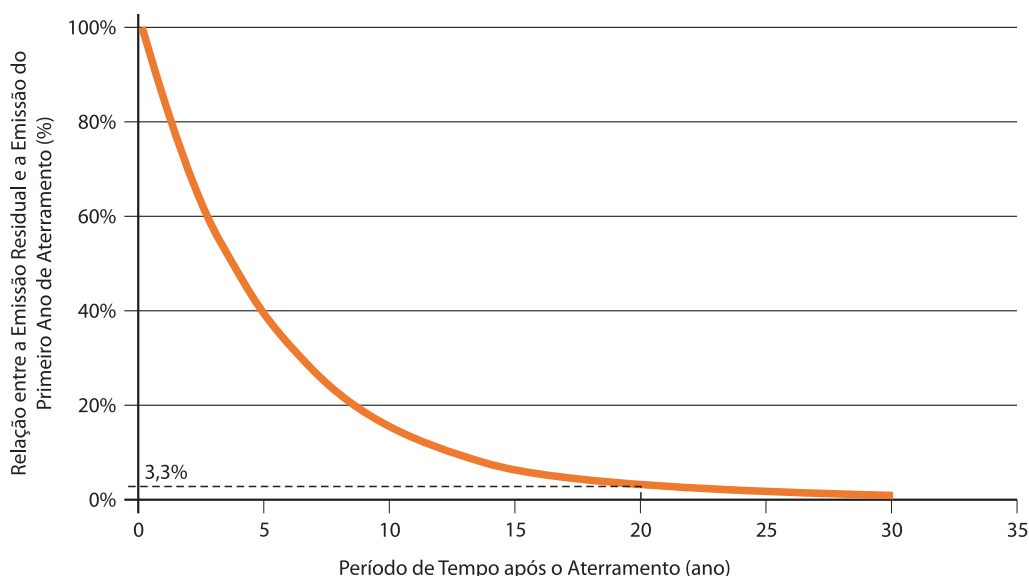
Analisando o método de FOD, utilizado neste inventário, observa-se que o resíduo tem uma cinética de emissões no tempo e que por essa razão, no ano de 1990 existem emissões de resíduos gerados em um período anterior ao ano em que se deseja estimar as emissões. Dessa forma, são necessários dados anteriores ao ano de 1990.

Para determinar um período de tempo inicial para o levantamento de informações simulou-se a curva teórica dada pelo FOD considerando as variáveis climáticas do Estado de São Paulo. Constatou-se com isso que as emissões dos resíduos sólidos aterrados há 20 anos correspondem a 3,3% das emissões geradas no primeiro

ano de aterramento, como apresentado no Gráfico 5.

Outro ponto importante de se analisar para determinar o ano inicial dessa estimativa é a existência de dados. O Estado de São Paulo carece de informações relativas à gestão e a composição de seus resíduos e, desta forma, deve-se também considerar um período em que os dados estejam disponíveis e sejam representativos.

Optou-se por considerar como período inicial para coleta de dados, o ano de 1970, pois, para anos anteriores, a simulação mostrou que as emissões são pouco representativas e que, a partir desse ano, foi possível coletar dados mais confiáveis.

Gráfico 5. Percentual entre a Emissão do Vigésimo Ano e a Emissão do Primeiro Ano de Aterramento

População Urbana ($Pop_{urb}(t)$) e População Total ($Pop_{tot}(t)$)

Considerando que esse levantamento reúne dados desde 1970 até 2010, a estimativa da $Pop_{urb}(t)$ e $Pop_{tot}(t)$ inclui dados anuais de todo o período. Para realizar as estimativas anuais de população foram empregados dados dos Censos do IBGE de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2011a, 2011b), como observado na Tabela 6. Para as estimativas de emissões de GEE provenientes de resíduos sólidos, foram empregados dados de Pop_{urb} , por uma recomendação do IPCC (2000a). Já para as estimativas de emissões de GEE prove-

nientes dos efluentes domésticos, foram empregados dados de Pop_{tot} , em decorrência da utilização da base de dados, PNSB 2000 (IBGE, 2002), cuja abrangência se estende às regiões urbana e rural do estado.

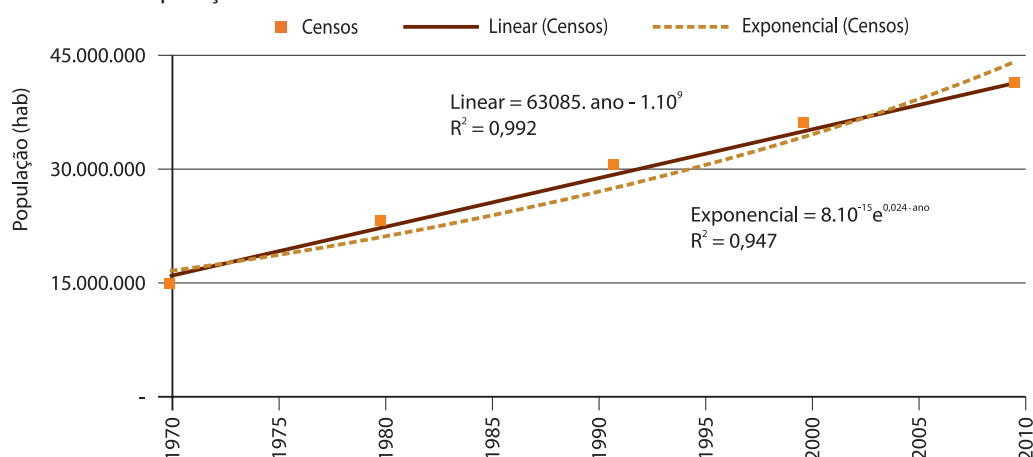
A estimativa populacional para os anos intermediários aos Censos pode ser realizada seguindo diferentes métodos a fim de encontrar aquela mais adequada à utilização neste inventário. Analisou-se o comportamento das curvas de crescimento populacional do Estado de São Paulo conforme apresentado no Gráfico 6.

Tabela 6. População Urbana dos anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 no Estado de São Paulo

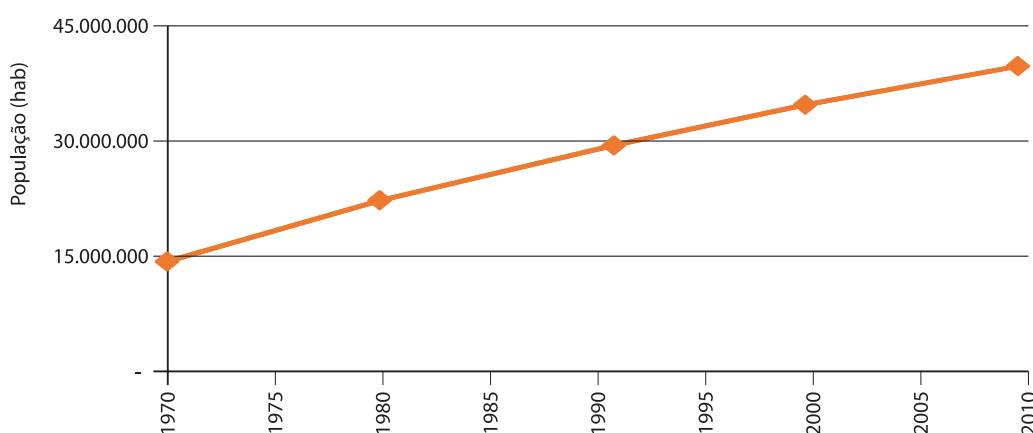
População	1970	1980	1991	2000	2010
	(hab.ano ⁻¹)				
População urbana ¹¹	14.277.802	22.196.896	29.314.861	34.586.021	39.585.251
População total	17.770.975	25.042.074	31.588.925	37.035.456	41.262.199

Fonte: IBGE (2011a, 2011b)

11 Os municípios que foram criados em anos diferentes aos dos Censos só foram incluídos nesse levantamento, a partir da publicação do próximo levantamento populacional, não sendo considerada a data da sua criação.

Gráfico 6. População Urbana de 1970 a 2010 no Estado de São Paulo

Observa-se que em longo prazo o comportamento populacional que melhor se ajusta aos pontos coletados é o linear em detrimento do modelo que emprega a taxa de crescimento geométrico da população. Dessa forma, optou-se pelo crescimento aritmético populacional considerando a taxa de crescimento específica para cada período entre os pontos coletados como apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7. Modelo Utilizado para Estimar a População Urbana e População Total de 1970 a 2010 no Estado de São Paulo

A população dos anos intermediários aos dos Censos, foi estimada com base em um crescimento médio aritmético anual, conforme a Equação 8.

Equação 8. População

$$Pop_{(t)} = Pop_{(t_0)} + (Pop_{(t_{final})} - Pop_{(t_0)}) \cdot \left(\frac{t - t_0}{t_{final} - t_0} \right)$$

onde:

Pop _(t)	= População do ano t	[habitantes]
Pop _(t₀)	= População do ano inicial do período considerado	[habitantes]
Pop _(t_{final})	= População do ano final do período considerado	[habitantes]

t	= Ano considerado	[ano]
t ₀	= Ano inicial do período considerado	[ano]
t _{final}	= Ano final do período considerado	[ano]

Taxa de Geração de Resíduo Sólido Urbano (TaxaMSW(t))

A TaxaMSW(t) foi estimada a partir de dados adaptados da CETESB e da ABRELPE. A primeira referência foi empregada para estimar as quantidades destinadas aos aterros em 1970. A segunda referência empregada para estimar as quantidades aterradas no ano de 2008.

A CETESB considera os dados da Tabela 7, com estimativas de quantidades *per capita* de resíduos destinadas aos aterros para a sua prática de controle ambiental no Estado de São Paulo. Essa tabela não leva em conta fatores como o nível de renda, as práticas de reciclagem ou outras que possam induzir a variação das quantidades geradas por habitante e que, sabidamente, variam de residência para residência, de bairro para bairro, de cidade para cidade e mesmo entre os dias da semana ou os meses do ano. Todas essas variações não são levadas em conta neste modelo.

Atualmente existem informações mais precisas, como é o caso do trabalho publicado pela ABRELPE (2008). Assim, optou-se por continuar empregando a planilha da CETESB, todavia, para estimar apenas a TaxaMSW₍₁₉₇₀₎ pois não foi encontrada

nenhuma publicação referente à geração nesse período. A TaxaMSW₍₂₀₀₈₎ foi obtida da ABRELPE e as demais TaxaMSW(t) intermediárias foram obtidas a partir da interpolação linear entre essas duas.

A transição da TaxaMSW₍₁₉₇₀₎ para a TaxaMSW₍₂₀₀₈₎ ocorreu, segundo o modelo adotado para esse inventário, linearmente e de acordo com a Equação 11, apresentada na página 62 deste documento.

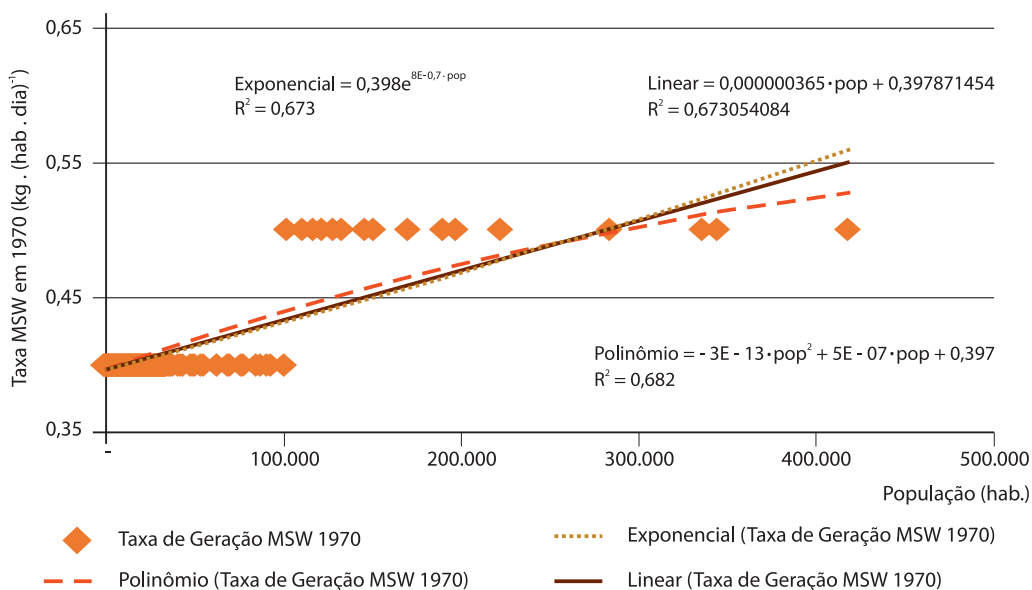
Elaborando estimativas de geração de resíduos a partir da Tabela 7, observa-se que a sua aplicação para determinados tamanhos de população pode gerar descontinuidade. É o caso, por exemplo, de um município com Pop_{urb} igual a 500.000, ao passar para 500.001 habitantes, subitamente, a estimativa de geração que era de 0,5 passa para 0,6 kg_{MSW}·(hab.dia)⁻¹, um aumento de 20% no período de 1 ano. Procurando interpretar melhor esta informação, definiu-se uma função linear equivalente, estimando, com o mesmo princípio e limitações, a prática da CETESB. Portanto, a partir do dado da CETESB apresentado na tabela acima, optou-se por estimar a variação linear da TaxaMSW₁₉₇₀ em função do tamanho da população urbana do município. Como se observa no Gráfico 8, foi simulada a distribuição da população urbana do Estado de São Paulo e, a partir dela, estimaram-se regressões linear, exponencial e polinomial desse comportamento. Finalmente, pela sua simplicidade e funcionalidade, optou-se pela regressão linear.

Tabela 7. TaxaMSW₍₁₉₇₀₎

Pop _{urb(1970)} [habitantes]	TaxaMSW ₍₁₉₇₀₎ [kg _{MSW} ·(hab.dia) ⁻¹]
até 100.000	0,4
de 100.001 a 500.000	0,5
de 500.001 a 1.000.000	0,6
mais de 1.000.000	0,7

Fonte: CETESB (1992)

Gráfico 8. Funções¹² de Estimativa de Taxa MSW em 1970 para o Estado de São Paulo



Dessa forma, obteve-se a função de estimativa da TaxaMSW₍₁₉₇₀₎ em função da população urbana do município para o ano de 1970, adaptando-se a tabela da CETESB para uma forma linear a seguir:

Equação 9. TaxaMSW₍₁₉₇₀₎

$$Taxa_{MSW_{1970}} = 3,65 \cdot 10^{-7} \cdot Pop_{urb_{1970}} + 0,398$$

onde:

TaxaMSW ₍₁₉₇₀₎	= Taxa de geração de MSW do ano de 1970	[kg _{MSW} .(hab.dia) ⁻¹]
3,65.10 ⁻⁷	= Coeficiente angular	[kg _{MSW} .(1.000.hab ² .dia) ⁻¹]
Pop _{urb} (1970)	= População urbana de 1970	[1.000hab]
0,398	= Coeficiente linear	[kg _{MSW} .(hab.dia) ⁻¹]

Para estimar a TaxaMSW₍₂₀₀₈₎, foram empregados os dados da ABRELPE (2008) reproduzidos na Tabela 8. Onde não havia dados, empregou-se a equação linear cujos coeficientes estão apresentados na Tabela 9.

12 A regressão foi estimada excluindo-se a cidade de São Paulo por apresentar valores populacionais demasiadamente superiores a média do estado podendo comprometer as estimativas.

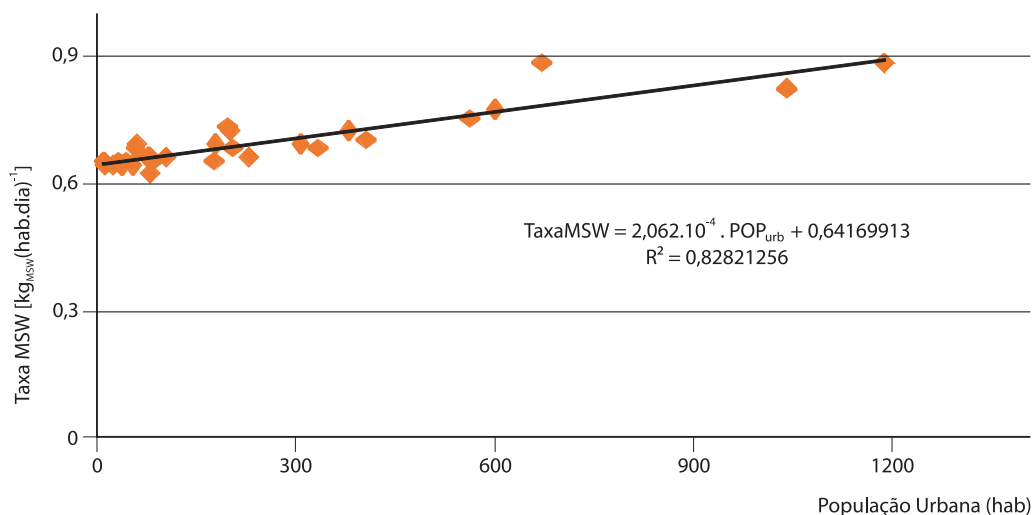
Tabela 8. TaxaMSW₍₂₀₀₈₎ de Municípios do Estado de São Paulo

Município	População	TaxaMSW	Município	População	TaxaMSW
	1.000hab	kg _{MSW} (hab.dia) ⁻¹		1.000hab	kg _{MSW} (hab.dia) ⁻¹
Americana	204	0,68	Louveira	33	0,65
Araraquara	197	0,73	Mauá	406	0,70
Bauru	333	0,68	Mogi Mirim	79	0,62
Cajamar	60	0,69	Paulínia	76	0,66
Campinas	1040	0,82	Penápolis	55	0,64
Capivari	43	0,65	Porto Ferreira	12	0,64
Diadema	380	0,72	Presidente Prudente	200	0,72
Engenheiro Coelho	11	0,65	Rio Claro	178	0,69
Franca	307	0,69	Santa Bárbara d'Oeste	176	0,65
Garça	39	0,64	Santo André	671	0,88
Guarulhos	1188	0,88	São José dos Campos	600	0,77
Iguape	24	0,64	Sorocaba	562	0,75
Itanhaém	83	0,65	Sumaré	230	0,66
Lençóis Paulista	59	0,68	Tremembé	36	0,64
Lorena	79	0,66	Várzea Paulista	104	0,66

Fonte: ABRELPE (2008)

A partir desses dados pode-se obter a relação entre TaxaMSW₂₀₀₈ e Popurb₂₀₀₈, conforme apresentado no Gráfico 9.

Gráfico 9. Relação Obtida entre a Taxa de Geração de Resíduos e a População Urbana em 2008 no Estado de São Paulo



A seguir, na Tabela 9, é reproduzido o coeficiente angular e o linear aplicados na Equação 10 para estimar a TaxaMSW.

Tabela 9. Coeficientes Angular e Linear Empregados para Estimar a TaxaMSW para 2008 no Estado de São Paulo

	Coeficiente Angular	Coeficiente Linear
São Paulo	0,00020620	0,64169913

Fonte: ABRELPE (2008)

A forma geral para a estimativa da Taxa_{MSW}₂₀₀₈ município a município do Estado de São Paulo é expressa a seguir pela Equação 10.

Equação 10. Taxa_{MSW} Empregada para o Ano de 2008

$$Taxa_{MSW_{2008}} = \text{Coeficiente angular} \cdot Pop_{urb} + \text{Coeficiente linear}$$

onde:

Taxa _{MSW} ₍₂₀₀₈₎	= Taxa de geração de MSW do ano de 2008	[kg _{MSW} ·(hab.dia) ⁻¹]
Coeficiente angular	= Coeficiente angular	[kg _{MSW} ·(1.000.hab ² .dia) ⁻¹]
Pop _{urb}	= População urbana de 1970	[1.000hab]
Coeficiente Linear	= Coeficiente linear	[kg _{MSW} ·(hab.dia) ⁻¹]

Empregando as estimativas geradas pela Equação 9 e Equação 10 para os anos de 1970 e 2008, a Equação 11 estima a Taxa_{MSW}_(t), ano a ano, dos anos intermediários desse período.

Equação 11. Taxa_{MSW} dos Anos entre 1970 e 2008

$$Taxa_{MSW(t)} = Taxa_{MSW_{1970}} + (Taxa_{MSW_{2008}} - Taxa_{MSW_{1970}}) \cdot \frac{(ano(t) - 1970)}{(2008 - 1970)}$$

Potencial de Geração de CH₄ (L₀(t))

O potencial de geração de CH₄ (L₀(t)) é estimado conforme determina a Equação 3, também apresentada na página 51 deste documento e, reproduzida a seguir:

Equação 3. Potencial de Geração de CH₄

$$L_0(t) = MCF(t) \cdot DOC(t) \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Dessa forma, a seguir, são apresentados os dados e fatores de emissão (FE) correspondentes às variáveis empregadas na determinação do L₀(t), como: MCF(t), DOC(t), DOC_f e F.

Fator de Correção de Metano (MCF(t))

O fator de correção de metano está associado à operação do aterro. Utilizou-se como referência a classificação disponível no IPCC (2000a), como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Dados *Default* do IPCC de MCF(t)

Características do Local de Disposição de MSW	MCF
Aterro sanitário	1,0
Local não gerenciado com profundidade igual ou superior a 5 m	0,8
Local não gerenciado com menos de 5 m de profundidade	0,4
Depósito de lixo não classificado	0,6

Fonte: IPCC (2000a)

Portanto, a estimativa do MCF(t) empregado para estimar as emissões de CH₄ desde o ano de 1970 considera os dados disponíveis a respeito da qualidade de operação do local

de disposição. Esses dados podem ser obtidos através dos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Domiciliares publicados a partir de 1997, onde se verifica um indicador da qualidade dos locais de disposição de MSW pelo Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), que varia entre 0 a 10. Entre 0 a 6 é classificado como inadequado, de 6,1 a 8 classificado como controlado e de 8,1 a 10 como adequado. Para realizar a conversão do IQR para o MCF(t) seguiu-se as considerações da Tabela 11.

Tabela 11. Conversão de IQR para MCF(t)

IQR	MCF
Inexistente	0,6
0,0 a 6,0	0,4
6,1 a 8,0	0,8
8,1 a 10,0	1,0

Carbono Orgânico Degradável (DOC(t))

O DOC(t) foi estimado conforme determina a Equação 4, na página 51 desse documento, empregando análises de composição de MSW, cujos resultados são resumidos na Tabela 12 e na Tabela 13.

Com o levantamento das análises de resíduos de todo o Estado de São Paulo, publicados desde 1970, observou-se que há uma grande diversidade de composições. O conjunto dos dados foi interpretado e rearranjado na forma como prevê o modelo oferecido pelo IPCC (2000a) para a determinação do DOC(t), dividindo a composição dos resíduos em:

- Fração do resíduo correspondente a papéis e têxteis (A);
- Fração do resíduo proveniente de podas de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares (B);
- Fração do resíduo correspondente a resíduos alimentares (C); e
- Fração do resíduo correspondente a madeira e palha (D).

Essa informação subsidiou a estimativa do DOC(t) para o Estado de São Paulo e a sua variação entre os anos de 1970 e 2008.

A Tabela 12 resume as estimativas dos dados de DOC(t) de 1970 até 2008 e que foram considerados neste inventário.

