

SP/P5510/R0050/2012 Versão Consulta Pública

**Relatório Técnico - Produto 2:**

**Quantificação de emissões de GEE pelo Setor  
RESÍDUOS**

São Paulo - SP

**PMSP / SVMA**

Novembro/2012

CONSULTA PÚBLICA

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE

PROGRAMA SBQ N° 007/2011

Atividade C 05: *Sustainable Transport and Air Quality Program* (STAQ)

Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP

Banco Mundial

*Washington, D.C.*

PRODUTO 2

QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE PELO SETOR RESÍDUOS

Equipe

Ambrogi, Vinicius

Castro, João

Nogueira, Fernando

Ohata, Jaime (coordenador executivo)

Rodrigues, Délcio

Tachibana, Erica

Vilela, Marcio Maia - Dr. (coordenador técnico)

INSTITUTO EKOS BRASIL

&

GEOKLOCK CONSULTORIA E ENGENHARIA AMBIENTAL

2012

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do setor Resíduo.....	9
Figura 2 – Emissões relativas de CH <sub>4</sub> por tempo de disposição.....	23
Figura 3 – Bacias de esgotamento e localização das ETE.....	45
Figura 4 – Fluxograma de identificação de fontes de emissão de GEE.....	48
Figura 5 – Emissões de GEE dos efluentes líquidos do Município de São Paulo.....	64
Figura 6 – Emissões x Perfil de esgotamento sanitário.....	64
Figura 7 – Perfil das emissões do setor resíduos por subsetores em 2003 e 2009.....	66
Figura 8 – Emissões do setor Resíduos.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tratamento e sistemas de despejos com potencial de emissão de GEE.....	42
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos resíduos domiciliares.....	18
Tabela 2 – Conteúdo de carbono dos materiais (C).....	20
Tabela 3 – Resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros (W).....	20
Tabela 4 – Precipitação e temperatura do Município de São Paulo.....	25
Tabela 5 – Taxa de geração de metano.....	25
Tabela 6 – Linha de base de metano recuperado.....	27
Tabela 7 – Metano destruído nos aterros Bandeirantes e São João.....	27
Tabela 8 – Metano gerado nos aterros.....	28
Tabela 9 – Emissão de metano nos aterros.....	29
Tabela 10 – Comercialização de créditos de carbono do Município de São Paulo.....	30
Tabela 11 – Emissões totais dos aterros.....	31
Tabela 12 – CER de eletricidade gerada nos aterros.....	31
Tabela 13 – Emissões de GEE contabilizadas no inventário.....	32
Tabela 14 – Resíduos sólidos domiciliares enviados para compostagem.....	34

Tabela 15 – Fatores de emissão de GEE da compostagem.....	34
Tabela 16 – Emissões de GEE por compostagem.....	35
Tabela 17 – RSS incinerado ( <i>IW</i> ) .....	38
Tabela 18 – Fatores para estimar emissões de CO <sub>2</sub> por incineração .....	39
Tabela 19 – Fatores de emissão dos incineradores .....	39
Tabela 20 – Emissão de GEE provenientes da incineração de resíduos.....	40
Tabela 21 – População e volume coletado e tratado do Município de São Paulo .....	53
Tabela 22 – Domicílios por tipo de esgotamento sanitário na RMSP .....	53
Tabela 23 – Taxa de atendimento da rede coletora na RMSP e no MSP .....	54
Tabela 24 – Número de habitantes por tipo de destinação de efluente sanitário no MSP.....	55
Tabela 25 – Esgoto tratado.....	56
Tabela 26 – DBO <i>per capita</i> .....	56
Tabela 27 – matéria orgânica degradável por tipo de esgotamento sanitário .....	57
Tabela 28 – Valores padrão para <i>MCF</i> (Fator de correção de emissão de metano) .....	57
Tabela 29 – Lodo removido nas ETE .....	58
Tabela 30 – Nitrogênio nos efluentes não tratados em ETE.....	60
Tabela 31 – Nitrogênio no efluente ( <i>N<sub>ef</sub></i> ) após tratamento.....	60
Tabela 32 – Emissões de CH <sub>4</sub> dos efluentes líquidos coletados no Município de São Paulo .....	62
Tabela 33 - Emissões de CH <sub>4</sub> dos efluentes líquidos não coletados no Município de São Paulo .....	62
Tabela 34 – Emissões de N <sub>2</sub> O dos efluentes domésticos do Município de São Paulo .....	63
Tabela 35 – Emissões de GEE de efluentes líquidos do Município de São Paulo .....	63
Tabela 36 – Emissões de GEE totais do setor Resíduos .....	66
Tabela 37 – Incertezas dos dados da disposição de resíduos em aterros .....	69
Tabela 38 – Incerteza dos dados da compostagem dos resíduos .....	69
Tabela 39 – Incertezas relacionadas às emissões dos esgotos domésticos .....	70

**ABREVIATURAS E SIGLAS**

1		
2		
3	ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
4	ABRAFRIGO	Associação Brasileira de Frigoríficos
5	ANA	Agência Nacional de Águas
6	ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
7	APA	Associação Paulista de Avicultura
8	ARSESP	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
9	BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
10	CD4CDM	<i>Capacity Development for the Clean Development Mechanism</i>
11	CDR	Centro de Disposição de Resíduos
12	CER	Certificado de Emissões Reduzidas
13	CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
14	CO <sub>2</sub> e	Dióxido de Carbono Equivalente
15	CTR	Central de Tratamento de Resíduos
16	DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio total
17	DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias
18	DOC	Carbono Orgânico Degradável
19	ETD	Desativação Eletrotérmica
20	ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
21	FOD	Decaimento de Primeira Ordem ( <i>First Order Decay</i> )
22	GEE	Gás de Efeito Estufa
23	GHG	<i>Greenhouse gases</i>
24	GWP	<i>Global Warming Potential</i>
25	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
26	ICLEI	<i>Local Governments for Sustainability</i>
27	IDR	Ingestão Diária Recomendada
28	IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
29	IQR	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
30	LIMPURB	Departamento de Limpeza Urbana
31	MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
32	MSP	Município de São Paulo
33	PAG	Potencial de Aquecimento Global
34	RMSP	Região Metropolitana de São Paulo