Tabela 12. Análises de DOC, do MSW para Municípios do Estado de São Paulo

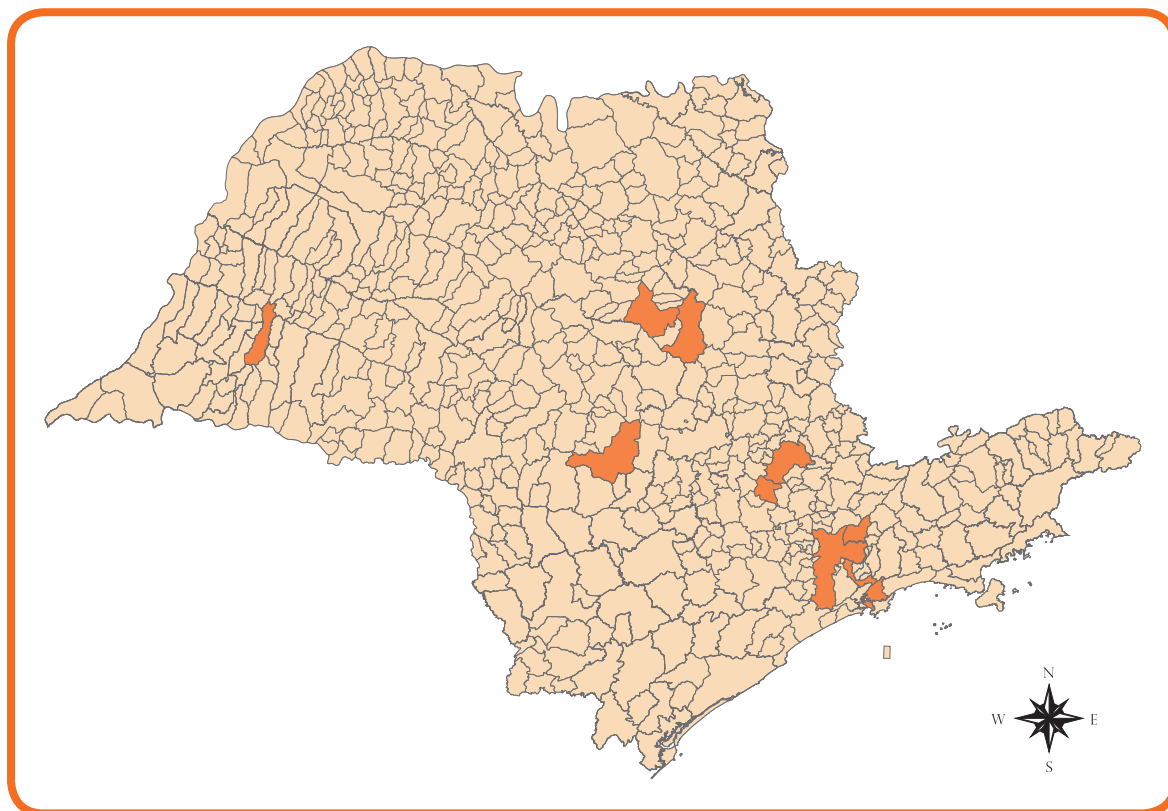
Município	Ano	DOC	Ref	Município	Ano	DOC	Ref
Araraquara	1996	0,1316	13	São Paulo	1977	0,1830	11
Botucatu	1999	0,1522	10	São Paulo	1979	0,1856	2
Campinas	1985	0,1929	2	São Paulo	1982	0,1879	1
Campinas	1995	0,2052	7	São Paulo	1989	0,2075	4
Guarulhos	1996	0,1942	14	São Paulo	1990	0,1505	4
Guarulhos	2002	0,1479	14	São Paulo	1993	0,1946	4
Presidente Prudente	2000	0,1673	6	São Paulo	1998	0,1620	4
Santos	1979	0,1328	3	São Paulo	2003	0,1846	9
São Carlos	1989	0,1703	8	São Paulo	2008	0,1495	14
São Carlos	1991	0,1931	2	São Paulo	2008	0,1618	14
São Carlos	2005	0,1181	8	Indaiatuba	2007	0,1759	12
São Paulo	1971	0,1477	11	Santo André	2007	0,1273	5
São Paulo	1972	0,1823	4	Santo André	2008	0,1671	-
São Paulo	1976	0,1618	11				

Nota: (-): dado não disponível.

Fontes: Anexo A – Referências para DOC(t) e FCF.CCW(t), na página 137.

A seguir, é reproduzida na Figura 8 a distribuição regional das cidades onde foram obtidos dados de composição do resíduo.

Figura 8. Cidades Onde Foram Obtidos Dados de Composição de MSW



Portanto, considerando os dados da Tabela 12, foi estimada a variação do DOC(t) de 1970 a 2008, de acordo com a Equação 12 e Gráfico 10:

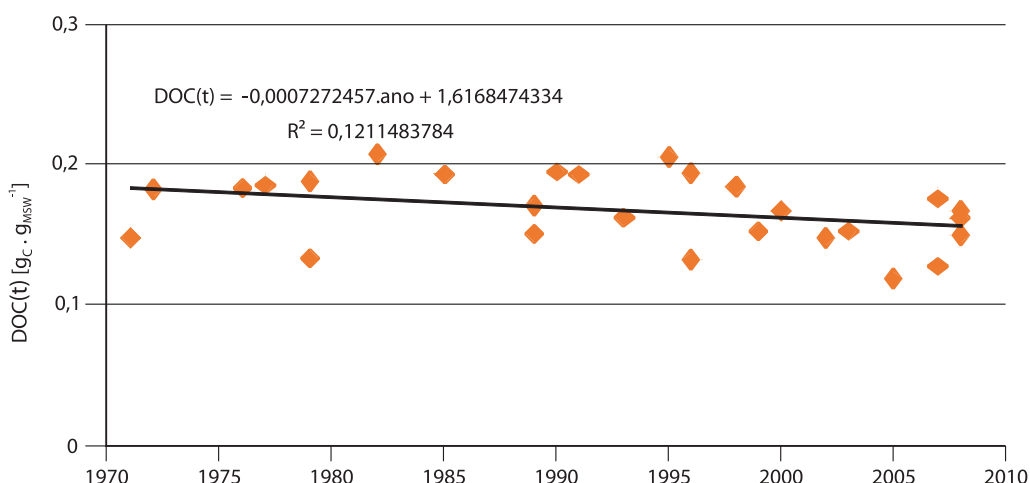
Equação 12. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008

$$DOC(t) = \text{Coeficiente angular} \cdot t + \text{Coeficiente linear}$$

onde:

DOC(t)	= Estimativa da variação do DOC no tempo	$[g_c \cdot g_{MSW}^{-1}]$
t	= Ano de estimativa	[ano]
Coeficiente angular	= Coeficiente angular	$[g_c \cdot (g_{MSW} \cdot \text{ano})^{-1}]$
Coeficiente linear	= Coeficiente linear	$[g_c \cdot g_{MSW}^{-1}]$

As regressões foram estimadas com as análises dos municípios das regiões da forma como se observa a seguir:

Gráfico 10. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008 no Estado de São Paulo

Nota: As fontes de dados de DOC estão apresentadas no Anexo A.

A Tabela 13 resume os dados estimados para aplicação na Equação 12, acima, para o Estado de São Paulo no período entre 1970 e 2008.

Assim, com os dados de DOC(t) dessa tabela, foram estimadas as emissões de CH₄ pela disposição de MSW em aterros no Estado de São Paulo, ano a ano desde 1970 até 2008.

Tabela 13. Variação do DOC(t) de 1970 a 2008 no Estado de São Paulo

Estado	Coefficiente Angular	Coefficiente Linear
	[g _C .(g _{MSW} .ano) ⁻¹]	[g _C .g _{MSW} ⁻¹]
São Paulo	-0,0007272457	1,6168474334

Fração do Carbono Orgânico Degradável Dissimilado (DOC_f)

O IPCC (2000a) sugere utilizar um *default* entre 0,5 e 0,6. Considerando-se o IPCC (2006), empregou-se o *default* para países em desenvolvimento, igual a 0,5.

Assim, com o dado de DOC_f acima, foram estimadas as emissões de CH₄ pela disposição de resíduos urbanos em aterros no Estado de São Paulo, ano a ano desde 1970 até 2008.

Fração de CH₄ no Biogás (F)

A (F) foi adotada da coleção de *default* fornecida pelo IPCC (2000a). O dado é igual a 0,5.

CH₄ Recuperado (R)

A NBR 13.896/97, no item 5.3, sobre emissões gasosas, recomenda que “todo aterro deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a captação e tratamento adequado das eventuais emanações”. Com essa recomendação, essa norma apresenta uma diretriz e não uma obrigação legal. Em consequência disso, os projetos de aterros preveem a queima do biogás em queimadores abertos, normalmente instalados na saída do poço de drenagem de chorume, o que é adequado para a redução das emissões de metano bem como de odores.

A realização de visitas a aterros indica que os drenos, quando instalados, não estão distribuídos de forma a promover a máxima captura do CH₄ gerado no aterro. Também não se observa, na maioria dos aterros, a preocupação em manter o queimador operando ou, se operante, não existe a preocupação de mantê-lo queimando todo o tempo, pois a chama

invisível da queima do CH₄ pode causar ferimentos aos funcionários do aterro, caso não sejam tomadas as devidas providências de segurança.

Nos aterros do Estado de São Paulo, todos os projetos de queima ou recuperação de biogás para fins energéticos são projetos de MDL. Na maior parte dos projetos de MDL, foi arbitrada uma linha de base de 20% de queima do CH₄. Projetos mais recentes reviram essa consideração, tendendo sempre para quantidades menores que aquela inicialmente empregada. Magalhães et al. (2010), sugere que, na Comunicação Nacional do Brasil, deve se considerar que 0,4% do CH₄ é destruído por sistemas passivos.

As quantidades de metano apresentadas na Tabela 14, correspondem às quanti-

dades de reduções certificadas e registradas em projetos de MDL, porém estas quantidades não são contabilizadas como reduções de emissões do estado (R), pois foram comercializadas, tendo transferido o direito daquela redução para o país que adquiriu o Crédito de Carbono.

Portanto, considerou-se a redução de emissão (R), nos municípios onde não há projetos de MDL, igual à 0,4%¹³ e nos municípios com projetos, considerou-se o R igual à linha de base dos projetos, uma vez que essas não são transferidas na forma de créditos de carbono.

Fator de Oxidação (OX)

O OX reflete a quantidade de CH₄ que é oxidada no solo ou em outro material

Tabela 14. Reduções de Emissões Municipais de 2003 a 2008 no Estado de São Paulo (R)

Projeto	Linha de Base [%]	Município	Reduções de Emissões no Estado [Gg _{CH4}]					
			2003	2004	2005	2006	2007	2008
Onyx	0	Tremembé	-	-	-	-	-	-
Caieiras	20	Caieiras	-	-	-	0,5810	0,6456	-
Estre	20	Itapeví	-	-	-	-	0,2461	0,6143
Lara	10	Mauá	-	-	-	0,2938	1,1402	1,3386
Estre	20	Paulínia	-	-	-	0,5193	2,0873	2,7413
Anaconda	20	Santa Isabel	-	-	-	-	0,1904	0,0739
Terrestre	20	Santos	-	-	-	-	-	0,3073
São João	20	São Paulo	0,1221	6,2792	6,2792	7,1866	13,0373	15,0098
Bandeirantes	20							
Estre	20							

Nota: Nos dados apresentados nos relatórios de monitoramento dos projetos de MDL publicados pela UNFCCC, os períodos de monitoramento podem incluir dias de anos diferentes. Para as estimativas apresentadas, considerou-se que as emissões do período são proporcionais aos dias monitorados no ano. As emissões foram igualmente divididas nos dias, dessa forma, é possível considerar essa proporção no ano. Para obter um número de emissão anual efetuou-se a somatória dos dados presentes nos relatórios de monitoramento de cada projeto.

Fonte: UNFCCC (2011)

13 A linha de base de uma atividade de projeto de MDL é o cenário que representa as emissões de GEE que ocorreriam na ausência da atividade do projeto proposto. Com este cenário é possível verificar a adicionalidade dos projetos. As reduções certificadas de emissões (RCEs) não incluem as emissões da linha de base. Nos aterros, a linha de base consiste nas quantidades de CH₄ destruídas para o cumprimento de alguma exigência legal ou contratual, ou para atender as medidas de segurança e atenuação de odores (UNFCCC, 2009).

utilizado na cobertura do aterro. Se o fator de oxidação é zero, não há oxidação. Segundo o IPCC (2000a), em aterros bem gerenciados, a oxidação é maior. Por desconhecer estudos a esse respeito no Brasil, foi adotado OX igual a zero para Pop_{urb} inferior a 1 milhão de habitantes e nos aterros sanitários que atendem a $Pop_{urb}(t)$ superior a 1 milhão de habitantes¹⁴ OX igual a 0,1 (IPCC, 2000a).

2.3.2 Emissões de CO₂ e N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

Resíduo Incinerado por Tipo *i* (IW)

De acordo com o IPCC (2000a), as emissões de CO₂ e N₂O por incineração de resíduos dividem-se por tipo *i* de resíduo:

$i =$

MSW: Resíduo sólido urbano

HW: Resíduo perigoso

CW: Resíduo de serviços de saúde

SS: Lodo de esgoto

Nas estimativas das emissões de GEE para os resíduos considerados perigosos (HW)¹⁵ empregaram-se dados disponíveis da ABETRE (2006), do SNIS, dos operadores e dos fabricantes de incineradores que responderam à solicitação de dados feita pela CETESB para a elaboração da Segunda Comunicação Nacional. Neste inventário utilizou-se os dados do Estado de São Paulo.

Nesses dados estão inclusas informações da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE), que

abrange apenas as empresas privadas representando 78% das empresas do setor de resíduos. Inclui dados do SNIS por meio de consulta ao SNIS Série Histórica 6 e inclui dados disponibilizados por operadores e fabricantes de incineradores que responderam à solicitação de dados feita pela CETESB para a elaboração da Segunda Comunicação Nacional. A principal fonte dos dados de incineração de MSW foram os operadores e fabricantes.

Sabe-se que parte dos resíduos perigosos (HW) pode ser incinerada no processo industrial, não gerando registro da sua existência e inviabilizando a correspondente estimativa das emissões de GEE. A estimativa das emissões de GEE do setor de resíduos desse Relatório, refere-se apenas aos resíduos cuja incineração ocorreu fora do processo industrial, no qual o resíduo foi gerado e, portanto, corresponde ao que é registrado pelo mercado de serviços contratados, prestados por empresas privadas não contemplando os resíduos que têm destinação interna nas empresas (ABETRE, 2006).

Dados complementares de incineradores listados pelo SNIS e pela ABETRE foram solicitados aos seus fabricantes e operadores, tais como:

- Capacidade [t.ano⁻¹];
- Carga [t.ano⁻¹] desde o início da operação;
- Finalidade de uso - para incinerar CW, MSW, HW ou SS e;
- Início de operação, previsão de encerramento das atividades e data do último teste de queima.

14 Considera-se que há maior possibilidade de que grandes cidades ($Pop_{urb}(t)$ maior que 1 milhão de habitantes) sejam servidas por aterros melhor gerenciados.

15 O método do IPCC sugere a divisão do resíduo em MSW (resíduo sólido municipal), SS (lodo de esgoto), HW (resíduo perigoso) e CW (resíduo de serviço de saúde). No Brasil, de acordo com a NBR 10.004/2004, a definição de perigoso inclui os resíduos industriais perigosos e os resíduos de serviços de saúde. Essa estimativa seguiu a divisão proposta pelo IPCC (2000a), ou seja, os resíduos, que pela ABNT, são considerados perigosos são divididos em: HW, que equivale a resíduos industriais perigosos e CW, que equivale a resíduos de serviços de saúde.

Assim, a Tabela 15 resume os dados de incineradores no Estado de São Paulo que queimam MSW, HW, CW e SS. As unidades listadas pelo SNIS, cujos perfis não apresentavam os dados mínimos para que fossem inseridos nas estimativas, como ano do início das operações, capacidade e tipo de resíduo incinerado, foram excluídas da estimativa.

O programa de computador do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS (Série Histórica 6), permitiu consultar dados de 2002 a 2006, porém, não permitiu consultar dados de quantidade de resíduos recebida associada ao ano da informação, o que impossibilitou a associação da quantidade de resíduo ao ano da incineração. Por esta razão, optou-se por atribuir a quantidade de resíduos recebida no incinerador ao ano

do início de operação do incinerador e que essa quantidade se refere unicamente àquele ano da incineração. Além disso, foram feitos contatos com as incineradoras, fabricantes de equipamentos e SNIS visando aumentar a coleção de dados.

Quanto ao lodo de esgoto (SS), no Estado de São Paulo este é encaminhado aos aterros.

CCW e FCF no HW, CW e no SS

Para as estimativas de emissões de GEE na incineração de HW e CW foram empregados os *default* da Tabela 16, a seguir. Não foram realizadas estimativas para MSW e SS, pois não se obteve dados de quantidade desse tipo de resíduo sendo incinerado no estado.

Tabela 15. Quantidade de Resíduos Sólidos Incinerados por Ano e por Tipo de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Quantidades [Gg.ano ⁻¹]				Ano	Quantidades [Gg.ano ⁻¹]			
	MSW	HW	CW	SS		MSW	HW	CW	SS
1990	NA	4,639	0,010	NA	2000	NA	9,728	3,672	NA
1991	NA	4,993	0,375	NA	2001	NA	8,439	3,672	NA
1992	NA	12,400	0,000	NA	2002	NA	8,439	3,672	NA
1993	NA	5,000	0,170	NA	2003	NA	8,439	3,672	NA
1994	NA	7,700	0,072	NA	2004	NA	8,439	3,672	NA
1995	NA	7,700	0,072	NA	2005	NA	8,439	3,672	NA
1996	NA	7,700	0,072	NA	2006	NA	10,300	4,474	NA
1997	NA	8,017	0,177	NA	2007*	NA	10,654	4,805	NA
1998	NA	8,017	0,072	NA	2008*	NA	11,008	5,136	NA
1999	NA	8,228	3,672	NA					

Nota (NA): Não aplicável.

Nota (1): Os dados de 1990, 1991, 2006, 2007 e 2008 foram obtidos utilizando regressão linear da quantidade de HW enviado para incineração no estado. A equação empregada foi: $HW = 0,35379412 \cdot \text{ano} - 699,41090000$.

Nota (2): Os dados de 1993, 2006, 2007 e 2008 foram obtidos utilizando regressão linear da quantidade de HW enviado para incineração no estado. A equação empregada foi: $CW = 0,33106074 \cdot \text{ano} - 659,63413750$. Esta equação não se mostrou aplicável para o ano de 1992.

Fontes: ABETRE (2006), SNIS (2008) e CETESB (2010a)

Tabela 16. Default do IPCC de CCW e FCF

Dados para Estimativa das Emissões de CO ₂ pela Incineração de Resíduos				
	MSW	SS	CW	HW
CCW [gC.gresíduo ⁻¹]	40	30	60	50
Faixa	33 a 50 (material úmido)	10 a 40 (material seco)	50 a 70 ^a (material seco)	1 a 95 (material úmido)
FCF [%]	40	0	40	90
Faixa	30 a 50	–	30 a 50	90 a 100 ^b

Notas:

a De acordo com o IPCC (2000a), o CCW contém principalmente papéis e plásticos¹⁶. O conteúdo de carbono deste resíduo pode ser estimado pelos seguintes fatores: Ccontido no papel: 50% e Ccontido no plástico: 75 a 85%.

b O carbono fóssil pode ser reduzido se ele inclui carbono de material de embalagens e materiais similares.

Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

Eficiência de Queima dos Incineradores de Resíduo Tipo i (EF)

Não foram identificados dados nacionais sobre essa variável. Portanto, optou-se por adotar os *default* do IPCC (2000a), reproduzidos na Tabela 17, a seguir:

Fator de Emissão (FE_{N2O})

Não há, nem na literatura nacional, nem no IPCC (2000a), dados de FE_{N2O}. Por essa razão, empregaram-se os *default* do IPCC (2006) apresentados na Tabela 18.

Tabela 17. Default do IPCC de FE para as Estimativas de Emissões de CO₂ por Incineração

FE para Estimativa das Emissões de CO ₂ pela Incineração de Resíduos				
	MSW	SS	CW	HW
FEc [%]	95	95	95	99,5
Faixa	95–99	–	50–99,5	95–99,5

Fonte: IPCC (2000a)

Nota: FE depende do projeto, manutenção e idade do incinerador.

Tabela 18. Fatores de Emissão de N₂O Default do IPCC por Técnica de Incineração

Tipo de Resíduo	Tecnologia	Fator de Emissão	Base de Massa
		[g _{N2O} .(t _{resíduo}) ⁻¹]	
MSW	Incineração do tipo batelada	60	Massa úmida
Resíduo Industrial	Todo tipo de incineração	100	Massa úmida
SS	Incineração	900	Massa úmida

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

Notas:

O FE_{N2O} depende também do projeto, manutenção e idade do incinerador.

Por não haver *default* de FE_{N2O} para HW empregou-se o FE_{N2O} de Resíduo Industrial.

Por não haver *default* de FE_{N2O} para CW empregou-se o FE_{N2O} de MSW.

16 Esta nota feita pelo IPCC sugere que outros resíduos, como a matéria orgânica dos restos de comida, não sejam tratados como CCW, sendo descartados como MSW.

2.4 Resultados

A seguir, são detalhados os resultados das estimativas de emissões de GEE consideradas pelo método IPCC (2000a).

2.4.1 Estimativa das Emissões de CH₄ pela Disposição de Resíduos Sólidos em Aterros

Considerando-se a estratégia de elaboração das estimativas, os métodos e os dados, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 19.

2.4.2 Estimativa das Emissões de CO₂ e N₂O por Incineração de Resíduos Sólidos

Considerando-se a estratégia de elaboração das estimativas, os métodos e os dados, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 19. Emissões de CH₄ pela Disposição de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Emissões do Estado de São Paulo			
Ano	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]	Ano	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]
1990	120,40	2000	220,13
1991	128,64	2001	242,86
1992	136,39	2002	265,85
1993	143,74	2003	287,32
1994	150,74	2004	302,30
1995	157,45	2005	321,18
1996	163,92	2006	339,46
1997	170,18	2007	346,30
1998	188,92	2008	360,26
1999	199,57		

Tabela 20. Emissões de CO₂ pela Incineração de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões - CO ₂ [Gg _{CO₂} /ano]									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
MSW	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
HW	7,62	8,20	20,36	8,21	12,64	12,64	12,64	13,16	13,16	13,51
CW	0,01	0,31	0,0	0,14	0,06	0,06	0,06	0,15	0,06	3,07
SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	7,63	8,51	20,36	8,35	12,70	12,70	12,70	13,31	13,22	16,58
Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
MSW	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
HW	15,97	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	16,91	17,49	18,07	
CW	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,74	4,02	4,29	
SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Total	19,04	16,92	16,92	16,92	16,92	16,92	20,65	21,51	22,37	

Tabela 21. Emissões de N₂O pela Incineração de Resíduos Sólidos de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões - [$10^{-3} \text{Gg}_{\text{N}_2\text{O}} \cdot \text{ano}^{-1}$]									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
MSW	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
HW	0,0005	0,0005	0,0012	0,0005	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
CW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0002
SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	0,0005	0,0005	0,0012	0,0005	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,001
Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
MSW	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
HW	0,001	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,001	0,0011	0,0011	
CW	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	
SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Total	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0013	0,0014	0,0014	

3

EFLUENTES DOMÉSTICOS E INDUSTRIAIS



3 Efluentes Domésticos e Industriais

Os efluentes domésticos são formados após a utilização da água nas residências, seja pela lavagem de roupas, utensílios domésticos, banhos ou descargas e também das atividades comerciais e industriais.

Os efluentes podem contaminar o meio ambiente e provocar doenças. Por isso, faz-se importante a coleta e o tratamento dos esgotos em instalações devidamente preparadas para este fim.

No Estado de São Paulo, essa é uma tarefa das empresas municipais de águas e esgotos e é dividida com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), uma empresa de economia mista responsável pelo forne-

cimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 364 municípios do estado, com 487 estações de tratamento de esgotos (ETEs), com capacidade de 43,6 mil litros por segundo (SABESP, 2009b).

Para a coleta dos efluentes, há nas residências, estabelecimentos comerciais e indústrias, ligações que formam as redes coletoras. Essas redes são conectadas aos coletores-tronco que recebem os esgotos de diversas redes. A partir dos coletores-tronco, os esgotos vão para os interceptores que devem ter como destino final uma Estação de Tratamento, que tem a missão de devolver a água, em boas condições, ao meio ambiente, ou reutilizá-la para fins não potáveis (SABESP, 2009b).

Caixa 1 – Tecnologias Utilizadas pela SABESP para o Tratamento de Esgoto

1. Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA): É um reator fechado. O tratamento biológico ocorre por processo anaeróbio, isto é, sem oxigênio. A decomposição da matéria orgânica é feita por microorganismos presentes num manto de lodo. O esgoto sai da parte de baixo do reator e passa pela camada de lodo que atua como um filtro. A eficiência atinge de 65% a 75% e, por isso, é necessário um tratamento complementar que pode ser feito através da lagoa facultativa. É um mecanismo compacto e de fácil operação.
2. Lagoa facultativa: Tem de 1,5 a 3 metros de profundidade. O termo facultativo refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias (com e sem oxigenação). Em lagoas facultativas, as condições aeróbias são mantidas nas camadas superiores das águas, enquanto as condições anaeróbias predominam em camadas próximas ao fundo da lagoa. Embora parte do oxigênio necessário para manter as camadas superiores aeróbias seja fornecido pelo ambiente externo, a maior parte vem da fotossíntese das algas, que crescem naturalmente em águas com grandes quantidades de nutrientes e energia da luz solar. As bactérias que vivem nas lagoas utilizam o oxigênio produzido pelas algas para oxidar a matéria orgânica. Um dos produtos finais desse processo é o gás carbônico, que é utilizado pelas algas na sua fotossíntese. Este tipo de tratamento reduz grande parte do lodo, e é ideal para comunidades pequenas, normalmente situadas no interior do estado.
3. Lagoa anaeróbia: Neste caso, as lagoas são profundas, entre 3 e 5 metros, para reduzir a penetração de luz nas camadas inferiores. Além disso, é lançada uma grande carga de matéria orgânica, para que o oxigênio consumido seja várias vezes maior que o produzido. O tratamento ocorre em duas etapas. Na primeira, as moléculas da matéria orgânica são quebradas e transformadas em estruturas mais simples. Já na segunda, a matéria orgânica é convertida em metano, gás carbônico e água.
4. Lagoa aerada: O processo necessita de oxigênio e a profundidade das lagoas varia de 2,5 a 4,0 metros. Os aeradores servem para garantir oxigênio no meio e manter os sólidos bem separados

do líquido (em suspensão). A qualidade do esgoto que vem da lagoa aerada não é adequada para lançamento direto no corpo receptor, pelo fato de conter uma grande quantidade de sólidos. Por isso, são geralmente seguidas por outras, onde a separação dessas partículas pode ocorrer.

5. **Baias e valas de infiltração:** Trata-se de um tratamento complementar que consiste na passagem do esgoto por um filtro instalado no solo, formado por pedregulho e areia.

6. **Flotação:** É um processo físico-químico, no qual uma substância coagulante ajuda na formação de flocos de sujeira. Com isso, as partículas ficam mais concentradas e fáceis de serem removidas. Para ajudar no tratamento, a água é pressurizada, formando bolhas que atraem as partículas, fazendo com que elas flutuem na superfície. O lodo formado é enviado a uma ETE.

7. **Lagoa de maturação:** São lagoas de baixa profundidade, entre 0,5 a 2,5 metros, que possibilitam a complementação de qualquer outro sistema de tratamento de esgotos. Ela faz a remoção de bactérias e vírus de forma mais eficiente devido à incidência da luz solar, já que a radiação ultravioleta atua como um processo de desinfecção.

Fonte: SABESP (2009c)

De acordo com a PNSB 2000 (IBGE, 2002), dos 1.022 distritos do Estado de São Paulo, 948 possuíam coleta de esgoto sanitário. Desses, 177 utilizam emissário para lançamento de esgoto sanitário, sendo os rios a maioria dos corpos receptores (IBGE, 2002).

A PNSB (IBGE, 2002) informa também que no Estado de São Paulo, dos 948 distritos que coletam o esgoto, 387 não o tratam, sendo lançado in natura em corpos d'água. Desses distritos, 345 despejam o esgoto em rios.

No estado, dos 74 municípios que não possuem coleta, as principais soluções

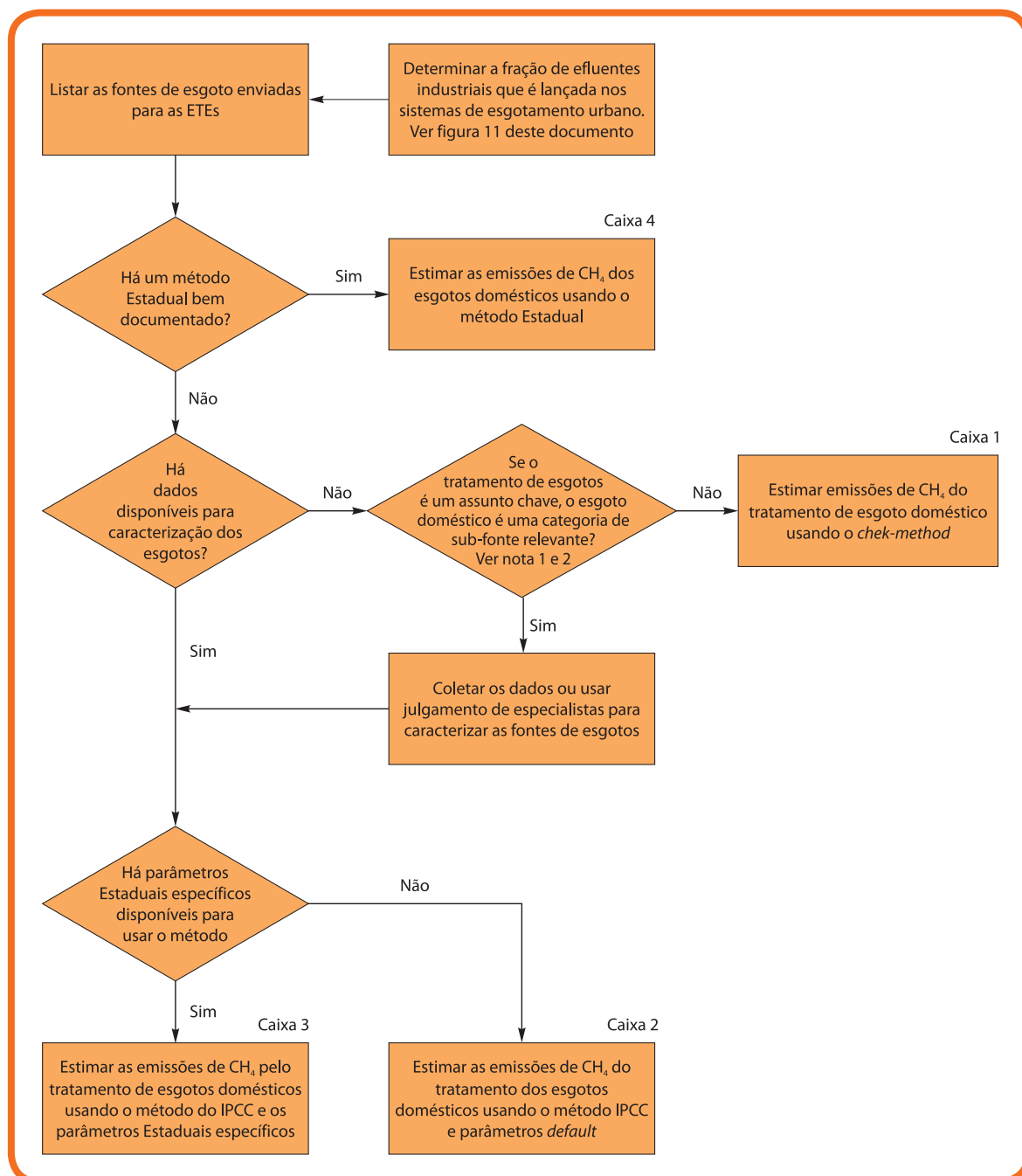
alternativas são fossas sépticas, sumidouros, fossas secas entre outras (IBGE, 2002).

Conforme a PNSB 2000, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) considera que as pesquisas domiciliares podem ser otimistas. Nem sempre o entrevistado informa adequadamente sobre as condições de saneamento. São comuns os casos em que os domicílios com algum tipo de encanamento, de água ou esgoto, são confundidos pelo entrevistado como sendo domicílios com ligação à rede geral de água ou esgoto.

3.1 Estratégia das Estimativas das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Esgotos Domésticos

Para estimar as emissões de CH₄, considerou-se a árvore de decisões descrita na Figura 9. Outras explicações podem ser encontradas mais adiante.

Figura 9. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Domésticos



Nota 1: A fonte chave é priorizada no sistema do inventário porque esta estimativa tem significativa influência no inventário estadual de GEE em termos de níveis absolutos de emissões, tendência das emissões ou ambos.

Nota 2: Como regra geral, uma categoria de subfonte pode ser significativa se representar de 25 a 30% das emissões da categoria da fonte.

Fonte: IPCC (2000a)

Observando-se a árvore de decisão, tem-se o seguinte resumo, que justifica a estratégia de elaboração da estimativa das emissões de CH₄ pelo tratamento anaeróbio de esgotos domésticos:

Conforme recomendações iniciais da árvore de decisões, deve-se determinar a fração de efluentes industriais que são lançados nos sistemas de esgotamento urbano e listar as fontes de efluentes enviadas para as estações de tratamento de efluentes domésticos.

Neste inventário, as frações de efluentes industriais não foram consideradas na estimativa de emissões de efluentes domésticos, pois não se tem informação dessas quantidades de efluentes industriais que são tratadas nas estações de tratamento de efluentes domésticos.

Não há um método estadual bem documentado e os dados para a caracterização dos esgotos estão disponíveis apenas parcialmente. Há dados como a D_{dom} (Geração de Carga Orgânica *per capita*)

que é conhecida no país. A fração de efluente tratado por tipo de sistema, só é conhecida para o ano de 2000. Os dados de MCF (Fator de Conversão de CH₄) não são conhecidos, o que demanda o emprego de *default* do IPCC (IPCC, 2000a).

Desconhecendo a proporção das emissões do tratamento anaeróbio de esgotos domésticos frente às demais fontes estimadas no inventário estadual, definiu-se que esta é uma fonte chave. Levantou-se os dados para os anos desde 1990.

Deve-se coletar os dados ou usar o julgamento de especialistas pra caracterizar as fontes de esgotos.

Para a situação de indisponibilidade de parâmetros estaduais específicos, estimou-se as emissões de CH₄ do tratamento dos esgotos domésticos usando o método IPCC (IPCC, 2000a) e parâmetros *default*, conforme descreve a Caixa 2 da árvore de decisões.

3.2 Método de Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Domésticos

O presente inventário inclui a estimativa de emissões de CH₄ que ocorre em ETEs com processos anaeróbios de reatores e lagoas, além disso, inclui a estimativa de emissões de processos aeróbios que incluem a digestão anaeróbia de lodo, as emissões dos lançamentos de matéria orgânica que ocorrem em mares, rios e lagos, assim como os processos identificados como tratamento no local, como as latrinas e fossas sépticas.

A seguir, são descritos os modelos empregados para a estimativa das emissões de GEE, adotados do IPCC (2000a) e empregados neste inventário.

Equação 13. Estimativa de Emissões de CH₄ por Tratamento Anaeróbio de Efluentes Domésticos

$$\text{Emissões} = TOW_{dom} \cdot FE \cdot 10^{-6} - R$$

onde:

Emissões	= Quantidade de metano gerada ao ano	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]
TOW _{dom}	= Efluente doméstico orgânico total	[kg _{DBO} .ano ⁻¹]
FE	= Fator de emissão	[kg _{CH₄} .kg _{DBO} ⁻¹]
R	= CH ₄ recuperado ao ano	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]
10 ⁻⁶	= Fator de conversão de Gg para kg	[10 ⁻⁶ Gg.kg ⁻¹]

Pode-se calcular o efluente doméstico orgânico total pela Equação 14, abaixo.

Equação 14. Estimativa do Efluente Doméstico Orgânico Total

$$TOW_{dom} = Pop_{Tot} \cdot D_{dom}$$

onde:

Pop _{Tot}	= População total do estado	[1000.hab]
D _{dom}	= Componente orgânico degradável do efluente doméstico	[kg _{DBO} .(1.000.hab.ano) ⁻¹]

O fator de emissão é calculado de acordo com a Equação 15.

Equação 15. Fator de Emissão

$$FE = B_0 \cdot \text{Média ponderada dos MCF}$$

onde:

B ₀	= Capacidade máxima de produção de CH ₄	[kg _{CH₄} .kg _{DBO} ⁻¹] ou [kg _{CH₄} .kg _{DQO} ⁻¹]
----------------	--	---

Equação 16. Média Ponderada dos MCF

$$\text{Média ponderada dos MCF}_i = \sum_x (WS_{i,x} \cdot MCF_x)$$

onde:

$WS_{i,x}$	= Fração de efluente do tipo "i" conforme o destino "x"	[adimensional]
MCF_x	= Fator de conversão de CH_4 do sistema "x" tratando o efluente "i"	[adimensional]

O método para a definição do $WS_{i,x}$ é apresentado a seguir: para o período de 1990 a 1994 utilizou-se as frações de efluentes tratados pelos sistemas anaeróbios do Relatório de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2006). Esses dados nacionais foram aplicados para o Estado de São Paulo.

Para a determinação do $WS_{i,x}$ no período de 1995 a 2008, empregou-se a Equação 17 e Equação 18.

Equação 17. $WS_{i,x}$ do Efluente Coletado, Tratado e Não Tratado

$$WS_{i,x} = \frac{D}{Soma} \cdot FA$$

Onde:

$WS_{i,x}$	= Fração de efluente doméstico "i" conforme o destino "x"	[adimensional]
D	= Número de distritos por destino "x"	[Distrito]
Soma	= Soma dos distritos com diferentes destinos	[Distrito]
FA	= Fator de ajuste	[adimensional]

Equação 18. Fator de Ajuste

$$FA = \frac{TD}{TDC}$$

onde:

FA	= Fator de ajuste	[adimensional]
TDC	= Total de distritos com coleta	[Distrito]
TD	= Total de distritos	[Distrito]

3.3 Dados de Emissão de CH₄ por Destino dos Efluentes Domésticos

Os dados a seguir foram reunidos para a aplicação do método IPCC (1996) e IPCC (2000a). Foram obtidos da literatura estadual e para os casos em que não existem, foram obtidos dentre os dados *default* fornecidos pelo IPCC.

3.3.1 Efluente Doméstico Orgânico Total (TOW_{dom})

O TOW_{dom} é apresentado na Tabela 22. Para determinar TOW_{dom}, conforme define a Equação 14, foram empregados dados de Pop_{tot} e D_{dom}.

Tabela 22. TOW_{dom} de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
[1000kg _{DBO} .ano ⁻¹]									
610.887	622.618	634.539	646.460	658.381	670.303	682.224	694.145	706.066	717.987
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
[1000kg _{DBO} .ano ⁻¹]									
729.909	738.246	746.583	754.919	763.256	771.593	779.930	788.267	796.604	

3.3.2 População Total (Pop_{tot})

A população empregada para as estimativas de GEE em efluentes domésticos foi a população total (Pop_{tot}) do estado, em decorrência do emprego da principal base de dados, a PNSB 2000. Na PNSB 2000, não há discriminação entre área urbana e rural ao investigar os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Essa utiliza como principal fonte de dados os cadastros efetuados nas prefei-

turas e entidades prestadoras dos serviços nos distritos. Os informantes respondem sobre sua área de atuação nos distritos e não há referência que identifique a área urbana ou rural na pesquisa. Assim como citado anteriormente na seção População Urbana (Pop_{urb}(t)) e População Total (Pop_{tot}(t)), para obtenção dos dados populacionais intermediários aos Censos apresentados na Tabela 23, empregou-se a Equação 8 da página 58.

Tabela 23. População Total dos Anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 no Estado de São Paulo

	População ¹⁷				
	1970	1980	1991	2000	2010
População total	17.770.975	25.042.074	31.588.925	37.035.456	41.262.199

Fonte: IBGE (2011a, 2011b)

17 Os municípios que foram criados em anos diferentes aos dos Censos citados foram incluídos no levantamento, a partir da publicação do próximo Censo populacional, não sendo considerada a data da sua criação.

Componente Orgânico Degradável do Efluente Doméstico (D_{dom})

Utilizou-se a emissão de DBO por habitante no Estado de São Paulo de $54g_{DBO} \cdot (hab. dia)^{-1}$ ou $19.710kg_{DBO} \cdot (1.000hab.ano)^{-1}$, conforme recomenda a NBR12.209/92.

Os efluentes domésticos são gerados em aglomerados urbanos. Para a estimativa das frações de efluentes coletados e enviados para as ETEs, utilizou-se a PNSB (IBGE, 2002) que contém o número de distritos atendidos por rede coletora e o número de sistemas de tratamento utilizados. A PNSB contabiliza também os distritos sem rede coletora e suas soluções alternativas, conforme a Tabela 27.

Além disso, a carga orgânica dos efluentes domésticos pode ser aumentada pelo lançamento de efluentes industriais nos sistemas de esgotamento urbano ou também pode ser reduzida por infiltrações pluviais no esgoto. Porém, esses dados não foram estimados nulos, pois não há informações a esse respeito.

Empregando os dados descritos acima, Tabela 22, apresenta o TOW do Estado de São Paulo dos anos de 1990 a 2008 (Equação 14, na página 79).

3.3.3 Fator de Emissão

Para determinar o FE, definido pela Equação 15, apresentada anteriormente na página 79 desse documento, são necessários os dados de B_0 e Média ponderada dos MCF_i , conforme apresentado na Tabela 31. A Tabela 24 apresenta os FEs para efluentes domésticos no Estado de São Paulo em 2000.

Os dados empregados para a estimativa do FE são apresentados a seguir:

Tabela 24. Fatores de Emissão (FE) para o Efluente Doméstico de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Período	FE
	$[kg_{CH_4} \cdot kg_{DBO}^{-1}]$
1990 a 1994	0,1322
1995 a 2008	0,1295

3.3.4 Capacidade Máxima de Produção de Metano (B_0)

Utilizou-se o *default* do IPCC (2000a) igual a $0,60kg_{CH_4} \cdot kg_{DBO}^{-1}$

3.3.5 Média Ponderada dos MCF_i

Para determinar a média ponderada do MCF_i , conforme define a Equação 16, apresentada anteriormente na página 79 desse documento e reproduzida a seguir, são necessários os dados de $WS_{i,x}$ e MCF_x :

Fração de Efluente Tipo i (Doméstico) Tratado Conforme o Destino x ($WS_{i,x}$)

Os tipos de destinos considerados para efluentes domésticos de sistemas x identificados nessa estimativa estão listados a seguir:

- **Com rede coletora:** filtro biológico; lodo ativado anaeróbico; lodo ativado aeróbico; reator anaeróbico; valo de oxidação; lagoa anaeróbica; lagoa aeróbica; lagoa aerada; lagoa facultativa; lagoa mista; lagoa de maturação; fossa séptica condominial; e
- **Sem rede coletora:** fossas sépticas e sumidouros; fossas secas; valas abertas e lançamento em cursos d'água.

A seguir, foram reunidos dados da literatura nacional que permitiram definir as frações de efluentes de cada fonte geradora de CH_4 . Essas frações foram definidas individualmente em nível nacional

para o período de 1994 e desagregada por estados para o ano de 2000¹⁸. O ano de 1994 foi destacado em função da existência dos dados do Relatório de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2006). O ano de 2000 foi destacado em função da existência da publicação da PNSB (IBGE, 2002).

Definição dos $WS_{i,x}$

Os $WS_{i,x}$ são as frações de efluentes coletados não tratados e tratados conforme o sistema de tratamento ou disposição; e efluentes não coletados não tratados e tratados conforme o sistema de tratamento ou disposição. Essas frações foram obtidas pela observação:

- 1) dos dados do Relatório de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2006);
- 2) das PNAD de 1992 a 1993, 1995 a 1999, 2001 a 2008 (IBGE, 2009); e
- 3) das PNSB (IBGE, 1992, 2002).

Os dados do período entre os anos de 1990 a 1994 são do Relatório de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2006). Esse levantamento é nacional¹⁹. Não havendo dados estaduais, os nacionais foram assumidos como válidos também para o Estado de São Paulo. Ainda para definir os dados do período de 1990 a 1994, foram observadas as alterações sugeridas pelo método do IPCC (2000a) em relação ao revisado de 1996 aplicado no primeiro Relatório de Referência. Reuniram-se informações de

frações de efluentes com rede coletora para o período de 1992 a 1995 obtidas da PNAD (IBGE, 2009).

Para estimar as frações de efluentes $WS_{i,x}$ para os de 1995 a 2008, reuniram-se dados de frações de efluentes com rede coletora de 1995 a 2008 obtidas da PNAD (IBGE, 2009). Esses dados foram combinados com a fração de efluentes de 2000 do IBGE (2002), gerando o Gráfico 11.

Os dados do Gráfico 8 foram empregados na definição das frações coletadas e não coletadas como é demonstrado na Figura 10 a seguir.

As frações coletadas e não coletadas para o período entre 1995 e 2008 foram obtidas dos dados da PNSB e PNAD.

A seguir, são definidas as demais frações dos sistemas de tratamento anaeróbio ou lançamento sem tratamento em nível estadual para o período entre 1990 e 1994 e para o período entre 1995 e 2008. Dados para isso não estão disponíveis na literatura nacional para cada ano. As soluções para os períodos de 1990 a 1994 e 1995 a 2008 são diferentes.

Período 1990 a 1994

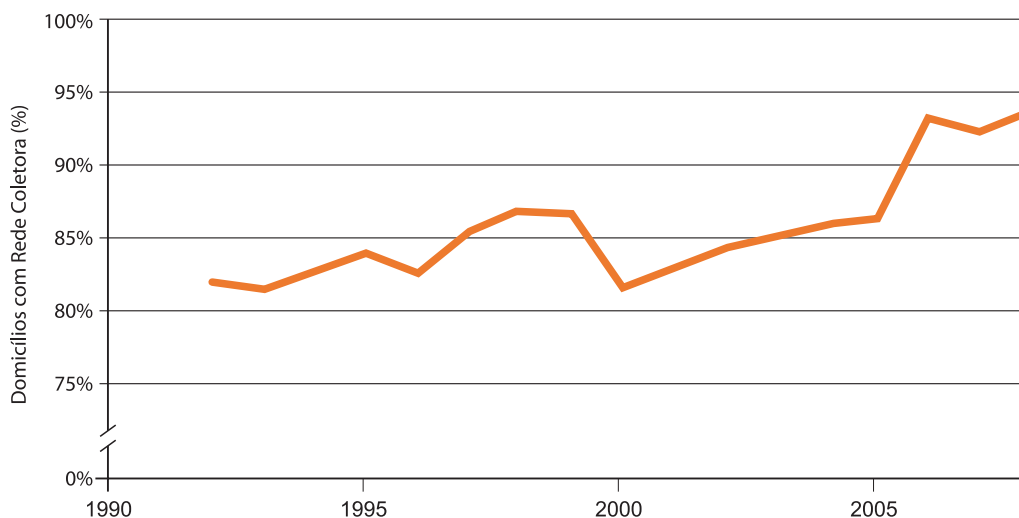
Para o período entre 1990 e 1994 utilizaram-se as frações de efluentes tratados pelos sistemas anaeróbios do Relatório de Referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2006). Esses dados nacionais foram aplicados para o Estado de São Paulo:

- as frações de efluentes tratados por lagoas em 1994 foram obtidas por interpolação dos dados de lagoa

18 Dados como os de tipo de tratamento de efluentes por Distrito só estão disponíveis no Brasil para o ano de 2000 na PNSB (IBGE, 2002).