1	RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
2	RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
3	SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
4	SMA	Secretaria do Meio Ambiente
5	SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
6	SVMA	Secretaria do Verde e do Meio Ambiente
7	UNFCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
8	STAQ	<i>Sustainable Transport and Air Quality Program</i>
9	HFCs	Hidrofluorcarbonos
10	PFCs	Perfluorcarbonos
11	PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	9
2. Resíduos Sólidos .....	11
2.1. Subsetor Disposição dos Resíduos Sólidos .....	12
2.1.1. Metodologia .....	13
2.1.2. Dados .....	18
2.1.3. Resultados .....	28
2.2. Subsetor Tratamento Biológico .....	32
2.2.1. Metodologia .....	33
2.2.2. Dados .....	34
2.2.3. Resultados .....	35
2.3. Subsetor Incineração .....	35
2.3.1. Metodologia .....	36
2.3.2. Dados .....	37
2.3.3. Resultados .....	39
3. Subsetor de Efluentes Líquidos .....	41
3.1. Efluentes no Município de São Paulo .....	43
3.1.1. Efluentes Domésticos .....	43
3.1.2. Efluentes Industriais .....	46
3.2. Metodologia .....	47
3.2.1. Emissões de Metano .....	49
3.2.2. Emissões de Óxido Nitroso .....	51
3.3. Dados .....	52
3.3.1. Emissões de Metano .....	52
3.3.2. Emissões de Óxido Nitroso .....	59
3.4. Resultados .....	61
4. Resultados Consolidados .....	66

5.	Incertezas .....	68
5.1.	Resíduos Sólidos .....	68
5.1.1.	Disposição de Resíduos Sólidos .....	68
5.1.2.	Tratamento Biológico .....	69
5.1.3.	Incineração .....	70
5.2.	Efluentes Líquidos.....	70
6.	Comparativo 1º Inventário de GEE do Município.....	72
6.1.	Resíduos Sólidos .....	72
6.2.	Efluentes Líquidos.....	72
7.	Referências.....	74

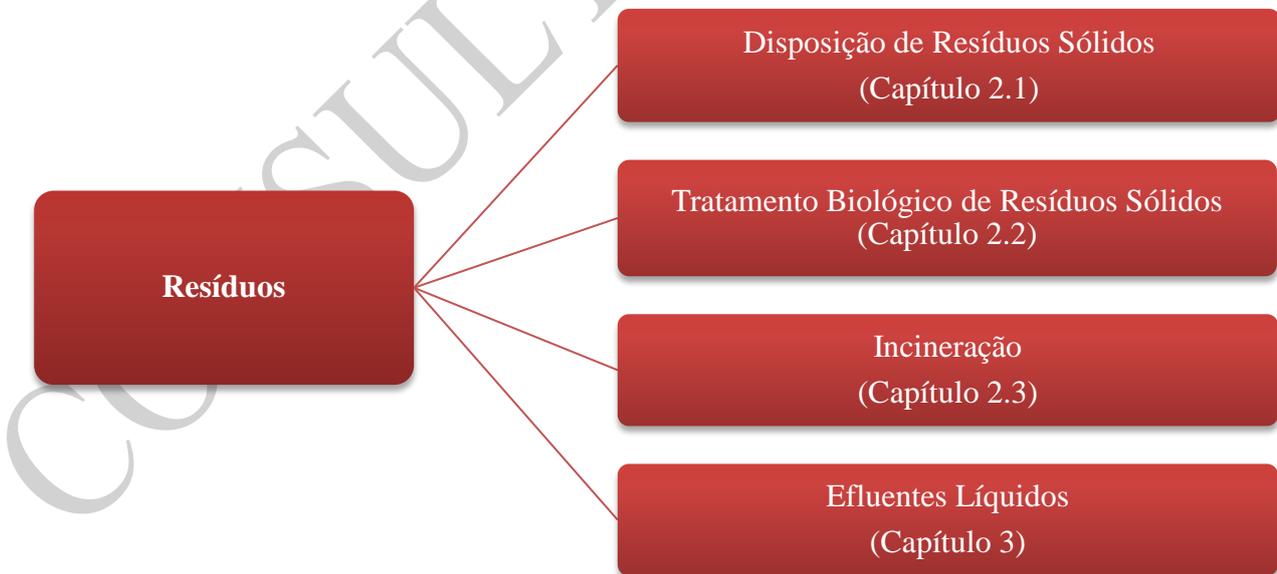
CONSULTA PÚBLICA

# 1. INTRODUÇÃO

Este relatório é parte integrante dos serviços especializados de consultoria contratados para elaboração de Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo, um subprojeto da janela 5 – Gestão da Demanda do Transporte Individual, do Programa *Sustainable Transport and Air Quality* (STAQ), patrocinado pelo *Global Environment Facility* (GEF), através do Banco Mundial, visando à quantificação e remoção das emissões dos GEE.

As estimativas das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) do setor de resíduos são baseadas na disposição e tratamento biológico dos resíduos sólidos, na incineração dos resíduos e no tratamento e lançamento de efluentes líquidos de esgoto doméstico e efluente industrial. Os Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), não são contabilizados pelas diretrizes deste setor (IPCC, 2006).

De acordo com as diretrizes do IPCC (2006), as emissões devem ser quantificadas conforme apresentado na Figura 1.



Fonte: IPCC, 2006<sup>1</sup>

Figura 1 – Estrutura do setor Resíduo

<sup>1</sup> IPCC (2006), V.2, Ch.1, p.1.4, Figura 1.1

1 O Produto 4 e o Produto 9 poderão contribuir na consolidação dos resultados da categoria de  
2 efluentes pois tratam de campanhas de medição dos gases CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O emitidos pelos  
3 principais corpos d'água do Município, sendo o primeiro realizado no período chuvoso e o  
4 segundo no período de seca.

5  
6 Este relatório está dividido em duas abordagens principais: Resíduos Sólidos e Efluentes  
7 Líquidos. Assim, o capítulo 2 refere-se a destinação dada aos resíduos sólidos, incluindo a  
8 disposição, tratamento biológico e incineração, enquanto que o capítulo 3, refere-se às emissões  
9 por tratamento de efluentes.

10

## 2. RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos são definidos como o conjunto de produtos não aproveitados resultado de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (ABNT, 2004).

A classificação dos resíduos sólidos é realizada de acordo com a natureza física (seco ou molhado), a composição química (orgânica ou inorgânica) e o risco potencial ao meio ambiente e a saúde pública (perigosos, não-inertes e inertes). A definição dos resíduos é de acordo com sua origem. Dessa forma, os resíduos sólidos gerados no município de São Paulo são definidos como Urbanos, Industriais, de Serviços da Saúde e da Construção Civil; e são classificados como resíduos Classe I – Perigosos, Classe IIA – Não Inertes e Classe IIB – Inertes (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos são fontes de emissão de GEE como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que são provenientes dos processos de degradação ou tratamento dado a esta categoria de resíduos. Adicionalmente aos impactos relacionados às mudanças climáticas, a disposição inadequada destes resíduos gera outros problemas ambientais e riscos à saúde da população.

O Município de São Paulo conta com a coleta de resíduos domésticos, de saúde e reciclados, realizada por duas empresas concessionárias, sendo o Departamento de Limpeza Urbana – LIMPURB responsável pelo gerenciamento destes serviços prestados no Município. Diariamente são coletadas entorno de 17 mil toneladas de resíduos, sendo que desses, 10 mil toneladas são de resíduos domiciliares. A coleta é realizada de acordo com a NBR 13.463:1995 que define os modos de realização, sendo que a coleta regular é indicada para resíduos domiciliares, de feiras, de varredura e de serviços da saúde; a coleta especial é indicada para resíduos perigosos; a coleta seletiva é indicada para segregação dos resíduos passíveis de reciclagem; e, a coleta particular (grandes geradores) indicada para resíduos industriais, comerciais e de condomínios (PMSP, 2011).

1 O destino final dos resíduos sólidos deve ser para tratamento e/ou para aterros, de acordo com a  
2 sua classificação. Sendo que a disposição dos resíduos deve ser realizada de modo a não  
3 prejudicar o meio ambiente e a saúde pública.

4

5 No Município de São Paulo a responsabilidade pela coleta e destinação final é definida de acordo  
6 com o volume gerado, segundo a Lei Municipal 13.478, de 11 de Setembro de 2009. Dessa  
7 forma, estabelecimentos comerciais, industriais, de prestação de serviços, públicos e  
8 institucionais que geram acima de 200 litros de resíduos por dia; estabelecimentos geradores de  
9 resíduos inertes (construção civil) que produzam acima de 50 quilogramas de massa por dia; e,  
10 condomínios não residenciais ou mistos que geram um volume de resíduos domiciliares acima de  
11 1.000 litros por dia são considerados “grandes geradores” sendo responsáveis pela coleta e  
12 destinação final dos resíduos de acordo com sua classe. Os grandes geradores devem contratar  
13 serviços de caçamba para disposição e a coleta de acordo com a ABNT 13.463:1995. A coleta,  
14 disposição e destinação final dos estabelecimentos que não se enquadram nessa classificação são  
15 de responsabilidade da prefeitura.

16

17 Verificou-se que as formas de destinação final dada aos resíduos sólidos do Município de São  
18 Paulo no período inventariado foram a disposição em aterros sanitários, a compostagem e  
19 incineração, sendo então contabilizadas e apresentadas as emissões de GEE de acordo com sua  
20 destinação.

21

22 Cabe ressaltar que as emissões de GEE provenientes do consumo de energia e de combustível no  
23 processo de coleta e disposição final dos resíduos não fazem parte do escopo das emissões deste  
24 setor, as quais serão contabilizadas no Produto 05 – Energia.

25

## 26 **2.1. SUBSETOR DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

27

28 A prática de disposição dos resíduos sólidos do Município de São Paulo em aterros sanitários é  
29 realizada para os resíduos sólidos urbanos – RSU, que são aqueles provenientes dos domicílios,  
30 comércio e limpeza pública. Os aterros sanitários que receberam os resíduos do Município de  
31 São Paulo no período inventariado foram: Bandeirantes, São João, Caieiras e Pedreira. Estes  
32 aterros, com exceção do aterro de Caieiras, estão localizados no Município de São Paulo.

1  
2 O aterro Bandeirantes recebeu os resíduos da parte noroeste do Município de São Paulo até o ano  
3 de 2007. Após seu fechamento os resíduos passaram a ser enviados para o aterro Caieiras. Já os  
4 resíduos da parte sudeste do Município foram enviados para o aterro São João até 2009, desde  
5 então passaram a ser dispostos no aterro de Pedreira.

6  
7 De acordo com IPCC (2006), a disposição dos resíduos sólidos em aterros é uma fonte  
8 significativa de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ). Apresentando também emissões de dióxido de  
9 carbono ( $\text{CO}_2$ ), Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (COVNM), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ),  
10 óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e monóxido de carbono (CO). As emissões de  $\text{CO}_2$  gerado nos  
11 aterros são provenientes da decomposição da matéria orgânica existente na biomassa, e por  
12 serem de origem biogênica não são contabilizadas no total de emissões<sup>2</sup>. O  $\text{N}_2\text{O}$  emitido pela  
13 disposição dos resíduos também não é quantificado nem contabilizado nos totais de emissões por  
14 ser considerado insignificante. As emissões de  $\text{NO}_x$ , CO e COVNM também não são  
15 contabilizados neste inventário por não serem GEE. Desta forma, para essa categoria de  
16 disposição dos resíduos contabilizam-se apenas as emissões de  $\text{CH}_4$ .

### 18 2.1.1. Metodologia

19  
20 Para quantificar as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) provenientes da decomposição dos RSU do  
21 Município de São Paulo dispostos em aterros sanitários utilizou-se a metodologia do IPCC  
22 (2006), o qual apresenta como método de quantificação o decaimento de primeira ordem em três  
23 *Tiers*. No *Tier 1*, as emissões são quantificadas utilizando-se dados e parâmetros padrão do IPCC  
24 (2006). O *Tier 2* utiliza alguns parâmetros padrão, mas requer um histórico de dados de  
25 disposição de resíduos sólidos específicos da região. Já o *Tier 3*, além do necessário para se  
26 aplicar o método no *Tier 2* também requer parâmetros de degradação específicos para cada  
27 material, e para a região. Neste inventário, devido à disponibilidade de uma série histórica de  
28 dados de disposição dos resíduos sólidos do Município de São Paulo foi possível aplicar o *Tier 2*.

29  
30 O método de decaimento de primeira ordem apresentado pelo IPCC (2006) permite estimar a  
31 emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) para um ano específico, pois assume que o carbono orgânico

---

<sup>2</sup> Fonte: IPCC (2006), V.5, Ch. 3, p.3.6

1 degradável – COD (DOC<sup>3</sup>) presente nos resíduos sólidos decai lentamente ao longo de algumas  
 2 décadas, enquanto ocorre a formação de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. As emissões de CH<sub>4</sub> provenientes dos  
 3 resíduos depositados nos aterros são maiores nos primeiros anos após a disposição dos resíduos,  
 4 diminuindo gradativamente conforme o carbono degradável é consumido pelas bactérias (IPCC,  
 5 2006).

6  
 7 A metodologia proposta pelo IPCC (2006) para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> provenientes da  
 8 disposição dos resíduos sólidos em aterros é a mesma para as diversas classes de resíduos. Estas  
 9 emissões foram quantificadas conforme apresentado na Equação 1.

$$E = \left[ \sum_x CH_4 \text{ gerado}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - Ox_T) \quad \text{Equação 1 – Emissão de CH}_4 \text{ da disposição de resíduos sólidos}^4$$

11  
 12 onde

13	<i>E</i>	Emissão de Metano	[tCH <sub>4</sub> ]
	<i>CH<sub>4</sub> gerado</i>	Metano gerado no Aterro	[tCH <sub>4</sub> ]
	<i>R</i>	Metano Recuperado	[tCH <sub>4</sub> ]
	<i>Ox</i>	Fator de Oxidação	[adimensional]
	<i>x</i>	Tipo do Resíduo	
	<i>T</i>	Ano do Inventário	

14  
 15 O fator de oxidação (*Ox*) refere-se à quantidade de CH<sub>4</sub> dos aterros que é oxidada no solo ou em  
 16 outro material de cobertura nos aterros. Estudos demonstram que aterros sanitários bem  
 17 manejados tendem a apresentar fatores de oxidação mais elevados que em aterros não  
 18 controlados (IPCC, 2006).