19 Os dados do IBGE estão publicados agregados em nível nacional na PNSB de 1989, e desagregados no nível de estado no ano de 2000.

Gráfico 11. Fração de Domicílios com Rede Coletora de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



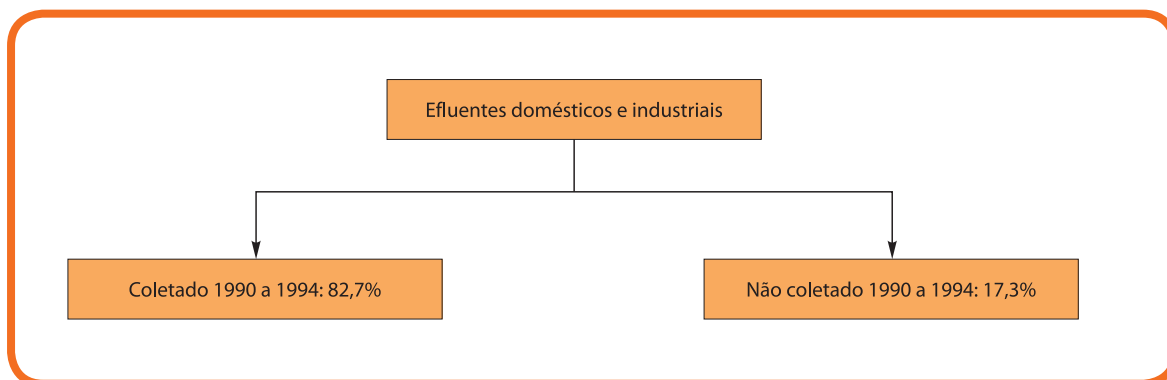
Fonte: PNAD IBGE (2009); PNSB IBGE (2002).

Nota (-): Dados inexistentes.

*O dado de 1994 não foi encontrado pela equipe técnica da CETESB na base de dados do IBGE na data da consulta, por essa razão, essa informação é o resultado da interpolação entre os dados de 1993 e 1995.

**o dado de 2000 provém da PNSB do IBGE (2002) que fornece a informação por distritos.

Figura 10. Fração de Efluentes Coletados e Não Coletados de 1990 a 1994 no Estado de São Paulo



da PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico) (IBGE, 1992, 2002).

- as frações de reatores anaeróbios provêm de Brasil (2006); e
- as de fossas sépticas provêm da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios) de 1992, 1993 e 1995 (IBGE, 2009).

As informações reunidas são mostradas na Tabela 25.

Tabela 25. $WS_{i,x}$ do Ano de 1994 e Empregados no Período de 1990 a 1994 no Estado de São Paulo

$WS_{i,x}$	
São Paulo	
Lançamento em cursos d'água	0,534
Reator anaeróbio	0,018
Lagoa anaeróbia	0,050
Fossas sépticas e sumidouros	0,225

Fonte: CETESB (2010b)

Período 1995 a 2008

Os dados para estimar o $WS_{i,x}$ de 1995 a 2008 são os de distritos apresentados na PNSB (IBGE, 2002).

O IBGE não apresenta a população desses distritos ou fornece maiores detalhes²⁰ a respeito da informação associada aos destinos possíveis para os efluentes domésticos. Dessa maneira, considera-se, por hipótese, para a estimativa do $WS_{i,x}$ que todos os distritos têm mesma população.

A experiência permite afirmar que cada distrito pode possuir mais de um tipo de tratamento de esgotos e as unidades podem estar dispostas em série ou em paralelo. Por exemplo: com base na Tabela 26, as lagoas (12, 13, 14) são amplamente utilizadas para o tratamento de esgotos no Estado de São Paulo. Esse é um exemplo de emprego dos sistemas em série como é o caso do sistema australiano composto de uma lagoa anaeróbia seguida de outra facultativa. Mais um exemplo, é o emprego de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e de maturação. Assim, o distrito atendido por essa instalação pode reportar duas ou três unidades distintas, mas que compõem um mesmo sistema.

Outra característica que deve ser considerada é a existência de sistemas de tratamento convencionais aeróbios compactos como os das colunas 5, 6²¹ e 8 da Tabela 26.

Para a definição do $WS_{i,x}$, o ideal seria que houvessem dados de população atendida por destino do efluente doméstico, assim como apresenta o método. Uma alternativa é a simples definição da distribuição

percentual dos sistemas. Todavia, considerando as diferentes possibilidades de aplicação das unidades de tratamento, foram apresentados:

- 1) O efluente coletado e tratado apresentado na Tabela 26, é representado pela soma dos diferentes destinos nos distritos sendo, 5 (filtro biológico), 6 (lodo ativado), 7 (reator anaeróbio), 8 (valo de oxidação), 9 (lagoa anaeróbia), 10 (lagoa aeróbia), 11 (lagoa aerada) 12 (lagoa facultativa), 13 (lagoa mista) e 14 (lagoa de maturação) e 15 (fossa séptica condominial).
- 2) O efluente sem coleta é apresentado na Tabela 27, representado pela soma dos diferentes destinos nos distritos sendo, 19 (fossas sépticas e sumidouros), 20 (fossas secas), 21 (valas abertas), 22 (efluente não coletado, lançado em mar, rio ou lago).
- 3) Em relação ao efluente coletado e não tratado apresentado na Tabela 28, considerou-se que o mesmo é lançado em mar, rio ou lago.
- 4) A quantidade reportada para 12 (lagoa facultativa), 13 (lagoa mista), 14 (lagoa de maturação), por, geralmente, estar em série com outra unidade de tratamento e receber cerca de 50% (TCHOBANOGLIOUS et al., 1991) da quantidade de matéria orgânica recebida pelo sistema de tratamento, foi proporcionalmente reduzida na estimativa do $WS_{i,x}$.

20 Para a estimativa das emissões de GEE seriam necessárias as informações indicadas pelo método do IPCC, como: População atendida ou não por sistema de tratamento (um sistema de tratamento pode incluir várias unidades com tecnologias diferentes em série ou em paralelo).

21 Estima-se que 2/3 da carga orgânica seja degradada aerobiamente no sistema de lodo ativado do estado no ano de 2000.

- 5) A quantidade reportada por 6 (lodo ativado)²², foi considerada equivalente a 33% (TCHOBANOGLIOUS et al., 1991), pois apenas essa fração da matéria orgânica que entra no sistema de lodo ativado é degradada por digestão anaeróbia sendo proporcionalmente reduzida na estimativa do $WS_{i,x}$.
- 6) Não são consideradas as quantidades listadas pelo IBGE dos destinos classificados como outros e sem declaração. Desconhecendo a descrição do sistema supõe-se que se trata de dado de menor importância, além de não haver como usar essa informação nas estimativas.

Os dados de distritos por destino dado ao efluente e as estimativas do $WS_{i,x}$ no período de 1995 a 2008 são apresentados na Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28.

Tabela 26. Distritos e Estimativa de $WS_{i,x}$ do Efluente Coletado e Tratado no Ano de 2000 e Empregado para o Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

São Paulo	Distritos	Soma das Unidades de Tratamento*	Filtro Biológico	Lodo Ativado**	Reator Anaeróbio	Valo de Oxidação	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Aeróbia	Lagoa Aerada	Lagoa Facultativa**	Lagoa Mista**	Lagoa de Maturação**	Fossa Séptica Condominial
Referência Figura 12			(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Distritos	1.022	739	41	51	18	9	149	55	24	111	12	6	33
$WS_{i,x}$			0,030	0,038	0,013	0,007	0,111	0,041	0,018	0,082	0,009	0,004	0,025

Fonte: Adaptado IBGE (2002)

*A soma das unidades de tratamento nos distritos, foi composta pela soma dos distritos que apresentavam os tipos de tratamento listados pelo IBGE. Dos dados apresentados na coluna 6 (lodo ativado) foi descontado 2/3 dos distritos, pois considerou-se que esta proporção seria referente à digestão aeróbia.

** A quantidade reportada na coluna 12 (lagoa facultativa), 13 (lagoa mista), 14 (lagoa de maturação), por estar em série com uma outra unidade de tratamento e receber cerca de 50% (TCHOBANOGLIOUS et al., 1991) da quantidade de matéria orgânica recebida pelo sistema de tratamento, foi proporcionalmente reduzida para a estimativa do $WS_{i,x}$.

A seguir, na Tabela 27, são estimados os $WS_{i,x}$ dos efluentes não coletados.

Tabela 27. Distritos e $WS_{i,x}$ do Efluente sem Coleta no Ano de 2000 Empregado para o Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo

São Paulo	Distritos	Sem Rede Coletora*	Fossas Sépticas e Sumidouros	Fossas Secas	Valas Abertas	Lançamento em Cursos d'Água
Referência Figura 12		(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
Distritos	1.022	52	25	27	0	0
$WS_{i,x}$		0,0509	0,0245	0,0264	0,0000	0,0000

*Não foram consideradas as quantidades listadas pelo IBGE dos destinos classificados como outros e sem declaração.

Fonte: Adaptado PNSB (IBGE, 2002)

22 Estima-se que 1/3 da carga orgânica seja degradada anaerobiamente no sistema de lodo ativado.

Finalmente, define-se o $WS_{i,x}$ correspondente ao efluente coletado e não tratado apresentado na Tabela 28.

Tabela 28. Distritos e $WS_{i,x}$ do Efluente Coletado e Não Tratado

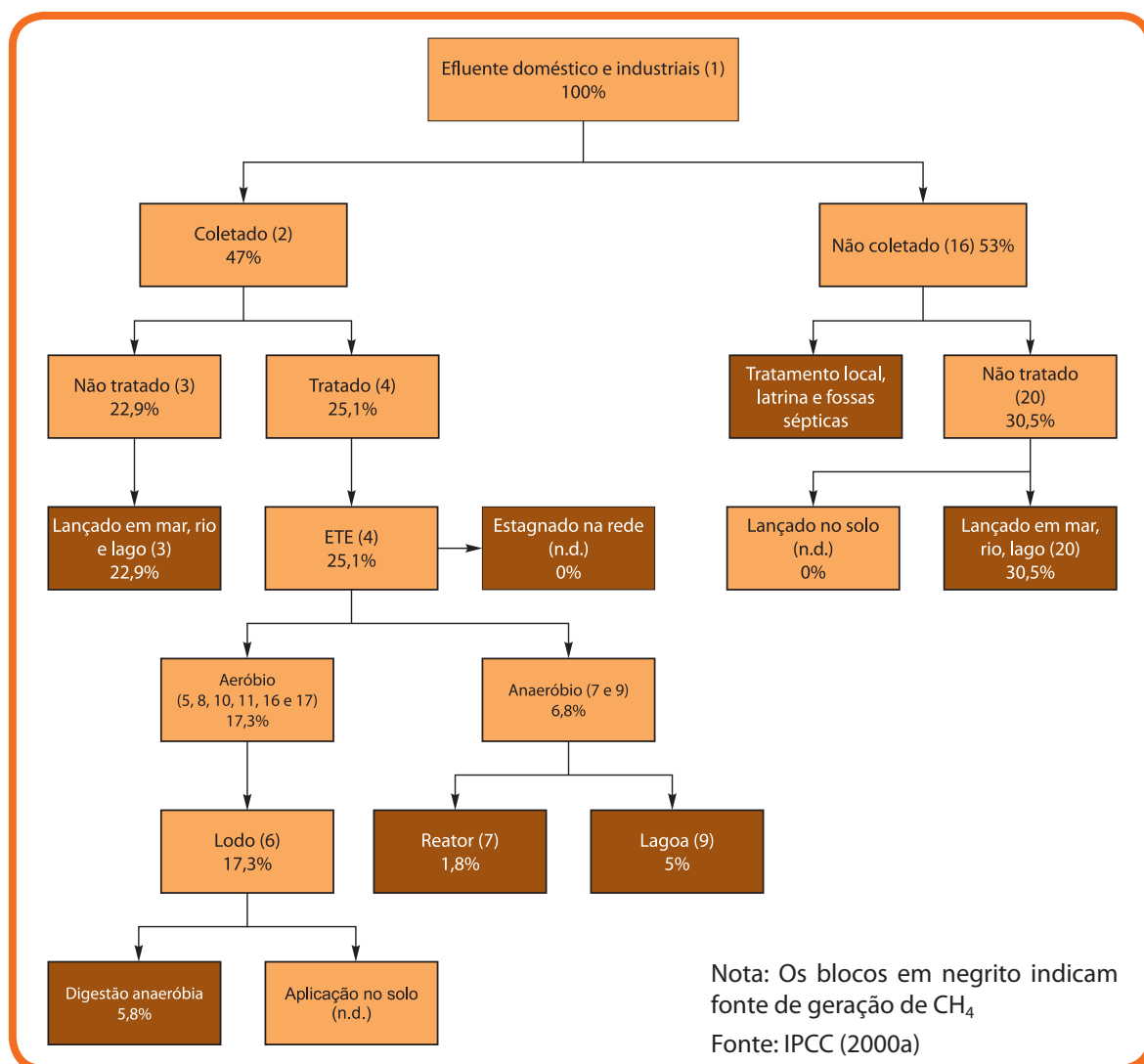
	Total	Sem Rede Coletora	Coletado*	Com Coleta e Tratamento	Coletado não Tratado**
Referência Figura 12		(16)	(2)	(4)	(3)
Distritos	1.022	52	970	561	409
$WS_{i,x}$		0,0509	0,9491	0,5489	0,4002

*O número de distritos com efluente coletado foi obtido da subtração entre o dado da coluna total e o dado da coluna sem rede coletora.

**O número de distritos com efluente coletado não tratado foi obtido da subtração entre o dado da coluna coletado e o da coluna com coleta e tratamento. Considerou-se que o efluente coletado e não tratado é lançado no mar, rio ou lago.

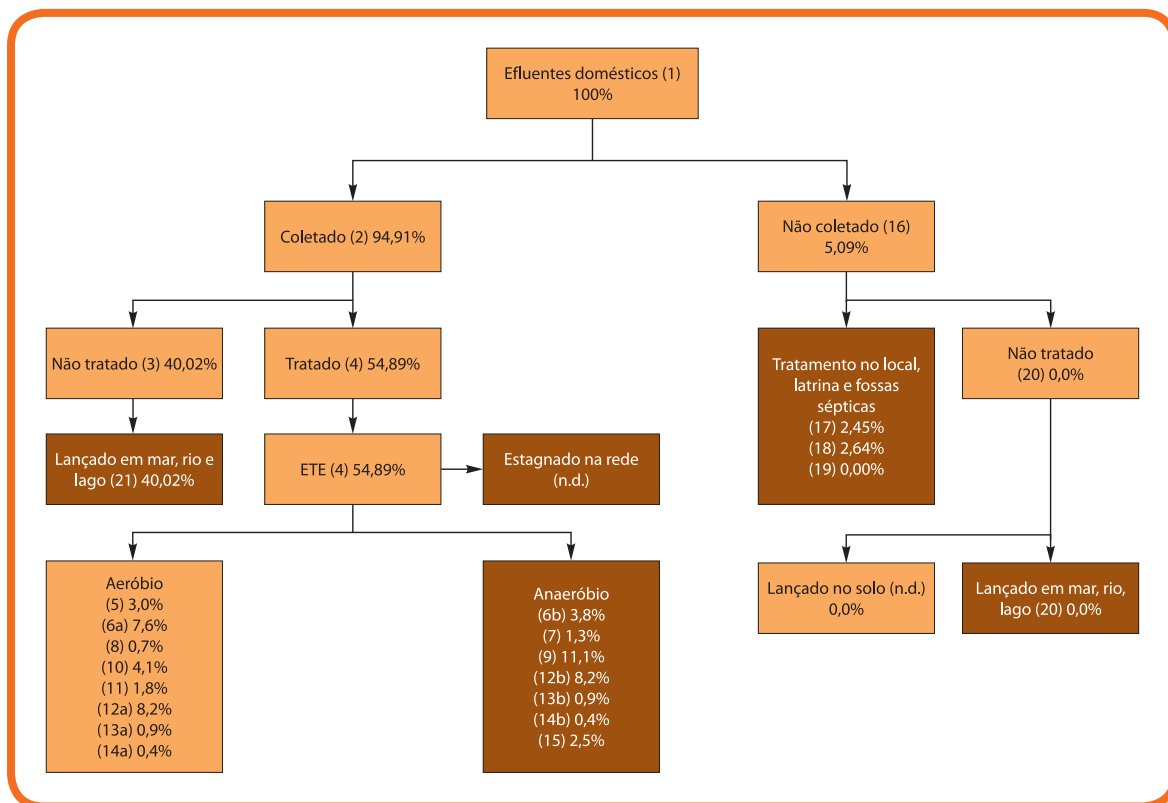
As frações utilizadas para os anos de 1990 a 1994 são mostradas na Figura 11 e as frações dos anos de 1995 a 2008, na Figura 12.

Figura 11. $WS_{i,x}$ no Brasil Aplicado no Ano de 1994, Utilizadas para o Período entre 1990 e 1994 no Estado de São Paulo



A seguir, na Figura 12, estão as frações utilizadas para os anos de 1995 a 2008.

Figura 12. $WS_{i,x}$ no Brasil e Aplicado no Ano de 2000, Empregado no Período de 1995 a 2008 no Estado de São Paulo



Nota 1: Os números entre parênteses se referem aos destinos x, apresentados na legenda abaixo.

Nota 2: Considerou-se n.d. igual a zero.

Nota 3: Foi considerado que 50% da carga orgânica recebida na lagoa facultativa, lagoa mista e lagoa de maturação, é tratada de forma aeróbia (12a, 13a, 14a) e 50% de forma anaeróbia (12b, 13b, 14b).

Nota 4: Foi considerado que 67% da carga orgânica recebida no tratamento por lodo ativado, é tratada de forma aeróbia (6a) e 33% de forma anaeróbia (6b).

Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

Legenda:

- | | |
|--|---|
| 1 Efluentes domésticos | 13a Lagoa mista (digestão aeróbia – 1/2 aeróbio) |
| 2 Efluentes coletados | 13b Lagoa mista (digestão anaeróbia – 1/2 anaeróbio) |
| 3 Efluentes não tratados | 14a Lagoa de maturação (digestão aeróbia – 1/2 aeróbio) |
| 4 Estação de tratamento de esgotos ETE | 14b Lagoa de maturação (digestão anaeróbia – 1/2 anaeróbio) |
| 5 Filtro biológico | 15 Fossa séptica condominial |
| 6a Lodo ativado (digestão aeróbia – 2/3 aeróbio) | 16 Efluentes não coletados |
| 6b Lodo ativado (digestão anaeróbia – 1/3 anaeróbio) | 17 Fossas sépticas e sumidouros |
| 7 Reator anaeróbio | 18 Fossas secas |
| 8 Valo de oxidação | 19 Valas abertas |
| 9 Lagoa anaeróbia | 20 Lançado em mar, rio e lago (efluente não coletado) |
| 10 Lagoa aeróbia | 21 Lançado em mar, rio e lago (efluente coletado não tratado) |
| 11 Lagoa aerada | 22 Soma dos diferentes destinos nos distritos |
| 12a Lagoa facultativa (digestão aeróbia – 1/2 aeróbio) | |
| 12b Lagoa facultativa (digestão anaeróbia – 1/2 anaeróbio) | |

A seguir, na Tabela 29 são resumidos apenas os dados dos destinos que apresentam emissão de CH₄.

Tabela 29. WS_{i,x} por Destino Anaeróbico dos Efluentes, com Emissão de CH₄, em 2000 Empregada para o Período de 1995 a 2008

São Paulo	Lançamento em Cursos d'Água com Coleta	Digestão Anaeróbia	Reator Anaeróbico	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa	Lagoa Mista	Lagoa de Maturação	Fossa Condominial	Fossas Sépticas e Sumidouros	Fossas Secas	Valas Abertas	Lançamento em Cursos d'Água sem Coleta
Referência Figura 12	(21)	(6b)	(7)	(9)	(12b)	(13b)	(14b)	(15)	(17)	(18)	(19)	(20)
WS _{i,x}	0,400	0,038	0,013	0,111	0,082	0,009	0,004	0,025	0,025	0,0264	0,000	0,000

Fator de Conversão de CH₄ por Destino x (MCF_x)

Para os fatores de conversão de CH₄ de cada destino x, foram utilizados os *default* do IPCC (2006), reproduzidos na Tabela 30 logo abaixo. Esses dados foram empregados na determinação do MCF_i de 1990 a 2008.

Tabela 30. *Default* de MCF_x

Tipo de Tratamento e Destino do Efluente ou Sistema Alternativo	MCF	Referência na Figura 12
Sistema Sem Rede Coletora		
Fossas sépticas e sumidouros	0,5	(17)
Fossas secas	0,1	(18)
Vala aberta*	0,1	(19)
Lançamento em cursos d'água sem coleta	0,1	(20)
Sistema Com Rede Coletora		
Lodo ativado/Digestor anaeróbico	0,8	(6)
Fossa séptica	0,5	(17)
Reator anaeróbico	0,8	(7)
Lagoa anaeróbia	0,8	(9)
Lagoa facultativa*	0,2	(12)
Lagoa mista*	0,2	(13)
Lagoa de maturação*	0,2	(14)
Fossa séptica condominial*	0,5	(15)
Lançamento em cursos d'água com coleta	0,1	(21)

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

Nota (*): Julgamento de especialista.

3.3.6 Média Ponderada (MCF_i)

Reunidos os dados de $WS_{i,x}$ e MCF_x , estimou-se a média ponderadas do MCF_i , do Estado de São Paulo, conforme a equação 16. Para a estimativa do MCF_i do período de 1990 a 1994, foram empregados os dados da Tabela 25 ($WS_{i,x}$) da página 84 e Tabela 30 (MCF_x) da página 89.

Para a estimativa do MCF_i do período de 1995 a 2008, foram empregados os dados da Tabela 26 ($WS_{i,x}$), Tabela 27 ($WS_{i,x}$) e Tabela 28 ($WS_{i,x}$) e Tabela 30 (MCF_x). A Tabela 31 apresenta os MCF_i dos efluentes domésticos no Estado de São Paulo.

Tabela 31. Médias Ponderadas (MCF_i) dos Efluentes Domésticos

Período	Média Ponderada dos MCF_i
1990 a 1994	0,2203
1995 a 2008	0,2158

3.3.7 Metano Recuperado (R)

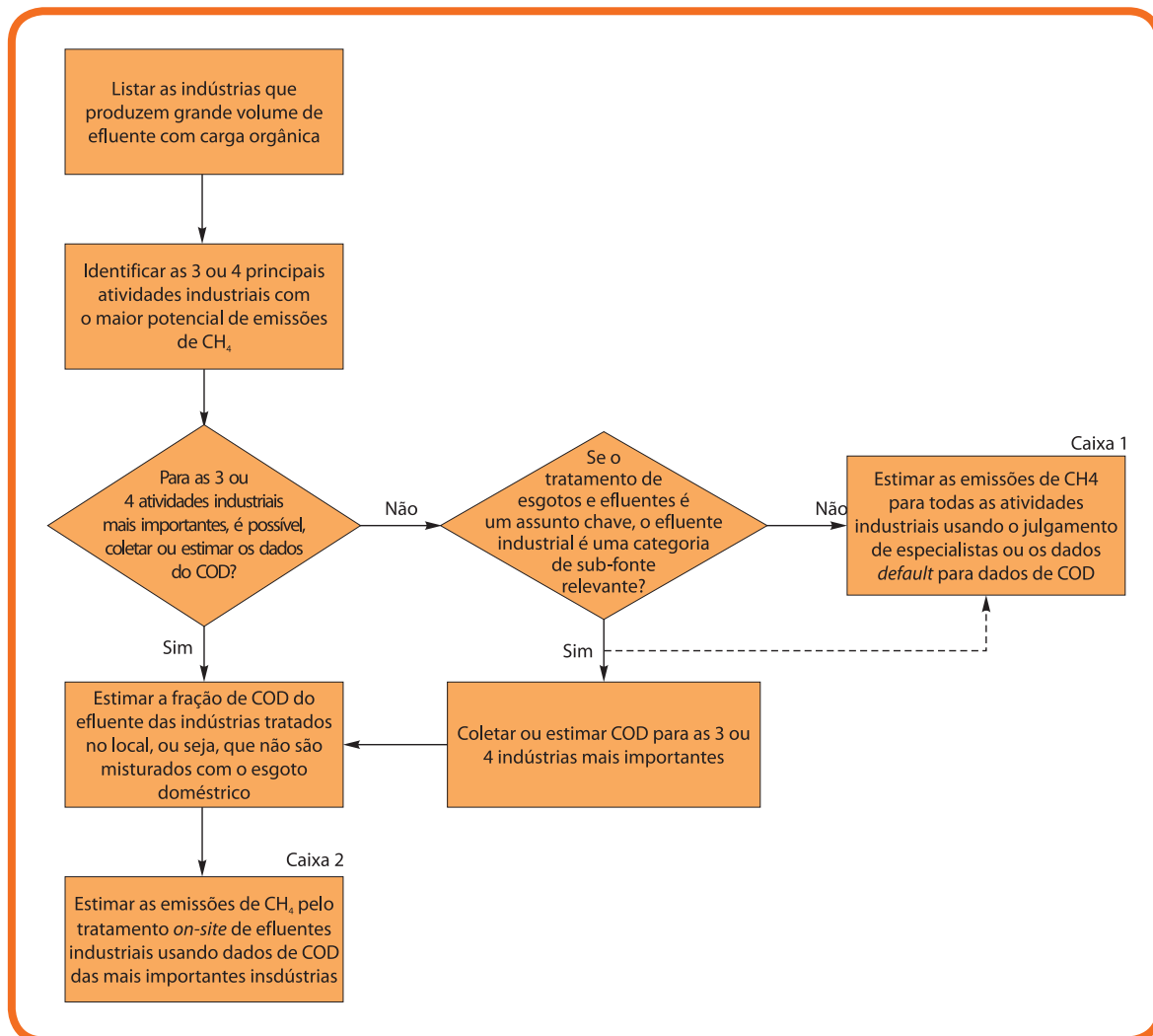
Considerou-se que o CH_4 recuperado em reatores anaeróbios e digestores anaeróbios de sistemas de lodos ativados contém sempre um queimador, pois essa é a prática verificada no Brasil. Então, 100% do CH_4 dessas instalações passa por queimadores. Adotou-se que a eficiência de queima dos queimadores é de 50%. Para as emissões em sistemas de tratamento de lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, lagoa mista, lagoa de maturação, fossa condominial, fossas sépticas e sumidouros, fossas secas, valas abertas e lançamentos de efluentes sem tratamento em corpos d'água, considerou-se (R) igual a zero.

Assim, da estimativa total de emissões do Setor de Efluentes Domésticos é descontada a quantidade estimada de (R).

3.4 Estratégia das Estimativas das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais

Para estimar as emissões de CH₄ considerou-se a árvore de decisões descrita na Figura 13. A equipe responsável por esse levantamento acrescentou uma única linha tracejada nessa árvore para descrever a estratégia adotada. Outras explicações podem ser encontradas logo mais adiante.

Figura 13. Árvore de Decisão para Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais.



Nota 1: A fonte chave é priorizada no sistema do inventário porque esta estimativa tem significativa influência no inventário estadual de GEE em termos de níveis absolutos de emissões, tendência das emissões ou ambos.

Nota 2: Como regra geral, uma categoria de subfonte pode ser significativa se representar de 25 a 30% das emissões da categoria da fonte.

Nota 3: *Chemical Origin Demand* (COD) é a Demanda Química de Oxigênio (DQO), porém, nas estimativas, foram empregados dados de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Fonte: IPCC (2000a)

Da árvore de decisão acima, tem-se o seguinte resumo, que justifica a estratégia de elaboração da estimativa das emissões de CH₄ pelo tratamento anaeróbio de efluentes industriais.

Conforme as recomendações iniciais da árvore de decisões, deve-se listar as indústrias que produzem grande volume de efluente com carga orgânica e identificar as 3 ou 4 principais atividades industriais com maior potencial de emissões de CH₄. Assim, foram listadas as atividades industriais que produzem grande volume de carga orgânica, identificando as principais atividades industriais com maior potencial de emissões de CH₄.

Não foram coletados os dados de DQO, mas sim de DBO.

Desconhecendo a proporção das emissões de efluentes industriais frente às demais fontes estimadas no inventário estadual, definiu-se que o tratamento de esgotos e efluentes é uma fonte chave.

Segundo a recomendação da árvore de decisões, deve-se coletar ou estimar, para as 3 ou 4 mais importantes indústrias, a faixa de DBO dos efluentes tratados no local (não descarregados na rede coletora do município), e calcular as emissões de CH₄, conforme descreve a Caixa 2 da árvore.

3.5 Método de Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais

A estimativa das emissões de CH₄ pelo tratamento de efluentes industriais no Estado de São Paulo em processos anaeróbios de reatores e lagoas foi feita empregando o método do IPCC (1996, 2000a), descrito a seguir:

Equação 19. Estimativa²³ de Emissão de CH₄ por Tratamento Anaeróbio de Efluentes Industriais

$$\text{Emissões} = TOW_{ind} \cdot FE_i - R$$

onde:

Emissões	= Quantidade de metano gerada ao ano	[kg _{CH₄} ·ano ⁻¹]
TOW _{ind}	= Efluente industrial orgânico total	[kg _{DQO} ·ano ⁻¹] ou [kg _{DBO} ·ano ⁻¹]
FE _i	= Fator de emissão	[kg _{CH₄} ·kg _{DQO} ⁻¹] ou [kg _{CH₄} ·kg _{DBO} ⁻¹]
R	= Metano recuperado ao ano	[kg _{CH₄} ·ano ⁻¹]

Pode-se calcular o efluente industrial orgânico total pela Equação 20, abaixo.

Equação 20. Estimativa do Efluente Industrial Orgânico Total

$$TOW_{ind} = P_i \cdot D_{ind}$$

onde:

P _i	= Produção industrial	[t _{produto} ·ano ⁻¹]
D _{ind}	= Emissão de carga orgânica	[kg _{DBO} ·t _{produto} ⁻¹]

Para os casos em que não se dispõe de dados estaduais das frações por tipo de tratamento, o IPCC sugere substituir a Equação 16, utilizada para o cálculo das emissões de efluentes domésticos, conforme é mostrado abaixo incorporando julgamento de especialistas em saneamento.

Determinou-se a média ponderada dos MCF_i através de julgamento de especialistas.

Equação 21. Estimativa do Fator de Emissão para Efluentes Industriais

$$FE_i = B_{0i} \cdot \text{Média ponderada dos MCF}_i$$

onde:

B _{0i}	= Capacidade máxima de produção de metano para efluentes industriais	[kg _{CH₄} ·kg _{DBO} ⁻¹] ou [kg _{CH₄} ·kg _{DQO} ⁻¹]
Média ponderada dos MCF _i	= Fração de DQO que degrada anaerobiamente	[adimensional]

23 O IPCC (2000a) afirma que o método de estimativa de GEE para efluentes industriais é semelhante ao empregado nas estimativas em efluentes domésticos. A equação empregada baseia-se na Equação 7 deste documento.

O método empregado na estimativa do R para o período de 1990 a 1994 foi o seguinte:

Equação 22. Metano Recuperado de 1990 a 1994

$$R = TOW_{\text{reator}} \cdot FE_{\text{reator } 90-94} \cdot \text{Eficiência}$$

onde:

Variável	Descrição	Fórmula
TOW_{Reator}	= Carga orgânica que é coletada e tratada em reator anaeróbio e digestor	$TOW_{\text{Reator}} = TOW \cdot WS_{\text{Reator}}$
$FE_{\text{reator } 90-94}$	= Fator de emissão de CH_4	$FE_{\text{reator } 90-94} = B_{0i} \cdot WS_{\text{Reator}} \cdot MCF_{\text{Reator}}$
Eficiência	= Eficiência de queima do CH_4	

O método empregado na estimativa do R para o período de 1995 a 2008 foi o seguinte:

Equação 23. Metano Recuperado de 1995 a 2008.

$$R = TOW_{\text{reator e digestor}} \cdot FE_{\text{reator e digestor } 95-08} \cdot \text{Eficiência}$$

onde:

Variável	Descrição	Fórmula
$TOW_{\text{Reator e Digestor}}$	= Carga orgânica que é coletada e tratada em reator anaeróbio	$TOW_{\text{Reator e Digestor}} = TOW \cdot WS_{\text{Reator}} + TOW \cdot WS_{\text{Digestor}}$
$FE_{\text{reator } 95-08}$	= Fator de emissão de CH_4	$FE_{\text{reator e digestor } 95-08} = B_o \cdot (WS_{\text{Reator}} + WS_{\text{Digestor}}) \cdot MCF_{\text{Reator}}$
Eficiência	= Eficiência de queima do CH_4	50%

3.6 Dados de Emissões de CH₄ pelo Tratamento de Efluentes Industriais

De acordo com a NBR 9.800/1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente de estabelecimentos industriais, compreendendo emanações de processos industriais, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

3.6.1 Identificação das Principais Atividades Industriais com Maior Potencial de Emissões de CH₄

O IPCC (2000a) apresenta uma simplificação em relação ao método Revisado do IPCC (1996). Recomenda-se listar as atividades industriais que produzem os maiores volumes de carga orgânica, classificando as 3 ou 4 principais atividades industriais com maior potencial de emissão de CH₄.

Não foi reeditado o documento empregado na época da realização do primeiro Relatório de Referência – o estudo elaborado pela CETESB e PRONACOP da década de 80. Essa publicação ainda é a melhor informação a respeito da geração de carga orgânica pela indústria no país. Assim, para classificação das principais atividades industriais, com relação ao potencial de emissão de CH₄, que está relacionado ao potencial de produção de carga orgânica, além do Relatório de Referência de emissões de CH₄ no tratamento e na disposição de resíduos (BRASIL, 2006), foram consultados especialistas que, a partir da lista das atividades industriais com maior potencial de geração de carga orgânica, buscando dados relativos à produção industrial dessas atividades para o ano de 2008. Tais dados foram obtidos na Pesquisa Industrial Anual (PIA-Produto) (IBGE, 2009a), no Anuário estatístico do IBGE – 2005 (IBGE, 2006) e com as entidades representativas dos principais setores industriais como: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (ABRAPA), Associação Brasileiras das Indústrias da Alimentação (ABIA), Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA) e União

da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA).

Visando manter a possibilidade de comparação desse documento com o levantamento em nível nacional, foi observado o levantamento das principais atividades em nível nacional. Na Tabela 32, é apresentado o resumo dos dados de produção industrial (P_i) de 27 setores da economia do Brasil no ano de 2005.

Assim como foi feito no levantamento nacional, para definir as principais atividades industriais consideradas com maior potencial de emissão de CH₄, estimou-se a geração de carga orgânica (D_{ind}) para o ano de 2005, utilizando-se os dados de produção industrial (P_i) para o ano de 2005 e os fatores de emissão presentes no relatório de referência das emissões dos anos de 1990 a 1994 do Setor de Resíduos (BRASIL, 2006), com exceção dos fatores de emissão para a produção que foram revistos:

- de álcool igual a $220\text{kg}_{\text{DBO}}\cdot\text{t}^{-1}$ (WHO, 1982 apud SALVADOR, 1991); e
- de celulose igual a $2\text{kg}_{\text{DBO}}\cdot\text{t}^{-1}$ (BRACELPA, 2010).

A seguir, na Tabela 33, são apresentados os respectivos 27 fatores de emissão (D_{ind}) utilizados para a estimativa do potencial de geração de carga orgânica dos efluentes industriais brasileiros.

A partir dos dados de P_i , apresentados na Tabela 32, e dos D_{ind} , apresentados na Tabela 33, estimou-se o potencial de geração de carga orgânica para o ano de 2005 em nível nacional e no Estado de São Paulo. Esses dados representam o potencial de geração de carga orgânica do Setor

Tabela 32. Produção Industrial (P_i) no Ano de 2005 do Brasil

Setores	P_i [t.ano ⁻¹]	Ref.
Petróleo/Refinaria petroquímica	98.630.518	1
Açúcar	25.905.723	2
Leite cru	24.915.456	3
Álcool	12.588.557	2
Celulose	10.352.113	1
Cervejas*	9.214.807	3
Papel	8.597.307	4
Aves	7.865.780	1
Bovinos	6.345.811	1
Leite pasteurizado	5.189.665	3
Suínos	2.156.518	1
Algodão	1.037.856	5
Amônia	924.720	4
Benzeno, tolueno e xileno	915.899	4
PVC	911.084	4
Ácido nítrico 99%	549.103	4
Leite em pó	526.375	4
Estireno monômero	518.827	4
Leite condensado	287.747	4
Metanol	236.817	4
Formaldeído	221.871	4
Peixe em conservas	123.765	4
Manteiga	79.812	4
Acetato de vinila	58.412	4
Ácido acético	53.635	4
Queijos	5.588	1
Acetona	1.752	4

* Unidade: [m³.ano⁻¹]

Fonte: CETESB (2010a); 1 – Anuário estatístico – IBGE (2005); 2 – UNICA (2012); 3 – ABIA (2008); 4 – IBGE – PIA – Produto (2005); 5 – ABRAPA (2008)

Industrial e são apresentados na Tabela 34. Na mesma tabela, aplicou-se a curva ABC²⁴ e selecionaram-se os setores classe A, de açúcar a bovinos, que abrangem 99,13% das emissões de matéria orgânica dos

Tabela 33. Fatores de Emissão de Carga Orgânica (D_{ind}) no Estado de São Paulo

Setores	D_{ind} [kgDBO.t ⁻¹]	Ref.
Petróleo/Refinaria petroquímica	0,2	7
Açúcar	200	1
Leite cru	11	1
Álcool	220	2
Celulose	2	6
Cervejas	62,1	1
Papel	8	2
Aves	7	1
Bovinos	7	4
Leite pasteurizado	11	3
Suínos	30	1
Algodão	155	2
Amônia	0,2	2
Benzeno, tolueno e xileno	0,1	3
PVC	10	2
Ácido nítrico 99%	0,25	3
Leite em pó	41	5
Estireno monômero	1	3
Leite condensado	5,6	5
Metanol	0,49	2
Formaldeído	0,35	2
Peixe em conservas	7,9	2
Manteiga	29,4	5
Acetato de vinila	0,35	2
Ácido acético	0,35	2
Queijos	28,8	5
Acetona	0,35	2

* Unidade: [kg_{DBO}.m⁻³]

Fonte: CETESB (2010a); 1 – CETESB (1984) apud SALVADOR (1991); 2 – WHO (1982) apud SALVADOR (1991); 3 – LARRONDO (1979); 4 – DERISIO (2000); 5 – GARCIA (1997); 6 – BRACELPA (1997) apud BRASIL (2006); 7 – IPCC (2000a)

efluentes gerados no Brasil, totalizando 10 setores dos 27 estudados inicialmente.

Como se observa na Tabela 34, ao contrário de 3 ou 4 setores industriais,

24 A curva ABC é um recurso para identificar os itens mais importantes a considerar dentro de uma quantidade, geralmente, grande de itens.

como recomenda o IPCC (2000a), foram selecionados 10 setores. A orientação do método implicaria na inclusão de 94,30% das emissões. A opção dessa estimativa implica em pouco mais de 5% de diferença para maior em relação à orientação original do IPCC. Todavia, na elaboração do documento nacional, o maior número de setores incluídos visou, prin-

cipalmente, minimizar eventuais exclusões que podem ser significativas em uma determinada região, porém não em nível nacional. Isso pode ocorrer em função das diferentes características de produção das regiões do país. Desta forma, o levantamento acima é válido em nível estadual ao mesmo tempo em que é compatível com aquele em nível nacional.

Tabela 34. Emissões de DBO dos Setores Industriais mais Representativos para o Ano de 2005 no Brasil

Setores	Pi(2005)	Ref.	Dind	Ref.	TOW	Representati- vidade de Acordo com a DBO	Curva ABC
	a		b		c = a . b	d = c/soma total de c	e = acumulada
	[t.ano ⁻¹]		[kg _{DBO} .t ⁻¹]		[kg _{DBO} .ano ⁻¹]	[%]	[%]
Açúcar	25.905.723	9	200,0	1	5.181.144.600	55,54	55,54
Álcool	12.588.557	9	220,0	2	2.769.482.540	29,69	85,23
Cervejas	9.214.807	10	62,1	1	572.239.515	6,13	91,36
Leite cru	24.915.456	10	11,0	1	274.070.016	2,94	94,30
Leite pasteurizado	5.189.665	10	11,0	5	57.086.315	0,61	98,07
Algodão	1.037.856	11	155,0	2	160.867.680	1,72	96,03
Papel	8.597.307	12	8,0	2	68.778.456	0,74	96,76
Suínos	2.156.518	13	30,0	1	64.695.540	0,69	97,46
Aves	7.865.780	13	7,0	1	55.060.460	0,59	98,66
Bovinos	6.345.811	13	7,0	8	44.420.677	0,48	99,13
Leite em pó	526.375	12	41,0	7	21.581.375	0,23	99,37
Celulose	10.352.113	13	2,0	3	20.704.226	0,22	99,59
Petróleo/Refinaria petroquímica	98.630.518	13	0,2	6	19.726.104	0,21	99,80
PVC	911.084	12	10,0	2	9.110.840	0,10	99,90
Ácido acético	53.635	12	63,0	2	3.378.987	0,04	99,93
Manteiga	79.812	12	29,4	7	2.346.473	0,03	99,96
Leite condensado	287.747	12	5,6	7	1.611.383	0,02	99,98
Peixe em conservas	123.765	12	7,9	2	977.744	0,01	99,99
Estireno monômero	518.827	12	1,0	5	518.827	0,01	99,99
Amônia	924.720	12	0,2	2	184.944	0,00	99,99
Queijos	5.587	13	28,8	7	160.923	0,00	100,00
Ácido nítrico 99%	549.103	12	0,25	5	137.276	0,00	100,00
Metanol	236.817	12	0,49	2	116.040	0,00	100,00
Benzeno, tolueno e xileno	915.899	12	0,1	5	91.590	0,00	100,00
Formaldeído	221.871	12	0,35	2	77.655	0,00	100,00
Acetato de vinila	58.412	12	0,35	2	20.444	0,00	100,00
Acetona	1.752	12	0,35	2	613	0,00	100,00

Fonte: CETESB (2010a); 1 – CETESB (1984) apud SALVADOR (1991); 2 – WHO, 1982 apud SALVADOR (1991); 3 – BRACELPA (1997) apud BRASIL (2006); 4 – LARRONDO (1979); 5 – IPCC (2000a); 6 – GARCIA (1997); 7 – DERISIO (2000); 8 – UNICA (2009a); 9 – ABIA (2008); 10 – ABRAPA (2010)

3.6.2 Produção Industrial (P_i)

Os dados relativos à (P_i) dos setores que abrangem 99,13%²⁵ das emissões de matéria orgânica são mostrados na Tabela 36. Os dados de produção têm como principal fonte as associações dos setores produtivos, porém, na ausência de alguns dados, esses foram obtidos por meio de regressões como pode ser observado na tabela 35.

Tabela 35. Regressões Empregadas para a Obtenção de Dados de Produção

Produto	Regressão Linear [f(t)]	
	Coefficiente Angular	Coefficiente Linear
Leite cru	9.644,778501	-17.318.433,233537
Leite pasteurizado	3.529,931610	-6.072.588,881702
Suínos	786,098591	-1.437.101,105523
Aves	109.957,881247	-218.714.944,582241
Bovinos	49.852,805149	-98.487.581,718750

Tabela 36. Produção Industrial (P_i)²⁶ no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Produtos	Álcool	Açúcar	Cerveja ⁽¹⁾	Leite Cru ⁽¹⁾	Leite Pasteurizado ⁽¹⁾	Algodão	Papel	Suínos ⁽¹⁾	Aves ⁽¹⁾	Bovinos ⁽¹⁾
Referência	1	1	3	2	2	3	4	2	2	2
Ano	t.ano ⁻¹									
1990	6.128.119	3.471.138	3.611.813	1.854.437	984.021	474.200	2.093.811	127.235	101.239	719.501
1991	6.800.923	4.567.305	3.419.792	1.865.867	984.723	349.700	2.181.866	128.021	211.197	769.353
1992	6.242.306	5.746.092	3.273.756	1.877.298	985.426	373.700	2.175.972	128.807	321.155	819.206
1993	6.528.880	6.534.120	3.011.932	1.888.729	986.128	209.300	2.353.662	129.593	431.113	869.059
1994	6.861.426	7.598.359	2.831.157	1.900.159	986.830	245.000	2.510.197	130.379	541.071	918.912
1995	6.400.571	8.113.193	2.513.778	1.911.590	987.533	317.600	2.574.412	131.166	651.029	968.765
1996	7.062.306	9.068.672	2.624.619	1.923.020	988.235	181.200	2.742.141	131.952	160.986	1.018.617
1997	7.492.761	8.704.938	2.986.034	1.934.451	988.937	155.400	2.893.815	132.738	870.944	1.068.470
1998	7.116.881	11.787.753	2.785.315	1.945.881	989.640	191.100	2.925.650	135.028	947.306	1.097.033
1999	6.700.478	13.091.378	2.403.368	1.887.169	1.026.437	156.500	3.087.241	125.994	1.153.276	1.085.376
2000	5.080.460	9.675.481	2.948.715	1.971.701	958.713	157.700	3.196.859	133.282	1.167.491	1.193.037
2001	5.629.143	12.350.253	2.986.950	2.000.345	997.254	164.300	3.302.369	150.014	1.315.453	1.237.888
2002	6.067.954	14.347.908	3.526.637	2.023.870	998.429	159.000	3.451.617	133.431	1.380.689	1.439.439
2003	6.965.571	15.171.854	2.764.400	1.951.027	970.390	161.700	3.514.484	134.704	1.530.944	1.370.324
2004	7.185.784	16.494.931	2.972.898	2.020.664	963.501	182.700	3.752.870	138.116	1.658.000	1.477.102
2005	7.878.383	16.833.595	3.090.873	2.162.026	1.027.381	159.700	3.817.204	142.030	1.814.804	1.548.288
2006	8.608.000	19.503.032	3.588.599	2.154.335	939.758	106.434	3.873.736	140.992	1.803.715	1.494.236
2007	10.521.155	19.139.062	3.423.228	1.962.153	1.006.870	95.000	3.999.747	140.546	2.000.019	1.632.265
2008	13.194.035	19.662.436	3.679.766	1.958.981	1.036.673	55.500	4.177.796	135.619	2.135.220	1.591.458

Nota (1): Em decorrência da pouca disponibilidade de dados estaduais utilizou-se uma proporção média obtida entre os dados nacionais e os poucos dados estaduais disponíveis. Essa proporção foi aplicada sobre os dados nacionais para obtenção dos dados estaduais para os anos em que não foi possível obter um dado real. Nos casos onde não haviam dados nacionais, as estimativas foram realizadas empregando-se regressão linear.