19  
 20 Já a variável metano recuperado (*R*) refere-se à quantidade de CH<sub>4</sub> que é capturada e queimada  
 21 em *flares* ou para gerar energia. De acordo com IPCC (2006), o metano recuperado apenas deve  
 22 ser contabilizado quando se têm documentadas estas quantidades.

23

<sup>3</sup> Sigla em inglês: DOC – Degradable Organic Carbon

<sup>4</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.8, Equação 3.1

1 A quantidade de metano gerada no aterro ( $CH_4$ gerado) considera a quantidade de COD  
 2 decomposto no ano do inventário, a fração de  $CH_4$  presente no biogás e a razão da massa  
 3 molecular entre  $CH_4$  e C, conforme apresentada na Equação 2.

$$CH_4 \text{ gerado} = \left( \sum_i DDOC_{md\tau_i} \right) \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad \text{Equação 2 – } CH_4 \text{ gerado pela disposição de resíduos sólidos}^5$$

5  
 6 onde

$CH_4$ gerado	Metano gerado no aterro	[t $CH_4$ ]
$DDOC_{md}$	Massa de DOC decomposto	[tC]
$F$	Fração de $CH_4$ no biogás gerado	[%]
$16/12$	Razão da massa molecular $CH_4/C$	[t $CH_4$ /tC]
$\tau$	Ano inventariado	
$i$	Tipo de material constituinte do resíduo	

8  
 9 Sendo que para se calcular a massa de COD decomposto ( $DDOC_{md}$ ) para cada ano do inventário  
 10 foi aplicada a Equação 3, apresentada a seguir.

$$DDOC_{md\tau_i} = DDOC_{ma(\tau-1)_i} \cdot (1 - e^{-k_i}) \quad \text{Equação 3 – COD decomposto}^6$$

12  
 13 onde

$DDOC_{md}$	Massa de DOC decomposto	[tC]
$DDOC_{ma}$	Massa de DOC acumulado	[tC]
$k$	Taxa de geração de $CH_4$	[adimensional]
$\tau$	Ano inventariado	
$i$	Tipo de material constituinte do resíduo	

15  
 16 Considera-se que a massa de COD decomposta ( $DDOC_{md}$ ) no ano do inventário é decorrente da  
 17 massa de COD acumulada ( $DDOC_{ma}$ ) até o ano anterior ao inventariado, conforme mostrado na  
 18 Equação 3. Esse fato deve-se ao tempo de retardamento do início da produção de metano.

<sup>5</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.10, Equação 3.6  
<sup>6</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.10, Equação 3.5

Segundo o IPCC (2006), existem evidências de que a produção de metano não ocorre imediatamente após a disposição dos resíduos nos aterros e sim após as seguintes fases: primeiramente ocorre a decomposição aeróbia, que pode vir a durar semanas, até que todo o oxigênio disponível tenha sido esgotado; então é seguida da fase de acidificação, com produção de hidrogênio, na qual a duração é de vários meses; depois existe a fase de transição, onde ocorre a modificação das condições ácidas para as neutras e só então se inicia a fase de produção de metano.

O tempo de retardamento da produção de metano, período entre a disposição dos resíduos e o início da produção de metano, é complexo e suas estimativas são incertas e provavelmente variam de acordo com a composição dos resíduos e com as condições climáticas do local de disposição. O tempo sugerido pelo IPCC<sup>7</sup> é de 6 meses e considera que o início de produção de metano pelas bactérias se dá no dia 1º de janeiro do ano após o ano de deposição dos resíduos, o que equivale em média a um tempo de residência de 6 meses. Entretanto, a incerteza dessa suposição é de pelo menos 2 meses (IPCC, 2006).

Para se quantificar a massa de COD acumulada ( $DDOC_{ma}$ ), necessária para quantificar o COD decomposto, aplicou-se a Equação 4.

$$DDOC_{maT_i} = DDOC_{m_i} + \left( DDOC_{ma(T-1)_i} \cdot e^{-k_i} \right) \quad \text{Equação 4 – DOC acumulado}^8$$

onde

$DDOC_{ma}$	Massa de COD acumulada	[tC]
$DDOC_m$	Massa de COD depositado no ano inventariado	[tC]
$k$	Taxa de geração de metano	[adimensional]
$T$	Ano do Inventário	
$i$	Tipo de material constituinte do resíduo	

A taxa de geração de metano ( $k$ ), utilizada para quantificar o COD acumulado ( $DDOC_{ma}$ ) e decomposto ( $DDOC_{md}$ ), está relacionado com o tempo necessário para que o COD seja

<sup>7</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.19 – *Delay Time*

<sup>8</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.10, Equação 3.4

1 degradado. Quanto maior o valor de  $k$  significa que menor é o tempo necessário para que todo o  
 2 carbono orgânico contido no resíduo seja degradado. O valor desta taxa depende de diversos  
 3 fatores, como as condições climáticas da região e o tipo de material que compõe os resíduos.

4  
 5 Já a massa de COD depositado ( $DDOC_m$ ) anualmente nos aterros é estimado conforme  
 6 apresentado na Equação 5.

$$DDOC_{m_i} = W_i \cdot DOC_i \cdot DOC_f \cdot MCF \quad \text{Equação 5 – Massa de COD depositada}^9$$

7  
 8 onde

$DDOC_m$	Massa de COD depositado	[tC]
$W$	Massa dos resíduos depositados	[t de Resíduo]
$DOC$	Fração de COD presente nos Resíduos	[tC/t de Resíduo]
$DOC_f$	Fração do COD que pode ser decomposto	[%]
$MCF$	Fator de Correção de Metano	[%]
$i$	Tipo de material constituinte do resíduo	

9  
 10  
 11 A Fração de COD Presente nos Resíduos ( $DOC$ ) é dada pela Equação 6, que quantifica a fração  
 12 de COD a partir dos dados de composição dos resíduos.

$$DOC_i = Comp_i \cdot C_i \quad \text{Equação 6 – fração de COD}^{10}$$

13  
 14 onde

$DOC$	Fração de COD presente nos Resíduos	[tC/t de Resíduo]
$Comp$	Composição do resíduo	[%]
$C$	Conteúdo de Carbono	[tC/t de Resíduo]
$i$	Tipo de material constituinte do resíduo	

15  
 16  
 17  
 18

<sup>9</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.10, Equação 3.2  
<sup>10</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.13, Equação 3.7

## 2.1.2. Dados

A seguir são apresentados os dados utilizados na quantificação das emissões de CH<sub>4</sub> provenientes da decomposição dos resíduos sólidos do Município de São Paulo dispostos em aterros sanitários.