Fonte: 1 – ÚNICA (2012); 2 – ABIA (2008); 3 – ABRAPA (2008); 4 – BRACELPA (2010)

25 Ano de referência : 2005.

26 Os dados de álcool, leite cru e leite pasteurizado, foram obtidos em $m^3.ano^{-1}$ e convertidos à $t.ano^{-1}$, empregando-se as respectivas densidades: álcool = $0,789g.cm^{-3}$, leite cru e pasteurizado = $1,03g.cm^{-3}$ (VIEIRA et al, 2005).

3.6.3 Fator de Emissão de Carga Orgânica por Unidade Produzida (D_{ind})

A Tabela 33, da página 96 desse documento, apresenta uma lista com vários fatores de emissão de carga orgânica dos efluentes industriais. Esses foram empregados em conjunto com dados de produção industrial para determinar os setores mais importantes da economia e cujas emissões seriam estimadas.

Para a adoção dos D_{ind} dos efluentes industriais foram consultadas várias fontes de informações, como técnicos e gestores da CETESB, técnicos de empresas de tecnologia de tratamento de efluentes e especialistas das associações de empresas dos respectivos setores. Também foi feita uma consulta bibliográfica para obtenção de D_{ind} por unidade produzida. A totalidade dos fatores encontrados, mesmo em bibliografia mais recente, tem como referência as mesmas fontes de informações do estudo de Salvador (1991) e suas respectivas referências, utilizado para elaboração do Primeiro Relatório de referência do Setor de Resíduos (BRASIL, 2006). Todas as informações foram analisadas e tratadas, sendo escolhidos os fatores de emissão mais representativos em relação ao sistema produtivo do Estado de São Paulo. Os fatores de emissão e as respectivas fontes bibliográficas são reproduzidos na Tabela 37.

Assim, tendo os dados de P_i e D_{ind} , obtém-se o TOW, apresentado na Tabela 38.

3.6.4 Capacidade Máxima de Produção de Metano (B_0)

Para estimar a B_0 utilizou-se o *default* do IPCC (2000a) de $0,6 \text{ kg}_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg}_{\text{DBO}}^{-1}$.

Tabela 37. Fator de Emissão de Carga Orgânica (D_{ind}) dos Principais Setores da Economia

	Setor Produtivo	Fator de Geração de DBO [$\text{kg}_{\text{DBO}} \cdot \text{t}^{-1}$]	Fonte
1	Alcool	220	1
2	Açúcar	200	2
3	Cervejas	62,1	2
4	Leite cru	11	2
5	Algodão	155	1
6	Papel	8	1
7	Suínos	30	2
8	Leite pasteurizado	11	4
9	Aves	7	2
10	Bovinos	7	3

Fonte: CETESB (2010a); 1 – WHO (1982) apud Salvador (1991); 2 – CETESB (1984) apud Salvador (1991); 3 – Derisio (2000); 4 – Larrondo (1979) apud Salvador (1991)

3.6.5 Fração de Efluente Industrial Tratado Usando Sistema Anaeróbio (WS_i)

Para estimativa das frações de efluentes tratados por tipo de tratamento, além da consulta a especialistas, já citada, utilizou-se o banco de dados de sistemas de tratamento de efluentes líquidos – STEL (CETESB, 1999).

A seguir, são apresentados os dados que permitem a obtenção da fração de sistemas de tratamento anaeróbios de três setores: álcool, açúcar e cerveja. Os demais: leite cru, algodão, papel, suínos, leite pasteurizado, aves e bovinos, não contam com dados no banco de dados STEL.

Tabela 38. TOW no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Álcool	Açúcar	Cervejas	Leite Cru	Leite Pasteurizado	Algodão	Papel	Suínos	Aves	Bovinos
	TOW [$t_{DBO}\cdot ano^{-1}$]									
1990	1.348.186	694.228	224.294	20.621	10.742	73.501	16.750	3.817	709	5.037
1991	1.496.203	913.461	212.369	20.728	10.511	54.204	17.455	3.841	1.478	5.385
1992	1.373.307	1.149.218	203.300	20.834	10.549	57.924	17.408	3.864	2.248	5.734
1993	1.436.353	1.306.824	187.041	20.940	10.588	32.442	18.829	3.888	3.018	6.083
1994	1.509.514	1.519.672	175.815	21.046	10.627	37.975	20.082	3.911	3.787	6.432
1995	1.408.126	1.622.639	156.106	21.152	10.666	49.228	20.595	3.935	4.557	6.781
1996	1.553.707	1.813.734	162.989	21.258	10.705	28.086	21.937	3.959	5.327	7.130
1997	1.648.407	1.740.988	185.433	21.364	10.744	24.087	23.151	3.982	6.097	7.479
1998	1.565.714	2.357.551	172.968	21.352	10.992	29.621	23.405	4.051	6.631	7.679
1999	1.474.105	2.618.276	149.249	20.759	11.291	24.258	24.698	3.780	8.073	7.598
2000	1.117.701	1.935.096	183.115	21.689	10.546	24.444	25.575	3.998	8.172	8.351
2001	1.238.412	2.470.051	185.490	22.004	10.970	25.467	26.419	4.500	9.208	8.665
2002	1.334.950	2.869.582	219.004	22.263	10.983	24.645	27.613	4.003	9.665	10.076
2003	1.532.426	3.034.371	171.669	21.461	10.674	25.064	28.116	4.041	10.717	9.592
2004	1.580.872	3.298.986	184.617	22.227	10.599	28.319	30.023	4.143	11.606	10.340
2005	1.733.244	3.366.719	191.943	23.782	11.301	24.754	30.538	4.261	12.704	10.838
2006	1.893.760	3.900.606	222.852	23.698	10.337	16.497	30.990	4.230	12.626	10.460
2007	2.314.654	3.827.812	212.582	21.584	11.076	14.725	31.998	4.216	14.000	11.426
2008	2.902.688	3.932.487	228.513	21.549	11.403	8.603	33.422	4.069	14.947	11.140

3.6.6 Cerveja

A obtenção das frações, empregando os dados do banco de dados STEL, iniciou-se pelo setor de cerveja, por ser aquele com mais sistemas de tratamento cadastrados: 38, sendo 22 com informações sobre o controle analítico do sistema²⁷. A Tabela 39 apresenta os sistemas de tratamento cadastrados no banco de dados no Setor de Cervejas na região Sudeste.

Agrupando-se os dados obtidos para o sudeste por tipo de sistema em: reator anaeróbio, lagoa anaeróbia, lagoa facul-

tativa e sistemas aeróbios, obteve-se, na Tabela 40, as frações de efluentes industriais tratados usando sistemas anaeróbios (WS_i).

Além disso, levando em conta a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433 de 1997, e a Resolução CONAMA 357 de 2005, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água, considera-se que 100% dos efluentes gerados são tratados. Assim, os dados da Tabela 40 representam os $WS_{i-Cerveja}$ mostrados na Figura 14.

27 O controle analítico do sistema considera parâmetros identificados na análise química e que permitem a avaliação da performance do sistema de tratamento de efluentes.

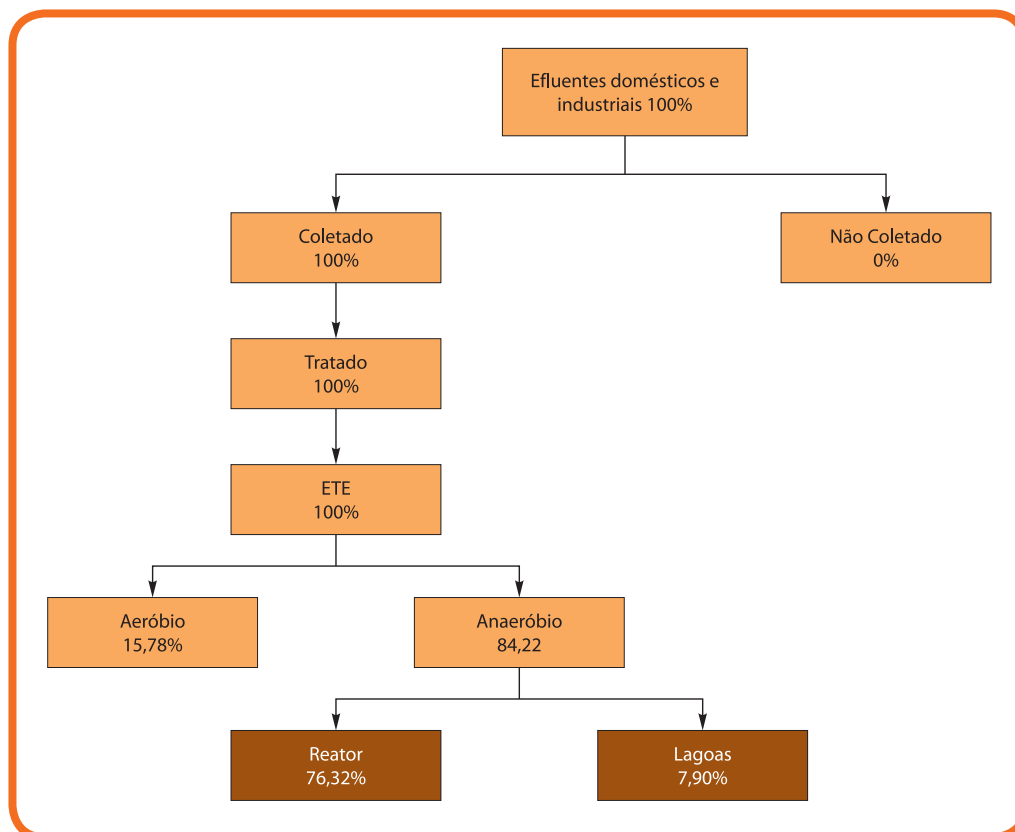
Tabela 39. Sistemas de Tratamento dos Efluentes da Produção de Cerveja Cadastrados no Banco de Dados até 1999

Sistemas de Tratamento		Reator Anaeróbio		Lagoa			Lodo Ativado		
Região do Brasil		Fluxo Ascendente	Com Circulação Interna	Anaeróbia	Facultativa	Aerada Aeróbia	Aerada Facultativa	Com Aeração Prolongada	Convencional
Sudeste	20	15	1	1	0	0	1	1	1

Fonte: CETESB (2001)

Tabela 40. Tratamento de Efluentes da Indústria de Cerveja nos Sistemas Cadastrados até 1999 (WS_i)

Sistemas	Número de Sistemas	Frequência
	[Sistema]	[%]
Reator anaeróbio	29	76,32
Lagoa anaeróbia	2	5,26
Lagoa facultativa	1	2,63
Lagoa aerada e facultativa	2	5,26
Lagoa aerada e aeróbia	1	2,63
Lodo ativado de aeração prolongada	1	2,63
Lodo ativado convencional	2	5,26
Total	38	100

Figura 14. WS_i para Efluentes das Indústrias de Cerveja

Nota: Os blocos em negrito indicam fonte de geração de CH₄.

3.6.7 Açúcar e Álcool

As emissões de matéria orgânica dos setores de açúcar e álcool foram reunidas, pois as usinas de cana-de-açúcar, em sua maioria, produzem ambos, variando as relações de quantidade conforme as flutuações do mercado. Os fatores de geração de DBO adotados são também próximos ($220\text{kg}_{\text{DBO}} \cdot \text{t}_{\text{álcool}}^{-1}$) e ($200\text{kg}_{\text{DBO}} \cdot \text{t}_{\text{açúcar}}^{-1}$). Utilizou-se então a média de $210\text{kg}_{\text{DBO}} \cdot \text{t}^{-1}$ para as emissões conjuntas de açúcar e álcool. O efluente gerado na indústria de açúcar e álcool é empregado na fertirrigação, portanto a WS_i é zero.

3.6.8 Leite Cru, Algodão, Papel, Suínos, Leite Pasteurizado, Aves e Bovinos

O banco de dados da CETESB não dispõe de informações sobre esses setores e até o encerramento deste estudo, a equipe técnica desse Relatório de Referência não encontrou na literatura dados que permitissem a estimativa da fração de efluentes tratados WS_i da indústria estadual. Assim, foi arbitrado o WS_i do efluente da produção de cervejas para os setores selecionados neste item.

3.6.9 Fator de Conversão de CH_4 do Sistema i que Trata o Efluente MCF_x

Para estimar o MCF_x , utilizou-se os *default* do IPCC (IPCC, 2006).

A estimativa da média ponderada dos MCF para o tratamento do efluente da produção de cerveja empregou o MCF_x e o WS_i . A estimativa da Média ponderada dos MCF dos demais setores industriais, por não haver dados estaduais, empregou os dados do setor de cervejas, como mostra a Tabela 41.

Por não haver dados de WS_i do efluente das produções de Leite Cru, Algodão, Papel, Suínos, Leite Pasteurizado, Aves, Bovinos, esses foram arbitrados iguais ao dado dos efluentes da Produção de cervejas.

Sendo o B_0 igual a $0,6\text{kg}_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg}_{\text{DBO}}^{-1}$ e o $FE_i = B_0 \cdot \sum_x (WS_{i,x} \cdot \text{MCF}_i)$, obtiveram-se os FE de cada setor industrial como mostra a Tabela 42.

Tabela 41. Dados para Obtenção do MCF_i Ponderado dos Setores Industriais

Tipo de Tratamento e Destino do Efluente	MCF	$WS_{i,x}$								
		Açúcar e Álcool	Cerveja	Leite Cru	Algodão	Papel	Suínos	Leite Pasteurizado	Aves	Bovinos
Reator anaeróbio	0,8	0	0,7633	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lagoa anaeróbia	0,8	0	0,0526	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lagoa facultativa	0,2	0	0,0263	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Processos aeróbios	0	0	0,1578	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MCF ponderado		0	0,6580							

Nota (n.d.): Dado não disponível.

Fonte: IPCC (2006)

Tabela 42. FE por Setor Industrial

Setor Industrial	FE
	[kg _{CH₄} .kg _{DBO} ⁻¹]
Álcool	0,0000
Açúcar	0,0000
Cerveja	0,3948
Leite cru	0,3948
Leite pasteurizado	0,3948
Algodão	0,3948
Papel	0,3948
Suínos	0,3948
Aves	0,3948
Bovinos	0,3948

3.6.10 Metano Recuperado (R)

Faz parte do projeto do reator anaeróbico, que é usualmente empregado para o tratamento de efluentes nas indústrias consideradas, a inclusão, junto com o reator anaeróbico, do queimador de gases. Por essa razão, considera-se que em 100% dos empreendimentos há queimadores. A eficiência de queima do queimador empregada nesta estimativa é de 50%. Essa mesma estimativa é feita pelos projetos de MDL onde há queimadores de chama aberta.

A estimativa do R foi feita empregando a Equação 23 da página 94, assim, na estimativa total de emissões do subsetor de Efluentes Industriais é descontada a quantidade estimada de R.

3.7 Resultados

A seguir, são detalhados os resultados das estimativas de emissões de GEE consideradas pelo método IPCC (2000a).

3.7.1 Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Manejo de Efluentes Domésticos

Considerando-se a estratégia de elaboração das estimativas, os métodos e os dados, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 43.

3.7.2 Estimativa das Emissões de CH₄ pelo Manejo de Efluentes Industriais

Considerando-se a estratégia de elaboração das estimativas, os métodos e os dados, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 44.

Tabela 43. Estimativa das Emissões Líquidas de CH₄ pelo Manejo de Efluentes Domésticos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissões	Ano	Emissões
	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]		[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]
1990	73,23	2000	85,52
1991	74,64	2001	86,50
1992	76,07	2002	87,48
1993	77,50	2003	88,45
1994	77,14	2004	89,43
1995	78,54	2005	90,41
1996	79,93	2006	91,38
1997	81,33	2007	92,36
1998	82,73	2008	93,34
1999	84,13	-	-

Tabela 44. Estimativa das Emissões Líquidas de CH₄ pelo Manejo de Efluentes Industriais no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Álcool	Açúcar	Cervejas	Leite Cru	Leite Pasteurizado	Algodão	Papel	Suínos	Aves	Bovinos	Total
	[Gg _{CH₄} .ano ⁻¹]										
1990	0,00	0,00	47,46	4,36	2,22	15,55	3,54	0,81	0,15	1,07	7,516
1991	0,00	0,00	44,94	4,39	2,22	11,47	3,69	0,81	0,31	1,14	68,97
1992	0,00	0,00	43,02	4,41	2,23	12,26	3,68	0,82	0,48	1,21	68,10
1993	0,00	0,00	39,58	4,43	2,24	6,86	3,98	0,82	0,64	1,29	59,85
1994	0,00	0,00	37,20	4,45	2,25	8,04	4,25	0,83	0,80	1,36	59,18
1995	0,00	0,00	33,03	4,48	2,26	10,42	4,36	0,83	0,96	1,43	57,77
1996	0,00	0,00	34,49	4,50	2,27	5,94	4,64	0,84	1,13	1,51	55,31
1997	0,00	0,00	39,24	4,52	2,27	5,10	4,90	0,84	1,29	1,58	59,74
1998	0,00	0,00	36,60	4,52	2,33	6,27	4,95	0,86	1,40	1,62	58,55
1999	0,00	0,00	31,58	4,39	2,39	5,13	5,23	0,80	1,71	1,61	52,84
2000	0,00	0,00	38,75	4,59	2,23	5,17	5,41	0,85	1,73	1,77	60,49
2001	0,00	0,00	39,25	4,66	2,32	5,39	5,59	0,95	1,95	1,83	61,94
2002	0,00	0,00	46,34	4,71	2,32	5,21	5,84	0,85	2,05	2,13	69,46
2003	0,00	0,00	36,32	4,54	2,26	5,30	5,95	0,86	2,27	2,03	59,53
2004	0,00	0,00	39,06	4,70	2,24	5,99	6,35	0,88	2,46	2,19	63,88
2005	0,00	0,00	40,61	5,03	2,39	5,24	6,46	0,90	2,69	2,29	65,82
2006	0,00	0,00	47,15	5,01	2,19	3,49	6,56	0,90	2,67	2,21	70,18
2007	0,00	0,00	44,98	4,57	2,34	3,12	6,77	0,89	2,96	2,42	68,05
2008	0,00	0,00	48,35	4,56	2,41	1,82	7,07	0,86	3,16	2,36	70,60



INCERTEZAS



4 Incertezas

A estimativa da incerteza das quantidades de GEE apresentada neste relatório pode ser feita de duas formas:

Quando as quantidades são combinadas por adição, a incerteza total (U_{Total}) pode ser estimada de acordo com a Equação 24.

Equação 24. Incerteza Combinada por Adição (U_{Total})

$$U_{Total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$$

onde:

U_{Total}	= É a incerteza em porcentagem da soma das quantidades (metade de 95% do intervalo de confiança dividido pelo total)	[adimensional]
x_n e U_n	= São a quantidade de incerteza e a porcentagem de incerteza associada, respectivamente	[adimensional]

ou

Quando as quantidades são combinadas por multiplicação, a incerteza total (U_{Total}) pode ser estimada de acordo com a Equação 25.

Equação 25. Incerteza Combinada por Multiplicação

$$U_{Total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

4.1 Resíduos Sólidos Aterrados e Incinerados

A incerteza, avaliada a seguir, da estimativa de emissão de CH_4 decorrente da disposição de MSW em aterros é estimada em 28%. A incerteza da estimativa de emissão de GEE decorrente da incineração de resíduos é da ordem de 100%. A incerteza da estimativa do subsetor de efluentes domésticos é de 43% e a incerteza da estimativa do subsetor de efluentes industriais é de 65%.

As incertezas desse estudo observam cada uma das variáveis do método do IPCC (2000a) do Setor de Resíduos e são reproduzidas nas tabelas abaixo. A elevada incerteza da estimativa do setor de esgotos domésticos se deve, principalmente, à dificuldade na estimativa da fração dos esgotos que são tratados anaerobiamente. A elevada incerteza da estimativa do setor de efluentes industriais se deve à elevada incerteza dos dados de carga orgânica de tais efluentes e dos dados de fração dos efluentes efetivamente tratados por meio anaeróbio. A explicação mais completa a respeito da incerteza do setor de incineração de resíduos encontra-se na Tabela 46.

Tabela 45. Incertezas das Estimativas do Setor de Resíduos

Incertezas Associadas aos <i>Default</i> e Dados de Atividade Aplicados ao Método FOD para a Estimativa da Emissão de CH_4 nos LDRSM	
Dados	Incertezas
Total de resíduo sólido urbano MSW_T e Fração do MSW enviado para LDRSM. MSW_F	Recomendado pelo IPCC: $> \pm 10\%$ ($< -10\%$, $> +10\%$).
Em lugar de MSW_T e MSW_F empregou-se o produto entre Pop_{urb} e TaxaMSW	Empregado nessa estimativa = 5%
Carbono orgânico degradável ($\text{DOC}_{(x)}$)	Recomendado pelo IPCC: - 50%, + 20%
Pesquisas nacionais a respeito da variação do DOC em função do MSW no Brasil estão em andamento.	Empregado nessa estimativa = 20%
Fração do carbono orgânico degradável dissimilado (DOC_f) = 0,5	Recomendado pelo IPCC: - 30%, + 0% Empregado nessa estimativa = 15%
Fator de correção do CH_4 (MCF) = 1,0 = 0,4 = 0,6	Recomendado pelo IPCC: - 10%, + 0% Recomendado pelo IPCC: - 30%, + 30% Recomendado pelo IPCC: - 50%, + 60% Empregado nessa estimativa = 5%
Fração de CH_4 gerado nos aterros (F) = 0,5	Recomendado pelo IPCC: - 0%, + 20% Empregado nessa estimativa = 10%
Metano recuperado (R)	A incerteza depende de como é estimada a quantidade de CH_4 recuperada e queimada ou utilizada, mas a incerteza tende a ser relativamente pequena comparada com outras incertezas se a medição for no local. Empregado nessa estimativa = 0%
Fator de oxidação (OX)	Incluir OX na análise de incerteza se um dado diferente de zero for usado para o OX. Neste caso a justificativa para um dado diferente de zero deve ser incluir considerações de incertezas. Empregado nessa estimativa = 0%
Meia vida (k) = 0,05	Recomendado pelo IPCC: - 40%, + 300% Empregado nessa estimativa = 0%

Tabela 46. Incertezas das Estimativas do Setor de Incineração de Resíduos

Incertezas Associadas com os <i>Default</i> e Dados de Atividade Aplicados ao Método do IPCC para a Estimativa de Emissão de GEE pela Incineração de Resíduos	
Dados	Incertezas
A orientação fornecida pelo IPCC alerta para possibilidade de elevadas incertezas, principalmente com respeito aos FEs de N ₂ O, que podem ser superiores a 100%.	
Soma-se a isso a dificuldade de obtenção de dados a esse respeito. As publicações da ABETRE, ABRELPE e SNIS, que contribuem significativamente com informações do setor forneceram as bases para esse levantamento. Todavia, os fatores de emissão e, principalmente, as quantidades incineradas carecem de um instrumento, preferencialmente, estatística oficial, que permita a sua consolidação. Portanto, vêm dessas duas variáveis as incertezas das estimativas de GEE gerados pela incineração de resíduos, o que sugere que essa incerteza seja estimada em 100%, tanto nas emissões de CO ₂ , quanto para as emissões de N ₂ O.	

4.2 Efluentes Domésticos e Industriais

A incerteza, avaliada logo a seguir, da estimativa das emissões de GEE do subsetor de efluentes domésticos é da ordem de 42% e do subsetor de efluentes industriais é da ordem de 63%. Ambas são definidas pelo método do IPCC (2000a) de acordo com os *default* da Tabela 47 e Tabela 48.

Tabela 47. Incertezas das Estimativas do Subsetor de Efluentes Domésticos

Incertezas Associadas aos <i>Default</i> e Dados de Atividade Aplicados ao Método do IPCC para a Estimativa da Emissão de CH ₄ nos Sistemas de Tratamento de Esgotos Domésticos.	
Dados	Incertezas
População	Recomendado pelo IPCC: ± 5%
	Empregado nessa estimativa: 5%
DQO.pessoa ⁻¹	Recomendado pelo IPCC: ± 30%
	Empregado nessa estimativa: 30%
Capacidade máxima de produção de CH ₄ (B ₀)	Recomendado pelo IPCC: ± 30%
	Empregado nessa estimativa: 30%
Fração tratada anaerobiamente	Recomendado pelo IPCC: de ± 10 a ± 50%
	A incerteza foi determinada por julgamento de especialistas.
	Empregou-se nessa estimativa 50%.

Tabela 48. Incertezas das Estimativas do Setor de Efluentes Industriais

Incertezas Associadas aos <i>Default</i> e Dados de Atividade Aplicados ao Método do IPCC para a Estimativa da Emissão de CH ₄ nos Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais.	
Dados	Incertezas
Produção industrial	Recomendado pelo IPCC: ± 25%. A incerteza foi determinada por julgamento de especialistas. Empregado nessa estimativa: 25%
Efluente.unidade produtiva ⁻¹ DBO.unidade de efluente ⁻¹	O IPCC não recomenda um <i>default</i> . A incerteza foi determinada por julgamento de especialistas. Empregado nessa estimativa: 50%
Capacidade máxima de produção de metano (B ₀)	Recomendado pelo IPCC: ± 30% Empregado nessa estimativa: 30%
Fração tratada anaerobiamente	A incerteza foi determinada por julgamento de especialistas. Empregado nessa estimativa: 50%



5

**CONTROLE E GARANTIA
DA QUALIDADE DA
ESTIMATIVA**



5 Controle e Garantia da Qualidade da Estimativa

Observando a recomendação do IPCC (2000a), são registradas, a seguir, as medidas de controle e garantia da qualidade da estimativa elaborada.

5.1 Transparência e Rastreabilidade dos Dados, Fatores de Emissão e Dados de Atividade da Estimativa

O método do IPCC (2000a) foi parcialmente traduzido e os principais trechos foram incluídos neste documento. A interpretação dada ao método, incluindo a árvore de decisões, os dados de atividade, os Fatores de Emissão (FEs) e as equações foram registrados e também incluídos a esse documento. Foram empregados dados da literatura nacional e internacional citados de acordo com a NBR 10.520/2002. Alguns dados de atividade e FEs que foram obtidos de fontes não publicadas foram identificados, permitindo a sua verificação.

Todo o material original, empregado na estimativa esteve acessível em meio digital na página de Internet da CETESB (www.cetesb.sp.gov.br/geesp).

5.2 Verificação dos Resultados

Os dados, as fórmulas, as macros e os resultados foram revisados por revisores independentes. Os resultados finais de incineração foram estimados por ferramentas distintas, obtendo-se resultados semelhantes. O emprego de gráficos visa acrescentar informação visual a respeito do comportamento das funções matemáticas e das variações de quantidades. Ao final da elaboração da estimativa, o documento foi aberto à consulta pública.

5.3 Envolvimento de Especialistas na Elaboração e Revisão da Estimativa

A formação da Rede de inventário incluiu sessões de coordenação e discussão, onde foi possível expor a estratégia da elaboração dessa estimativa. Isso permitiu intensificar a participação de especialistas que contribuíram com a elaboração dessa estimativa criticando os dados.



6



CONSIDERAÇÕES FINAIS



6 Considerações Finais

6.1 Emissões Totais de CH₄ do Setor de Resíduos

A Tabela 49 apresenta as emissões totais do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes. É possível observar que a maior parte das emissões do Setor de Resíduos é proveniente de aterros.

Tabela 49. Emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Domésticos no Período de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Resíduo	Resíduo Incinerado	Efluente Doméstico	Efluente Industrial	Total
	[Gg _{CO₂eq} .ano ⁻¹]				
1990	2.528	8	1.538	1.578	5.652
1991	2.701	9	1.567	1.448	5.726
1992	2.864	21	1.597	1.430	5.913
1993	3.018	9	1.627	1.257	5.911
1994	3.165	13	1.620	1.243	6.041
1995	3.306	13	1.649	1.213	6.182
1996	3.442	13	1.679	1.161	6.295
1997	3.574	14	1.708	1.255	6.550
1998	3.967	13	1.737	1.230	6.948
1999	4.191	17	1.767	1.110	7.084
2000	4.623	19	1.796	1.270	7.708
2001	5.100	17	1.816	1.301	8.235
2002	5.583	17	1.837	1.459	8.896
2003	6.034	17	1.858	1.250	9.159
2004	6.348	17	1.878	1.341	9.585
2005	6.745	17	1.899	1.378	10.039
2006	7.129	21	1.919	1.474	10.543
2007	7.272	22	1.940	1.429	10.663
2008	7.565	23	1.960	1.483	11.031

No Gráfico 12 abaixo é dada a proporção de emissões de CO_{2eq} no Estado de São Paulo para o Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos em 2005.

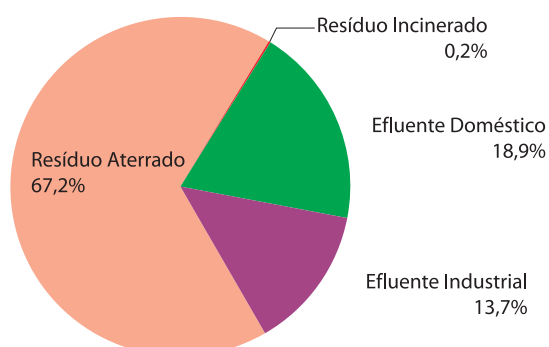
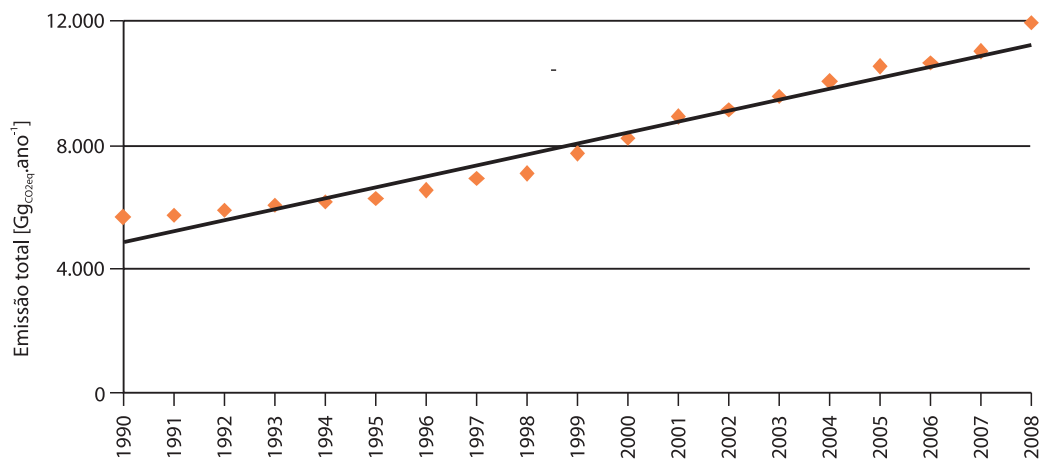


Gráfico 12. Proporção de Emissões de CO_{2eq} para o Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo

O Gráfico 13 apresenta as Emissões totais de GEE (t_{CO_2eq}) para o Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo.

Gráfico 13. Emissões Totais em t_{CO_2eq} no Estado de São Paulo de 1990 a 2008



6.2 Emissões per Capita de CH₄ do Setor de Resíduos

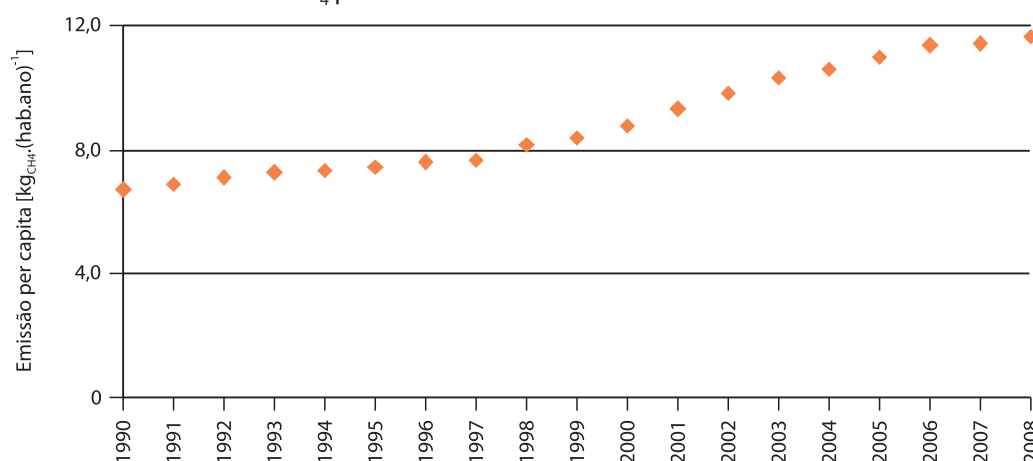
Considerando os resultados apresentados nesse documento, foi possível obter um indicador, como a emissão *per capita* apresentada na Tabela 50. Essa emissão considera a população urbana no caso de resíduos sólidos aterrados e a população total, a emissão total para o setor de efluentes domésticos.

Com esses dados, conclui-se que as emissões de CH₄ *per capita* ao ano do setor de resíduos passaram de 7kg_{CH₄}(hab.ano)⁻¹ em 1990 para quase 12kg_{CH₄}(hab.ano)⁻¹ em 2008, conforme apresentado no Gráfico 14.

Ano	Aterro	Efluente Doméstico	Emissão per Capita
	[Gg _{CH₄}]		[kg _{CH₄} .hab ⁻¹]
1990	120	73	7
1991	129	75	7
1992	136	76	7
1993	144	77	7
1994	151	77	7
1995	157	79	7
1996	164	80	7
1997	170	81	8
1998	189	83	8
1999	200	84	8
2000	220	86	9
2001	243	86	9
2002	266	87	10
2003	287	88	10
2004	302	89	11
2005	321	90	11
2006	339	91	11
2007	346	92	11
2008	360	93	12

Tabela 50. Estimativa das Emissões Líquidas de CH₄ pelo Tratamento de Resíduos e Efluentes de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Gráfico 14. Emissões de CH₄ por Habitante no Estado de São Paulo de 1990 a 2008.





CONCLUSÃO



7 Conclusão

7.1 Emissões Totais do Setor de Resíduos em 2005

Por 2005 ser o ano de referência da meta de redução estabelecida pela PEMC (São Paulo, 2009), destacou-se na Tabela 51 as emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos deste ano.

Tabela 51. Emissões de GEE pelo Tratamento de Resíduos em 2005 no Estado de São Paulo

Fonte	GEE		
	[Gg.ano ⁻¹]		
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Disposição de MSW em aterros	321,18	NE	NE
Incineração MSW, HW, CW e SS	NE	16,92	1,06.10 ⁻³
Tratamento de efluentes domésticos	90,41	NE	NE
Tratamento de efluentes industriais	65,62	NE	NE

Nota (NE): Não Estimados.

O total de emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo foi de 10.039 Gg_{CO₂eq} no ano de 2005.

7.2 Emissões Totais do Setor de Resíduos em 2008

As emissões de GEE no Subsetor de Resíduos Sólidos compreendem as emissões de CH₄ pela disposição de resíduos sólidos em aterros, de CO₂ e N₂O pela incineração de resíduos sólidos e de CH₄ pelo gerenciamento de efluentes líquidos. A Tabela 52, a seguir, resume as emissões do Estado de São Paulo deste setor.

Tabela 52. Emissões de GEE pelo Tratamento de Resíduos no Brasil no Ano de 2008 no Estado de São Paulo

Fonte	GEE		
	[Gg.ano ⁻¹]		
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Disposição de MSW em aterros	360,26	NE	NE
Incineração MSW, HW, CW e SS	NE	22,37	1,41.10 ⁻³
Tratamento de efluentes domésticos	93,34	NE	NE
Tratamento de efluentes industriais	70,60	NE	NE

Nota (NE): Não Estimados.

O total de emissões de GEE no Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo foi de 11.031 Gg_{CO₂eq} para o ano de 2008.

7.3 Dados de Atividade do Período e Fatores de Emissão Estaduais

A obtenção de dados de atividade do período é adequada quando se trata da população. Porém, as publicações com os dados das condições sanitárias estaduais ainda não incluem as informações demandadas pelo método empregado. Dados como a composição dos resíduos demandaram especial dedicação por parte da equipe técnica para a elaboração desse documento; dados da qualidade da operação dos aterros também são escassos.

A estimativa do k , a taxa constante de geração de CH_4 , não conta com dados estaduais publicados.

A estimativa dos dados de $MSW_T(t)$ e $MSW_F(t)$ não foi feita. Não há dados sobre $MSW_T(t)$ nem sobre $MSW_F(t)$. Sem prejuízo para essa estimativa, o produto desses dois dados foi substituído pelo produto entre a $Pop_{urb}(t)$ e $TaxaMSW(t)$. Esses dados, principalmente os de $Pop_{urb}(t)$, são abundantes e de elevada confiabilidade. Os dados de $Pop_{urb}(t)$ estão disponíveis por município desde o ano de 1970. A $TaxaMSW(t)$, por sua vez, foi estimada a partir de dados do ano de 2005 até 2008. A $TaxaMSW(t)$ do ano de 1970 foi arbitrada, assim como a variação dela entre 1970 até 2008. Não há dados que levantem a variação no nível de renda, hábitos de consumo ou práticas ambientais. O único elemento de estimativa, além da região, é o tamanho da população urbana do município.

A estimativa do MCF contou com publicações de dados disponíveis de São Paulo informando a qualidade da operação do local de disposição de resíduos sólidos urbanos dos municípios (IQR) feita pela CETESB. Para o período anterior ao ano de 1997, as estimativas foram feitas considerando dados populacionais.

A estimativa do DOC relaciona-se à composição dos resíduos municipais. Não há uma publicação com esse dado. A geração dessas composições não obedece a uma norma, mesmo assim, as publicações encontradas pela equipe técnica são as melhores informações disponíveis. Com esses dados de composições, foram geradas regressões lineares do comportamento do DOC para o Estado de São Paulo. Ao todo, foram 8 municípios que tiveram as composições dos seus resíduos consideradas entre os anos de 1970 e 2008. O estado possuía, em 2000, 645 municípios. Assim como no caso da $TaxaMSW$, não há considerações sobre a variação no nível de renda, hábitos de consumo ou práticas ambientais.

A estimativa do DOC_f , que representa qual a fração do DOC é efetivamente decomposta na formação de CH_4 , também não é encontrada na coleção de dados estaduais. Por esta razão, empregou-se *default* de IPCC de 0,5 (IPCC, 2006).

As principais limitações do levantamento concentram-se nos dados das estimativas de emissões de incineração e tratamento de efluentes industriais. Não existe publicação nacional periódica ou um levantamento recente de dados. Por essa razão, a estimativa reflete o esforço da equipe de inventário para a obtenção dos dados – quanto maior o empenho, maior o número de dados e maior a estimativa de emissão.

No levantamento das emissões do subsetor de tratamento de efluentes domésticos, a estimativa do $WS_{i,x}$, correspondente à identificação da fração dos tipos de tratamento empregados no Estado de São Paulo, estaria melhor registrada se estivesse relacionado à população atendida.

Sugere-se um levantamento estadual das ETEs com dados desagregados por município, definindo população atendida ou vazão e carga orgânica, composição do sistema com suas diferentes unidades e eficiência de tratamento. Existe na CETESB o banco de dados STEL (CETESB, 1999) contendo dados de 1990 até 1999. Tal forma de reunião de dados deve ser reproduzida, atualizada e publicada regularmente.

A identificação das principais atividades industriais com potencial de emissão de CH₄ no Estado de São Paulo no período de 1990 a 2008 foi baseada em dados do IBGE e no julgamento de especialistas. Não foi baseada em um levantamento específico da geração de carga orgânica pelas indústrias do estado. Essa informação não existe na coleção de dados estaduais, ao contrário do levantamento feito no primeiro Relatório de Referência, que foi fundamentado em pesquisas desenvolvidas pela CETESB no extinto Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial (PRONACOP).



8

REFERÊNCIAS



8 Referências

- ABETRE. **Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais**. São Paulo, 2006.
- ABIA. **Evolução da produção brasileira de alimentos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <biogas@cetesbnet.sp.gov.br> em 17 out. 2008.
- _____. **Evolução da produção brasileira de alimentos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Calvin lost em 21 set. 2010.
- ABNT. **NBR 9.800**: critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 12.209**: projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 13.896**: aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 10.004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- _____. **NBR 10.006**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- _____. **NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ABRAPA. **CONAB**: série histórica do algodão 1976-2012. Brasília, DF, c2008. Disponível em: <<http://www.abrapa.com.br/biblioteca/Paginas/Biblioteca.aspx>>. Acesso em: mar. 2013.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2008. 196 p.
- BRACELPA. **Relatório anual 2008/2009**. [São Paulo, 2010?]. Estatísticas BRACELPA. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: mar. 2013.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, v. 135, n. 6, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470-474. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=4&data=09/01/1997>>. Acesso em: mar. 2013.
- _____. MCT. Artigo 4: Obrigações. In: **INC/FCCC. Convenção sobre Mudança do Clima**. Traduzido pelo MCT. Brasília, DF: MCT, 1992. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4092.html>>. Acesso em: mar. 2011.
- _____. MCT. Artigo 4: Obrigações. In: **CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**. Editado e traduzido pelo MCT. **Texto da Convenção sobre mudança do clima**. Brasília, DF: MCT, c2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4092.html>>. Acesso em: mar. 2011.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2006**: sistema nacional de informações

sobre saneamento, SNIS. Brasília, DF, 2008. 2 partes. Disponíveis em: <<http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/d10921988bdf809a22c0dad149c2001.pdf>>; <<http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/2802c78ba198433514491812d8c66714.pdf>>. Acesso em out. 2011.

BRASIL. MMA. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 142, n. 53, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=18/03/2005&jornal=1&pagina=58&totalArquivos=192>>. Acesso em: fev. 2010.

CETESB. Acervo de informações utilizados para elaboração do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa no tratamento e disposição de resíduos: Relatório de Referência do Setor de Resíduos. MCT, 2010a. Informações não publicadas.

_____. **Banco de dados de resíduos sólidos e efluentes líquidos**: STEL. Dados eletrônicos. São Paulo, 1999. Microsoft Access data.

_____. **Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos**: relatórios de referência. Brasília, DF: MCT, 2006. 86 p. (Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, 1. Tratamento de Resíduos). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21465.html>>. Acesso em: ago. 2010.

_____. **Emissões de metano no tratamento de resíduos sólidos**. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referências. Brasília, DF .MCT, 2006

_____. **Emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos**: relatórios de referência. Brasília, DF: MCT, 2010b. (Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, 2. Tratamento de Resíduos). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/330056.html>>. Acesso em: ago. 2010.

_____. **Inventário brasileiro de gás metano gerado por resíduos**: relatório dos bancos de dados de resíduos sólidos e efluentes líquidos. 2 ed. São Paulo, 2001. 102 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/inventarios/portugues/relatorio_banco_dados.pdf>. Acesso em: mar. 2013.

_____. **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo. Comunicação Estadual**. Coordenação: João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; Equipe: Mariana Pedrosa Gonzalez ... [et al.]. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011. 192 p.: il. color.; 30 cm. ISBN 978-85-61405-23-6.

_____. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2003**. São Paulo: CETESB, 2004. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2008**. São Paulo: CETESB, 2009. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: out. 2011.

CETESB. **Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde: Pró-Lixo.** São Paulo: CETESB, 1992.

_____. **Resíduos urbanos, de serviços de saúde e da construção civil.** São Paulo, [2012?]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/residuos-urbanos/2-residuos-urbanos>>. Acesso em: nov. 2012.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 2. ed. São Paulo: Signus, 2000.

IBGE. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 1993. Rio de Janeiro: IBGE, v. 53, 1993. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB1993.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 1995. Rio de Janeiro: IBGE, v. 55, 1996. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB1995.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 1997. Rio de Janeiro: IBGE, v. 57, 1998. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB1997.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 1999. Rio de Janeiro: IBGE, v. 59, 2000. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB1999.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 2001. Rio de Janeiro: IBGE, v. 61, 2003. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB2001.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 2003. Rio de Janeiro: IBGE, v. 63, 2004. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB2003.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 2005. Rio de Janeiro: IBGE, v. 65, 2006. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB2005.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.

_____. **Pesquisa industrial anual: produto 2005.** Dados eletrônicos (1 banco de dados). Disponível em http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/ Diretório: "Industrias_ Extrativas_e_de_Transformacao\Pesquisa_Industrial_Anua\ Produto2005". Acesso em: abr. 2009.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico 1989.** Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002. ISBN 85-240-0881-4. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/pnsb.pdf>> . Acesso em: maio 2011.

_____. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: Síntese de Indicadores: 1992 a 1993, 1995 a 1999, 2001 a 2008.** Banco de dados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/>> e <<http://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: mar. 2009.

_____. **População residente urbana e total do Estado de São Paulo: 1970, 1980, 1991, 2000.** Tabela. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/>>

protabl.asp?c=200&i=P&nome=on&qtu8=137&qtu14=1¬arodape=on&tab=200&opn8=0&opn14=0&unit=0&pov=1&poc2=1&opc1=1&OpcTipoNivt=1&opn1=2&nivt=0&poc1=3&sec58=0&orp=6&qtu3=29&qtu13=27&opv=1&opc2=1&sec1=0&sec1=1&pop=3&opn2=0&orv=2&orc2=3&opc58=1&qtu2=5&sev=93&sec2=0&opp=1&opn3=u31&qtu6=5508&opn13=0&orc1=4&poc58=1&qtu1=1&opn9=0&cabec=on&orc58=5&opn7=0&decm=99&ascendente=on&sep=23485&sep=1181&sep=20562&sep=20561&orn=1&qtu7=22&pon=2&qtu9=558&opn6=gsp&digit6=&OpcCara=44&proc=1>. Acesso em: jun. 2011a

IBGE. **População residente urbana e total do Estado de São Paulo: 2010**. Tabela. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=608&i=P&nome=on&qtu8=137&qtu14=3¬arodape=on&tab=608&opn8=0&opn14=0&unit=0&pov=1&opc1=1&poc2=1&OpcTipoNivt=1&opn1=2&qtu11=114&nivt=0&poc1=3&orp=5&qtu3=27&qtu13=47&opv=1&sec1=0&sec1=1&opc2=1&pop=1&opn2=0&orv=2&orc2=4&qtu2=5&opn10=0&sev=93&sec2=0&opp=1&opn3=u31&qtu6=5565&opn13=0&orc1=3&qtu1=1&opn9=0&cabec=on&sep=1001&orn=1&digit10=&opn11=0&qtu7=36&pon=2&qtu9=558&opn6=gsp&digit6=&OpcCara=44&proc=1&qtu10=10282&opn7=0&decm=99>>. Acesso em: jun. 2011b

INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**: temperatura média compensada e precipitação acumulada anuais - mapas. Dados eletrônicos. Brasília, DF, 2009a. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas/>>. Acesso em: mar. 2013.

_____. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Ed. rev. ampl. Brasília, DF, 2009b. 465 p.

_____. **Temperatura média anual e mensal** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <sadmet.df@inmet.gov.br> em 7 ago. 2009c.