### Composição do resíduo (Comp)

Conforme apresentado na Equação 6, a fração de COD presente nos resíduos depende dos materiais que compõem estes resíduos. Os dados de composição dos resíduos do Município de São Paulo utilizados neste inventário são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Composição dos resíduos domiciliares**

Ano	Matéria Orgânica	Trapó	Papelão	Madeiras
1978	73,6%	1,5%	4,2%	0,6%
1979	74,1%	1,6%	4,4%	0,7%
1980	70,5%	1,4%	4,0%	0,6%
1981	57,3%	1,7%	4,9%	0,7%
1982	71,4%	1,4%	4,1%	0,6%
1983	79,7%	1,7%	4,9%	0,7%
1984	78,6%	1,8%	5,0%	0,7%
1985	72,9%	1,3%	3,9%	0,6%
1986	78,1%	1,8%	5,1%	0,8%
1987	79,4%	1,8%	5,2%	0,8%
1988	79,1%	1,8%	5,2%	0,8%
1989	78,7%	1,8%	5,3%	0,8%
1990	78,1%	1,9%	5,4%	0,8%
1991	78,3%	1,9%	5,3%	0,8%
1992	78,2%	1,8%	5,3%	0,8%
1993*	69,7%	2,1%	7,2%	0,8%
1994*	69,2%	2,2%	7,5%	0,8%
1995*	68,7%	2,2%	7,7%	0,8%
1996*	68,1%	2,3%	8,0%	0,8%
1997*	67,6%	2,3%	8,3%	0,9%
1998*	67,1%	2,4%	8,6%	0,9%
1999*	66,5%	2,5%	8,8%	0,9%
2000*	66,0%	2,5%	9,1%	0,9%

Ano	Matéria Orgânica	Trapo	Papelão	Madeiras
2001*	65,5%	2,6%	9,4%	0,9%
2002*	64,9%	2,6%	9,7%	0,9%
2003	57,5%	3,9%	11,1%	1,6%
2004*	63,9%	2,7%	10,2%	0,9%
2005	62,9%	2,8%	8,2%	0,8%
2006	55,5%	2,5%	14,7%	0,5%
2007	57,0%	2,7%	13,4%	0,5%
2008	61,3%	3,4%	10,7%	1,5%
2009	63,6%	2,4%	9,8%	1,0%

\*Dados estimados por regressão linear a partir dos dados dos demais anos apresentados nesta tabela

Fonte: adaptado de LIMPURB

Para o período de 1978 a 1992 os dados de composição dos resíduos apresentados na Tabela 1 foram adaptados a partir dos dados de resíduos enviados para a usina de compostagem da Vila Leopoldina, resíduos estritamente domésticos e provavelmente apenas de uma parcela do município. Na usina de compostagem os resíduos passavam inicialmente por triagem, gerando dados de subprodutos passíveis de reciclagem ou aproveitamento para compostagem. Os resíduos que não poderiam ser aproveitados eram considerados rejeitos. Devido à composição diversificada dos rejeitos adotou-se a premissa de que sua composição obedecia a mesma proporção dos resíduos do ano de 2003, ano mais próximo com dados resultantes de análises gravimétricas.

Os dados da composição dos resíduos disponíveis para os anos de 2003 e de 2005 a 2009 foram resultado de análises gravimétricas de amostras coletadas de cada subprefeitura do município.

Ainda com relação à Tabela 1, os dados apresentados para os anos de 1993 a 2002 e de 2004 foram estimados por regressão linear a partir dos dados dos demais anos, também apresentados na Tabela 1.

Em relação à composição dos resíduos sólidos de varrição de ruas e de feiras, não foram encontrados dados específicos sobre suas composições. Porém, devido à característica de composição destes resíduos por materiais variados (restos de alimentos, plásticos, madeiras, papéis, entre outros) assumiu-se que a composição dos resíduos domiciliares poderia ser aplicada aos resíduos sólidos da varrição de ruas e das feiras. Já para os resíduos de podas de árvores por

1 serem constituídos de galhos e folhagens assumiu-se que sua composição seja compatível com o  
 2 resíduo de jardinagem do IPCC (2006).

3

4 **Conteúdo de carbono (C)**

5

6 Ainda para determinar a fração de COD presente nos resíduos foram necessários os valores de  
 7 conteúdo de carbono dos materiais que constituem os resíduos. Os valores adotados neste  
 8 inventário foram os padrões do IPCC (2006), apresentados na Tabela 2.

9

10

**Tabela 2 – Conteúdo de carbono dos materiais (C)**

Material	Conteúdo de Carbono (tC/t de resíduo)
Papel	0,40
Trapos	0,24
Restos de alimentos	0,15
Madeira	0,43
Resíduos de jardim	0,20

11

Fonte: IPCC, 2006<sup>11</sup>

12

13 **Massa dos resíduos depositados nos aterros (W)**

14

15 A massa dos resíduos depositados nos aterros (W), utilizada para quantificar a massa de COD  
 16 depositado no aterro ( $DDOC_m$ ) conforme apresentado na Equação 5, são apresentados na Tabela  
 17 3 para os anos de 1978 a 2009.

18

19

**Tabela 3 – Resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros (W)**

Ano	Doméstico	Feiras	Podas	Varrição	Total
	(toneladas)				
1978	1.186.073	59.812	-	94.908	1.340.793
1979	898.822	78.520	-	100.605	1.077.947
1980	1.184.665	88.011	-	100.423	1.373.099
1981	1.126.646	85.194	-	91.048	1.302.888
1982	1.340.918	85.104	-	140.768	1.566.790
1983	1.380.122	77.748	-	140.203	1.598.073
1984	1.064.885	72.326	-	145.663	1.282.874

<sup>11</sup> Fonte: IPCC (2006), V.5, Ch.2, p.2.14, Tabela 2.4

Ano	Doméstico	Feiras	Podas (toneladas)	Varrição	Total
1985	971.258	67.360	-	223.455	1.262.073
1986	1.191.907	20.348	-	569.139	1.781.394
1987	1.132.053	-	-	792.519	1.924.572
1988	1.094.843	-	-	993.257	2.088.100
1989	840.954	-	-	296.097	1.137.051
1990	976.471	-	-	232.459	1.208.930
1991	1.456.413	-	-	237.232	1.693.645
1992	829.998	-	-	187.594	1.017.592
1993	2.274.062	-	-	316.301	2.590.363
1994	1.138.193	-	-	134.084	1.272.277
1995	1.681.535	-	-	219.822	1.901.357
1996	1.212.228	-	-	140.951	1.358.768
1997	2.280.098	-	-	268.605	2.548.703
1998	2.354.630	-	-	277.385	2.632.015
1999	2.337.158	-	-	275.326	2.612.484
2000	2.297.784	-	-	270.688	2.568.472
2001	2.436.660	-	-	287.048	2.723.708
2002	3.253.194	-	-	219.822	3.473.016
2003	2.899.235	-	13.205	146.540	3.175.980
2004	3.161.289	-	14.261	261.264	3.436.814
2005	3.243.325	-	23.144	249.342	3.515.811
2006	3.396.326	-	32.131	251.827	3.680.284
2007	3.380.294	-	36.802	442.253	3.859.349
2008	3.498.371	-	45.300	577.847	4.121.518
2009	3.662.069	-	-	96.912	3.758.981

1 Fonte: adaptado de LIMPURB, 1979 a 2000 e SNIS, 2011.

2

3 Os dados apresentados na Tabela 3 foram obtidos dos relatórios anuais da LIMPURB para o  
 4 período de 1978 a 2001 e do SNIS para o período de 2002 a 2009. Para determinados anos, os  
 5 dados disponíveis tiveram que ser trabalhados para que pudessem ser apresentados desta forma,  
 6 as adaptações realizadas são detalhadas a seguir.