IPCC. Revised 1996 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reporting instructions Ed. J. T. Houghton et al. Bracknell, [1997?]. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: mar. 2013.

_____. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Hayama, JP: IGES, 2000a. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: mar. 2013.

_____. **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. Editado e traduzido pelo MCT. Brasília, DF: MCT, 2000b. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/politica_economia/portugues/mudanca_clima_1995.pdf>. Acesso em: mar. 2013

_____. National Greenhouse Gas Inventories Programme. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Ed. Simon Eggleston et al. Hayama, JP: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: mar. 2013.

LARRONDO, E. G. C. et al. Coeficientes de produção de poluição orgânica industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 1979, Manaus. **Resumos...** Rio de Janeiro: ABES, 1979.

MAGALHÃES, G.H. C. et al. **Redução das incertezas sobre o metano recuperado (R) em inventários de emissões de gases de efeito estufa por tratamento de resíduos, e sobre o parâmetro Adjustment Factor (AF) em projetos de coleta e destruição de metano em aterros no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. São Paulo, 2010. Draft version - 18/08/2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/magalhaes_alves_santofilho_costa_kelson_pt.pdf>. Acesso em: jan. 2012.

SABESP. **Institucional**. São Paulo, [2009?]. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=3>>. Acesso em: mar. 2013.

_____. **Coleta de esgotos**. São Paulo, [2009?]. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=50>>. Acesso em: set. 2010.

_____. **Tipos de tratamento**. São Paulo, [2009?]. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>>. Acesso em: mar. 2013.

SALVADOR, N. N. B. Listagem de fatores de emissão para avaliação expedita de cargas poluidoras das águas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16., 1991, Goiânia. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1991. t. 4.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 116, n.51, 17 mar. 2006. Seção 1, p. 1-4. Disponível em: <http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2006/executivo%2520secao%2520i/marco/17/pag_0001_4MITFQJMRB8UMe3RH56QL6F3324.pdf&pagina=1&data=17/03/2006&caderno=Executivo%20l&paginaordenacao=10001>. Acesso em: mar. 2013

_____. Lei Estadual nº 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. 2009. Seção 1, p. 1-4. Disponível em: <http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2009/executivo%2520secao%2520i/novembro/10/pag_0001_BUE3BDTN11KH8e-DSAPBM5P10TPK.pdf&pagina=1&data=10/11/2009&caderno=Executivo%20l&paginaordenacao=100001>. Acesso em: mar. 2013.

_____. Decreto nº 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, SP, 25 jun. 2010.

TCHOBANOGLIOUS, G; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment, Disposal and reuse**. 3rd ed. New York, US: McGraw-Hill, 1991. 1334 p. (McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering,

UNFCCC; CCNUCC. **Approved consolidated baseline methodology ACM 0001: consolidated baseline and monitoring methodology for landfill gas project activities**. Version 11. [S.l., 2009?]. 25 p. Sectoral Scope 13 EB 47. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/filestorage/U/J/B/UJBDVFYLQKSEWCM73XG14Z692TRHO0/EB47_repan06_ACM0001_ver11.pdf?t=bUp8bWs5djk0fDDBpQyijPJBsNAi21B83HaD>. Acesso em: jul. 2011.

UNFCCC. CDM. **Project cycle search**. Dados eletrônicos. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>. Acesso em: jul. 2011.

UNFCCC. CDM. **Relatórios de certificação de créditos de carbono**. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html/>>. Acesso em: jul. 2010.

UNICA. **UNICADATA**: histórico de produção e moagem. Dados eletrônicos (1 arquivo: 19,31KB). São Paulo. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. Acesso em: nov. 2012.

VIEIRA, L. C.; KANEYOSHI, C. M.; FREITAS, H. de. **Criação de gado leiteiro na zona Bragantina**. Dados eletrônicos (1 arquivo : 29423B). Amazônia Oriental: EMBRAPA, 2005. (Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/GadoLeiteiroZonaBragantina/paginas/qualidade.htm>>. Acesso em: 09 maio 2009.



9



ANEXOS



Anexo A – Referências para DOC(t) e FCF.CCW(t)

CESP. **Sistema de usinas termoeletricas a lixo para a cidade de São Paulo**. Estudo de viabilidade econômica, São Paulo, SP, Vol.1, 1981.

CETESB. **Destinação final dos resíduos sólidos da Baixada Santista**, relatório parcial, 1979.

ENSINAS, A.V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP**. 2003. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

EPE; MCT. **Estudos associados ao plano decenal de energia PDE**. 2008/2017. 82f, 2008.

FESPSP. **Relatório de Impacto Ambiental para a ampliação da área de disposição de resíduos da CTR Santo André**, Santo André – SP, 2007.

FRÉSCA, F.R.C. et al. **Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos-SP**. 2008.

FRÉSCA, F.R.C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos - SP, a partir da caracterização física**. 2007. 134f. Dissertação (Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

IPT. **Caracterização preliminar do lixo da Cidade de São Paulo**, 1976.

IPT; CEMPRE. **Manual de gerenciamento integrado**. São Paulo, 2000. 370p.

MANCINI, D.S. et al. **Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil**, 2007.

NÓBREGA, C. C. et. al. **Caracterização do lixo doméstico da cidade de Aracaju – SE**. Trabalho apresentado ao VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Florianópolis, SC, 1994.

OLIVEIRA, S. **Caracterização física do Resíduo Sólido Doméstico da cidade de Botucatu-SP**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, São Paulo, SP, Vol.4, n.4, 1999.

SOBRINHO, N.L.C. **Uma análise do balanço hídrico do aterro sanitário de Presidente Prudente**. 2000, 128f. Tese (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

Anexo B – Dedução da Fórmula do IPCC (2000) para Estimar as Emissões de CH₄ pelos Resíduos Sólidos²⁸

Para deduzir a fórmula do IPCC utilizada na estimativa das emissões de CH₄ provenientes dos resíduos sólidos é preciso compreender o processo de decomposição dos resíduos até a formação do CH₄.

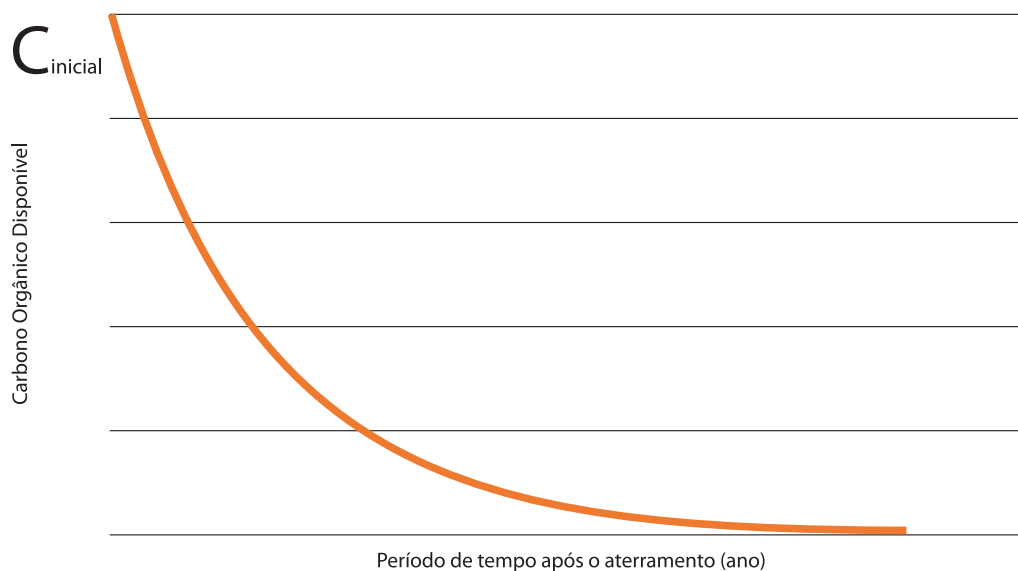
No inventário do setor de resíduos contabiliza-se a massa de CH₄ emitida na decomposição anaeróbia dos resíduos urbanos. Quando uma massa de resíduo é depositada em um aterro, o seu processo de decomposição não ocorre apenas no ano em que a massa foi aterrada, mas sim ao longo de uma série de anos.

Na digestão anaeróbia, diversos grupos de microrganismos realizam a conversão da matéria orgânica complexa em CH₄, CO₂, H₂O, H₂S e NH₃, além de novas células bacterianas.

A disponibilidade de alimento, no caso o carbono orgânico presente na massa do resíduo, leva ao crescimento da população microbiana, que se multiplica de forma exponencial.

Como o crescimento bacteriano ao longo do tempo ocorre de forma exponencial, a variação da quantidade de carbono orgânico ocorre de maneira inversa, caracterizando-se por um modelo de decaimento de primeira ordem. No gráfico abaixo está simulado o comportamento da quantidade de carbono orgânico disponível para decomposição ao longo dos anos. A simulação foi feita para uma dada massa de resíduo aterrada com uma quantidade de carbono inicial (C_{inicial}).

Gráfico 15. Disponibilidade de Carbono Orgânico ao Longo dos Anos em Aterros.



28 AUTORES: Sérgio Túlio Cassini – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Mellina Zanon Breda; Taiana Brito Nascimento, estudantes de Engenharia Ambiental da UFES.

O equacionamento da quantidade de carbono orgânico disponível ($M_{c_{disp}}$) é feito da seguinte forma:

$$\frac{d(M_{c_{disp}})}{dt} = -k \cdot M_{c_{disp}}$$

$$\frac{d(M_{c_{disp}})}{M_{c_{disp}}} = -k \cdot dt$$

$$\int_{M_{c_{disp},x}}^{M_{c_{disp},t}} \frac{d(M_{c_{disp}})}{M_{c_{disp}}} = \int_x^t -k \cdot dt$$

Equação 26. Dedução I

$$M_{c_{disp},t} = M_{c_{disp},x} \cdot e^{-k(t-x)}$$

onde:

t	= ano atual
x	= ano em que o resíduo foi depositado no aterro

A quantidade de carbono orgânico que se decompõe em um ano t ($M_{c_{decom,t}}$) equivale à diferença entre o carbono orgânico disponível para degradação no ano t e o disponível para degradação no ano (t + 1), ou seja:

$$M_{c_{decom,t}} = M_{c_{disp,t}} - M_{c_{disp,t+1}}$$

$$M_{c_{decom,t}} = M_{c_{disp,x}} \cdot e^{-k(t-x)} - M_{c_{disp,x}} \cdot e^{-k(t+1-x)}$$

Equação 27. Dedução II

$$M_{c_{decom,t}} = (1 - e^{-k}) \cdot M_{c_{disp,x}} \cdot e^{-k(t-x)}$$

A massa de carbono orgânico disponível para degradação ($M_{c_{disp,x}}$) depende da massa de resíduo degradável e segundo o IPCC a fração de carbono orgânico degradável (*DOC*) é calculada da seguinte forma:

Equação 28. Dedução III

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$$

onde:

A	= Fração do resíduo correspondente a papéis e têxteis [%]
B	= Fração do resíduo proveniente de jardins, parques e outros putrescíveis não alimentares [%]
C	= Fração do resíduo correspondente a resíduos alimentares [%]
D	= Fração do resíduo correspondente a madeira e palha [%]

Logo, a massa de carbono orgânico degradável ($M_{c_{degradavel}}$) corresponde a uma fração da massa de resíduo aterrada ($M_{c_{residuo}}$) sendo calculada a partir da equação:

Equação 29. Dedução IV

$$M_{c_{degradável}} = M_{resíduo} \cdot DOC$$

Por existir uma parte do carbono orgânico que não se degrada ou se degrada muito lentamente, nem toda massa de carbono orgânico degradável é decomposta. Por esse motivo, o carbono orgânico disponível para degradação ($M_{c_{disp,x}}$) considera apenas a fração da ($M_{c_{degradável}}$) que realmente será decomposta (DOC_f).

$$M_{c_{disp,x}} = M_{c_{degradável}} \cdot DOC_f$$

Equação 30. Dedução V

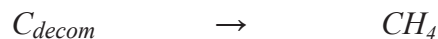
$$M_{c_{disp,x}} = \overbrace{M_{resíduo} \cdot DOC} \cdot DOC_f$$

Substituindo Equação 30 na Equação 27 obtém-se a expressão abaixo, que representa a massa de carbono decomposta no ano t .

Equação 31. Dedução VI

$$M_{c_{decom,t}} = (1 - e^{-k}) \cdot M_{resíduo} \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot e^{-k(t-x)}$$

A partir da massa de carbono decomposta estima-se o quanto de metano será emitido pelo aterro. Na degradação anaeróbia do lixo parte do carbono orgânico decomposto (C_{decom}) é convertido em CH_4 .



Para estabelecer a relação de conversão de carbono orgânico em CH_4 é utilizado cálculo estequiométrico. O peso molecular do carbono é 12g e o do CH_4 é 16g. Numa condição ideal se todo C_{decom} for convertido em metano, por estequiometria tem-se que:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol } C_{decom} & \rightarrow & 1 \text{ mol } CH_4 \\ 12\text{g} & \rightarrow & 16\text{g} \\ MC_{decom,t} & \rightarrow & M_{CH_4max} \end{array}$$

$$M_{CH_4max,t} = \frac{16}{12} \cdot M_{c_{decom,t}}$$

onde:

$M_{CH_4max,t}$ - massa máxima de CH_4 gerada

Porém na decomposição anaeróbia nem todo carbono orgânico é convertido em CH_4 , parte dele é transformada em outros gases, como o CO_2 . Para encontrar a quantidade real de metano gerado $M_{CH_4,t}$ multiplica-se $M_{CH_4max,t}$ pela fração de CH_4 no gás de aterro (F).

Equação 32. Dedução VII

$$M_{CH_4, t} = \frac{16}{12} \cdot M_{c_{decom, t}} \cdot F$$

Segundo o IPCC (2000a), F é considerado 0,5 podendo variar de 0,4 a 0,6.

Substituindo a Equação 31 na Equação 32:

$$M_{CH_4, t} = \frac{16}{12} \cdot F \cdot (1 - e^{-k}) \cdot M_{resíduo, x} \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot e^{-k(t-x)}$$

A massa de resíduo aterrada ($M_{resíduo}$) pode ser estimada pelo produto da quantidade total de resíduo sólido urbano gerado no ano x ($MSW_{T, (x)}$) pela fração de MSW destinada ao aterro no ano x ($MSW_{F, (x)}$), logo:

$$M_{resíduo, x} = MSW_{T, (x)} \cdot MSW_{F, (x)}$$

Equação 33. Dedução VIII

$$M_{CH_4, t} = \frac{16}{12} \cdot F \cdot (1 - e^{-k}) \cdot MSW_{T, (x)} \cdot MSW_{F, (x)} \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot e^{-k(t-x)}$$

Os cálculos acima foram feitos considerando que todo o resíduo fosse degradado de forma anaeróbia. No entanto, de acordo com o local de disposição, os resíduos são degradados em diferentes graus de anaerobiose. Num lixão, por exemplo, somente a camada mais interna do lixo é degradada de forma anaeróbia. Essa variação é representada pelo MCF , que assume valores entre 0,4 para lixões e 1,0 para aterros sanitários.

Considerando os diferentes locais de disposição, o cálculo da massa de CH_4 gerada ($M_{CH_4 gerada, t}$) pode ser generalizado da seguinte maneira:

Equação 34. Dedução IX

$$M_{CH_4 gerada, t} = \frac{16}{12} \cdot F \cdot (1 - e^{-k}) \cdot MSW_{T, (x)} \cdot MSW_{F, (x)} \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot e^{-k(t-x)}$$

A Equação 34 assume a forma do IPCC quando multiplicada pela fração $\frac{k}{k}$ e o fator de normalização $A = \frac{1 - e^{-k}}{k}$ é então obtido. Alguns aterros realizam a recuperação do metano pela queima ou aproveitamento energético e por isso nem todo CH_4 gerado é realmente emitido para a atmosfera. Para estimar as emissões efetivas, o IPCC subtrai do CH_4 gerado o recuperado (R) e, com a expressão $(1 - OX)$, subtrai a fração de CH_4 oxidada.

Assim, a mesma Equação 34 pode ser rearranjada na forma da Equação 35, logo abaixo.

Equação 35. Dedução X

$$M_{CH_4 gerada, t} = (A \cdot k \cdot MSW_{T, (x)} \cdot MSW_{F, (x)} \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot e^{-k(t-x)} - R) \cdot (1 - OX)$$

E lembrando que $Q = \sum_x M_{CH_4 gerada, t}$ e que $L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{16}{12}$ obtém-se,

finalmente, a equação recomendada pelo IPCC (2000a) e reproduzida na página 50 desse documento:

Equação 1. Emissão de CH₄ pelo Método de Decaimento de Primeira ordem - Tier 2

$$Q_{(x)} = \sum_x ([A \cdot k \cdot MSW_{T(x)} \cdot MSW_{F(x)} \cdot L_{O(x)} \cdot e^{-k(t-x)}] \cdot R) \cdot \{1 - 0X\}$$

Anexo C – Temperatura Média Anual de Municípios do Estado de São Paulo

Os dados a seguir, referem-se à média de temperatura dos anos de 1961 a 1990. Esses dados e a observação do mapa com a representação dos índices de precipitação deste período que consta da Figura 7, na página 34 deste documento, permitiram a caracterização determinada pelo método do IPCC (2000a).

Tabela 53. Temperatura Média Anual Compensada das Estações do Estado de São Paulo

Temperatura Média Anual	[°C]	Temperatura Média Anual	[°C]
Araçatuba	22,8	Santos	22,3
Avaré	19,8	São Carlos	20,5
Campinas	20,7	São José dos Campos	19,3
Campos do Jordão	14,2	São Paulo (Mir. de Santana)	19,2
Catanduva	22,8	São Simão	21,8
Franca	20,5	Sertãozinho	21,4
Iguape	21,6	Sorocaba	20,8
Itapeva	19,2	Taubaté	20,4
Jaboticabal	22,3	Tremembé	20,4
Lins	22,5	Ubatuba	21,7
Mogi das Cruzes	16,8	Votuporanga	23,5
Presidente Prudente	22,7		

Fonte: INMET (2009a)

Anexo D – Precipitação Total Anual de Municípios do Estado de São Paulo.

Os dados a seguir, referem-se à média de precipitação dos anos de 1961 a 1990. Esses dados e a observação do mapa com a representação dos índices de precipitação deste período, que consta da Figura 7 na página 55 deste documento, permitiram a caracterização pluviométrica determinada pelo método do IPCC (2000a).

Tabela 54. Precipitação Total das Estações do Estado de São Paulo

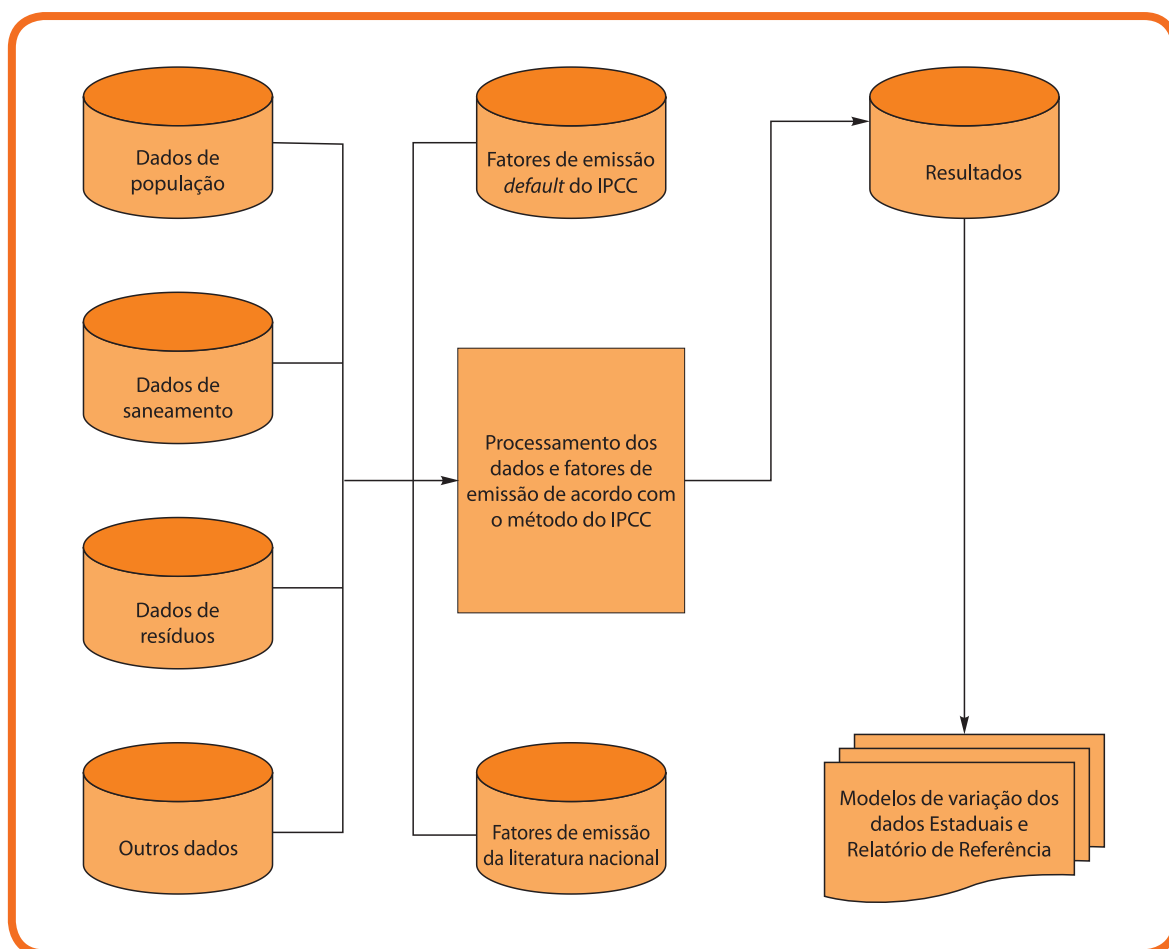
Precipitação no Estado de São Paulo	[mm.ano ⁻¹]	Precipitação no Estado de São Paulo	[mm.ano ⁻¹]
Araçatuba	1255,2	Presidente Prudente	1360,6
Avaré	1451,9	Santos	1990,6
Barretos	1159,6	São Carlos	1548,3
Campinas	1357,6	São José dos Campos	1155,0
Campos do Jordão	1852,5	São Paulo (Mir. de Santana)	1441,0
Catanduva	1361,8	São Simão	1489,3
Colina	1369,8	Sertãozinho	1452,8
Franca	1642,9	Sorocaba	1330,4
Iguape	1976,4	Taubaté	1396,8
Itapeva	1326,6	Tremembé	1415,5
Lins	1338,3	Ubatuba	2597,3
Paraibuna	1102,4	Votuporanga	1229,9

Fonte: INMET (2009a)

Anexo E – Elaboração da Estimativa de Emissões de CH₄ por Aterros

Na Figura 15 é reproduzido o método empregado para elaborar a estimativa das emissões de CH₄ do Setor de Resíduos. O processamento dos dados, feito para cada município do Estado de São Paulo, leva em conta a população urbana, dados de coleta e composição dos resíduos, dados de qualidade de operação dos aterros, dados de clima como pluviosidade, temperatura e fator de evapotranspiração e recuperação de CH₄, entre outros. Foram empregados dados *default* do IPCC e da literatura nacional.

Figura 15. Dados, Fatores de Emissão e Método de Elaboração da Estimativa de Emissões de CH₄ por Aterros







Apoio



Embaixada Britânica
Brasília

Realização



CETESB



GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Secretaria do Meio Ambiente

ISBN 978-85-61405-42-7