7

8 Os dados disponíveis para o ano de 1988, que totalizavam 3.728.516 toneladas de resíduos,  
 9 foram considerados anormais em relação aos demais anos (que correspondiam à 250% dos  
 10 resíduos enviados para aterro no ano de 1987 e a 325% do ano de 1989), por isso foram  
 11 descartados e os valores apresentados na Tabela 3 para este ano foram estimados pela média dos  
 12 valores de três anos anteriores e de três anos posteriores.

1  
2 Para o ano de 1995 não foram encontrados dados sobre a coleta e disposição dos resíduos sólidos  
3 urbanos, sendo os dados estimados aplicando-se as mesmas considerações do ano de 1988.

4  
5 Para os anos de 1993 e 1994 estavam disponíveis apenas os dados de quantidade de resíduos  
6 enviados para aterro e as proporções de resíduos coletados por tipo. Desta forma, optou-se por  
7 assumir que os resíduos enviados para aterros apresentavam a mesma proporção dos resíduos  
8 coletados nos respectivos anos.

9  
10 Os valores apresentados para os anos de 1996 a 2001 foram estimados dos dados obtidos nos  
11 relatórios anuais da LIMPURB, os quais estavam disponíveis no valor total de resíduos enviados  
12 para aterro sem nenhuma desagregação por tipo de resíduo. Para tanto, adotou-se a mesma  
13 proporção de desagregação do ano de 1994 – ano anterior mais próximo.

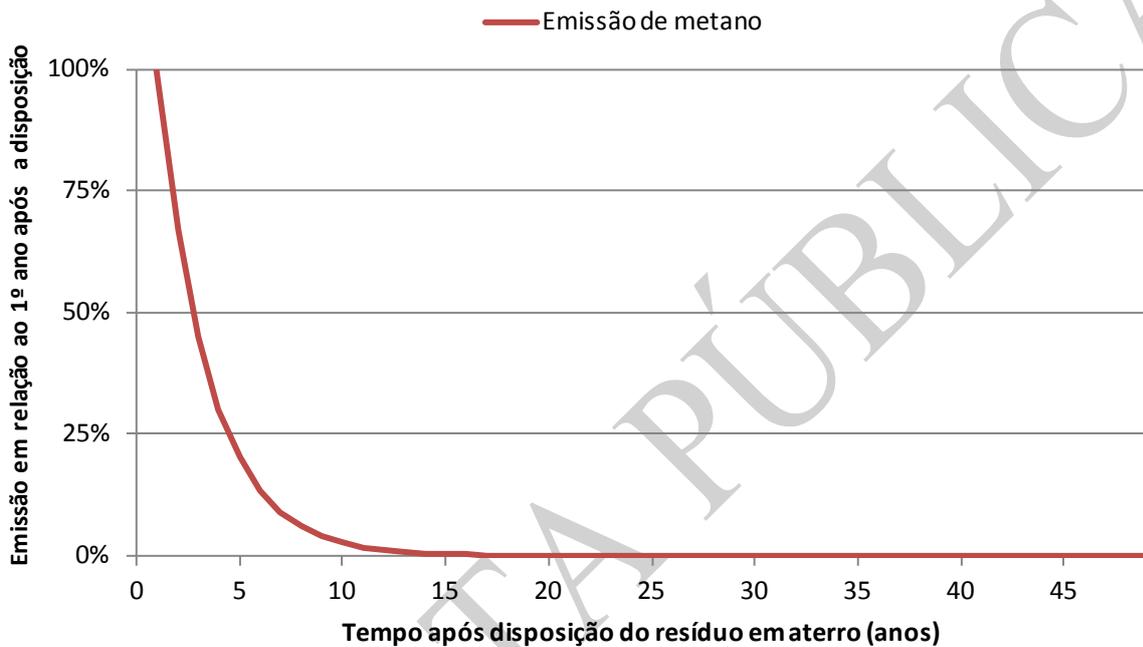
14  
15 Os dados de resíduos sólidos do SNIS para os anos de 2002 e 2003 estavam disponíveis na forma  
16 de resíduos totais, sendo os resíduos sólidos domésticos somados aos resíduos de varrição de  
17 vias públicas. Para desagregar estes dados, tomou-se como base os dados de 2004 a 2009 que  
18 estavam disponíveis separadamente em doméstico e de varrição de vias, obtendo-se uma média  
19 da proporção entre estes tipos de resíduos.

20  
21 Para o período de 2002 a 2004 foram descontados dos valores de resíduos domésticos coletados  
22 a quantidade de resíduos enviados para compostagem, obtendo-se então as quantidades de  
23 resíduos domésticos enviados para aterro sanitário.

24  
25 Para o período de 2005 a 2009 foram utilizados os dados de coleta de resíduos sólidos  
26 domiciliares e de varrição, adotando-se a premissa que todo o resíduo coletado foi disposto em  
27 aterros sanitários, uma vez que a partir de 2005 as usinas de compostagem do Município estavam  
28 desativadas.

29  
30 De acordo com IPCC (2006), considera-se como boa prática utilizar um histórico de dados de  
31 disposição de resíduos de pelo menos 50 anos. Porém, o histórico levantado para o Município de  
32 São Paulo consiste em uma série de 25 anos. A aplicação desta série histórica inferior à sugerida  
33 pelo IPCC (2006) não implica subestimar significativamente as emissões de CH<sub>4</sub> pelos aterros,  
34 uma vez que as emissões dos resíduos depositados em aterros há mais de 25 anos representam

1 menos de 0,01% das emissões que ocorreram no 1º ano após a disposição destes resíduos,  
 2 conforme apresentado na Figura 2. Esta projeção simula o CH<sub>4</sub> emitido anualmente em um  
 3 período de 50 anos para uma determinada quantidade X de resíduos que foi disposta no aterro no  
 4 ano 0, utilizando-se a metodologia proposta pelo IPCC (2006) e considerando-se as taxas de  
 5 degradação para as condições climáticas do Município de São Paulo.  
 6



7  
 8 **Figura 2 – Emissões relativas de CH<sub>4</sub> por tempo de disposição**

9  
 10 **Fração do COD que pode ser decomposto ( $DOC_f$ )**

11  
 12 A fração de COD que pode ser decomposto ( $DOC_f$ ), utilizado na Equação 5, refere-se a parcela  
 13 de COD que realmente é degradada sob condições anaeróbias nos aterros, pois parte desse carbono  
 14 não é degradado ou apresenta uma decomposição muito demorada. O valor de  $DOC_f$  utilizado  
 15 nos cálculos das estimativas de emissão de metano foi o padrão do IPCC (2006)<sup>12</sup> de 0,5.  
 16

17 **Fator de Correção de Metano ( $MCF$ )**

18  
 19 O fator de correção de metano ( $MCF$ ), aplicado na Equação 5, é determinado a partir das práticas  
 20 de disposição do aterro, levando-se em consideração o controle, forma de disposição dos

<sup>12</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.13 – *Fraction of degradable organic carbon which decomposes ( $DOC_f$ )*

1 resíduos e o gerenciamento do aterro. A utilização deste fator deve-se ao fato de que, para uma  
2 mesma quantidade de resíduos, a geração de metano em aterros não controlados é inferior ao  
3 gerado em condições anaeróbias.

4  
5 Como os aterros utilizados para a disposição dos resíduos sólidos do Município de São Paulo são  
6 classificados como aterros sanitários, o valor de  $MCF^{13}$  utilizado neste inventário foi de 1,0, que  
7 corresponde a um aterro manejado com condições anaeróbias.

### 9 Taxa de Geração de Metano ( $k$ )

10

11 A taxa de geração de metano ( $k$ ), utilizada na Equação 4 para quantificar a massa de COD  
12 acumulada no aterro ( $DDOC_{ma}$ ) e na Equação 3 para quantificar a massa de COD decomposta  
13 ( $DDOC_{md}$ ), está relacionada com o tempo necessário para que o COD seja degradado. Esta taxa  
14 depende de diversos fatores, como as condições climáticas da região e o tipo de material a ser  
15 decomposto.

16

17 Como não foram encontrados na literatura valores da taxa de geração de metano ( $k$ ) para o  
18 Município de São Paulo, foram utilizados os valores padrão do IPCC (2006) por tipo de material  
19 existente no resíduo. Por serem influenciados pelas condições climáticas da região, foram  
20 utilizadas as informações de temperatura média anual e precipitação média anual do Município,  
21 apresentadas na Tabela 4, para determinar os valores apropriados para a constante  $k$ .

22

<sup>13</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.14, Tabela 3.1

1 **Tabela 4 – Precipitação e temperatura do Município de São Paulo**

Mês	Temperatura do ar (°C)			Chuva (mm)
	mínima	média	máxima	
Janeiro	19,0	28,0	23,0	238,2
Fevereiro	19,0	28,0	24,0	210,9
Março	18,0	28,0	23,0	163,8
Abril	16,0	26,0	21,0	69,5
Mai	14,0	23,0	19,0	60,6
Junho	13,0	23,0	18,0	53,4
Julho	12,0	23,0	17,0	34,1
Agosto	13,0	25,0	19,0	42,9
Setembro	14,0	25,0	20,0	77,4
Outubro	16,0	26,0	21,0	116,7
Novembro	16,0	26,0	21,0	128,4
Dezembro	18,0	27,0	22,0	180,3
Ano	15,7	25,7	20,7	1.376,2

2 Fonte: CEPAGRI, 2011.

3

4 Como o Município de São Paulo apresenta temperatura média anual maior que 20°C e  
 5 precipitação média anual superior a 1.000mm, os valores da taxa de geração de metano (*k*)  
 6 utilizadas neste inventário são apresentadas na Tabela 5.

7

8 **Tabela 5 – Taxa de geração de metano**

Material constituinte	Taxa de geração de metano <i>k</i>	
Degradação lenta	Papel	0,07
	Trapos	0,07
	Madeira	0,035
Degradação moderada	Resíduos de Jardim	0,17
Degradação rápida	Restos de Alimentos	0,4

9 Fonte: adaptada de IPCC, 2006<sup>14</sup>

10

<sup>14</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3.17, Tabela 3.3 – apresentado apenas os valores de *k* para áreas de clima tropical que apresentam temperatura anual média superior a 20°C e precipitação anual média acima de 1.000mm.

### **Fração de CH<sub>4</sub> no biogás (*F*)**

A fração de CH<sub>4</sub> no biogás (*F*), aplicada na Equação 2 para determinar a quantidade de metano gerado, foi o valor padrão proposto pelo IPCC (2006)<sup>15</sup> de 50%.

### **Metano recuperado (*R*)**

O metano recuperado é referente a massa de gás metano gerado, captado e destruído (convertido em gás carbônico). Este processo reduz o poder de aquecimento global da atividade de disposição de resíduos sólidos em aterros. A recuperação de metano nos aterros ocorre pelo uso de queimadores (*flares*) e por projetos de aproveitamento energético do biogás gerado no aterro, como é o caso dos projetos incentivados pelo mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL.

### **Metano destruído por queimadores de biogás**

Antes da implantação dos projetos de MDL nos aterros utilizados pelo Município de São Paulo para dispor seus resíduos, já havia a prática de queima do biogás em *flares*. Devido à esta destruição prévia, considera-se nos projetos de redução de emissões uma linha de base de 20%. Essa linha de base, de acordo com a metodologia ACM 0001 da UNFCCC, é definida considerando-se que a eficiência de captura do biogás antes dos projetos era de 20% e que a eficiência de destruição nos *flares* abertos era de 50%. Ou seja, do metano gerado nos aterros considera-se que 10% era destruído.

Como esta prática de destruição em *flares* consiste no uso de queimadores distribuídos pelos aterros e sem controle ou registro de volumes efetivamente destruídos, considerou-se então o fator de 10% de destruição do metano gerado como volume recuperado por queimadores, apresentadas na Tabela 6.

<sup>15</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3,15 – *Fraction of CH<sub>4</sub> in generated landfill gas*

Tabela 6 – Linha de base de metano recuperado

Ano	Metano destruído linha de base (tCH <sub>4</sub> )
2003	10.894
2004	10.801
2005	11.636
2006	12.449
2007	12.981
2008	13.682
2009	14.749

### Metano recuperado por projetos MDL nos aterros

A partir da implantação dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL os aterros Bandeirantes e São João passaram a monitorar a quantidade de metano capturado e destruído pelos projetos para a obtenção de créditos de carbono. O metano efetivamente destruído nestes aterros, conforme dados de monitoramento dos mesmos, são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Metano destruído nos aterros Bandeirantes e São João

Ano	Bandeirantes (tCH <sub>4</sub> )	São João
2003	-	-
2004	30.705	-
2005	33.560	-
2006	34.002	-
2007	40.525	19.095
2008	33.401	37.317
2009	21.506	33.458

Fonte: SVMA, 2012

### Fator de Oxidação ( $O_x$ )

O fator de oxidação ( $O_x$ ), utilizado na Equação 1 para calcular a emissão de metano dos aterros, refere-se à quantidade de CH<sub>4</sub> dos aterros que é oxidada no solo ou em outro material de

1 cobertura nos aterros. Neste inventário, o fator utilizado foi o valor padrão proposto pelo IPCC  
2 (2006)<sup>16</sup> de 0,1 para aterros que são cobertos com materiais aerados, como por exemplo solo.

### 4 2.1.3. Resultados

#### 6 *Metano gerado nos aterros ( $CH_{4gerado}$ )*

8 O metano gerado a partir da decomposição dos resíduos do Município de São Paulo enviados  
9 para aterros foi quantificado aplicando-se os dados à metodologia do IPCC (2006), apresentados  
10 anteriormente. Na Tabela 8 são apresentadas as quantidades de metano gerado nos aterros,  
11 referente ao item  $\sum_x CH_4 gerado_{x,T}$  da Equação 1 – Emissão de  $CH_4$  da disposição de resíduos  
12 sólidos.

14 **Tabela 8 – Metano gerado nos aterros**

Ano	Metano gerado nos aterros
	(tCH <sub>4</sub> )
2003	108.940
2004	108.011
2005	116.361
2006	124.486
2007	129.807
2008	136.817
2009	147.489

#### 17 *Emissões de $CH_4$ dos aterros*

19 Para calcular as emissões de metano que realmente ocorreram no período inventariado deve-se  
20 considerar o metano recuperado nos aterros e o fator de oxidação, conforme apresentado na  
21 Equação 1, representada abaixo:

<sup>16</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.3, p.3,15, Tabela 3.2

$$E = \left[ \sum_x CH_4 \text{ gerado}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - O_{x_T})$$

Equação 1 – Emissão de CH<sub>4</sub> da disposição de resíduos sólidos

1  
2 Neste caso, o metano recuperado foi contabilizado como a soma do metano destruído em  
3 queimadores e do metano destruído e monitorado com a implantação dos projetos de MDL -  
4 apresentados na seção Metano recuperado (R). As emissões de metano são apresentadas na  
5 Tabela 9.

6  
7 **Tabela 9 – Emissão de metano nos aterros**

Ano	[CH <sub>4</sub> gerado]	[R <sub>T</sub> ]		[E]
	CH <sub>4</sub> gerado nos aterros	Metano destruído queimadores	Metano destruído com projetos MDL	Emissão nos aterros
(tCH <sub>4</sub> )				
2003	108.940	10.894	-	88.241
2004	108.011	10.801	24.564	65.381
2005	116.361	11.636	26.848	70.089
2006	124.486	12.449	27.202	76.352
2007	129.807	12.981	47.696	62.217
2008	136.817	13.682	56.575	59.904
2009	147.489	14.749	43.971	79.892

8  
9 Os dados de metano recuperado e destruído por projetos MDL foram ajustados com o desconto  
10 da linha de base referente à destruição deste gás por meio de queimadores, a fim de evitar dupla  
11 contagem. Conforme descrito na metodologia ACM 0001 da UNFCCC, 20% do biogás  
12 recuperado e destruído por projetos MDL devem ser considerados como linha de base. Assim,  
13 esta fração foi descontada da massa de metano registrada e apresentada na Tabela 7 antes de ser  
14 somada com o metano destruído por queimadores, que já corresponde à linha de base.

### 16 *Emissões contabilizadas para o Município de São Paulo*

17  
18 As emissões reduzidas pelo processo de registro e verificação do MDL geram um documento de  
19 certificação de emissões reduzidas, o CER ou, no termo mais conhecido, os créditos de carbono,  
20 reportadas em toneladas de carbono equivalente (tCO<sub>2e</sub>). Estes créditos podem ser  
21 comercializados para empresas ou entidades, que buscam estes certificados para compensar  
22 emissões de GEE de suas atividades.

1 Os projetos de MDL dos aterros Bandeirantes e São João foram realizados em conjunto com a  
 2 empresa Biogás Ambiental S/A e a metade dos créditos de carbono disponibilizados pela  
 3 UNFCCC (que retém 2% dos créditos) gerados nestes projetos são pertencentes à Biogás  
 4 Ambiental S/A e não devem ser consideradas como redução das emissões do Município de São  
 5 Paulo.

6  
 7 Além disso, parte dos créditos de carbono de propriedade da prefeitura foi comercializada para  
 8 empresas ou entidades. Estas, por sua vez, após aquisição dos créditos, incorporam as emissões  
 9 evitadas aos seus inventários de GEE, reportando-as como compensação para suas emissões  
 10 realizadas. Por isto, os créditos de carbono comercializados pelo Município de São Paulo,  
 11 também não devem ser considerados como reduções de emissões perante as metas definidas pelo  
 12 Município.

13  
 14 Os créditos de carbono (CER) comercializados pela Prefeitura do Município de São Paulo são  
 15 apresentados na Tabela 10, sendo que para efeito de cálculo os créditos foram divididos  
 16 igualmente para o período de captação.

17  
 18 **Tabela 10 – Comercialização de créditos de carbono do Município de São Paulo**

Origem do Crédito de Carbono	Período de Captação	Crédito de Carbono (tCO <sub>2</sub> e)
Aterro Sanitário Bandeirantes	Janeiro de 2004 a Dezembro de 2006	808.450
Aterro Sanitário Bandeirantes	Janeiro de 2007 a Março de 2008	454.343
Aterro Sanitário São João	Maior de 2007 a Maio de 2008	258.657

19 Fonte: INFOCIDADE, 2012

20  
 21 Desta forma, os CER de propriedade da Biogás Ambiental S/A, da UNFCCC, e os créditos de  
 22 carbono comercializados pela prefeitura foram somados ao montante das emissões dos aterros  
 23 para evitar uma dupla contagem global em relação às reduções de emissões, apresentado na  
 24 Tabela 11.

25

1 **Tabela 11 – Emissões totais dos aterros**

Ano	Aterro	CER Comercializados pela Prefeitura	CER de propriedade da Biogás Ambiental S/A	CER de propriedade da UNFCCC	Emissões contabilizadas nos aterros
2003	1.853.066	-	-	-	1.853.066
2004	1.373.004	256.006	248.729	10.152	1.887.891
2005	1.471.867	256.006	248.729	10.152	1.986.754
2006	1.603.393	256.006	279.943	11.426	2.150.768
2007	1.306.558	502.146	518.011	21.143	2.347.858
2008	1.257.990	184.767	570.600	23.290	2.036.647
2009	1.677.724	-	442.003	18.041	2.137.769

2  
3 Os projetos de MDL dos aterros Bandeirantes e São João, além da captação e destruição do  
4 metano, fazem o uso deste gás como fonte de geração de eletricidade. O gás captado é enviado e  
5 queimado em motores acoplados à geradores de eletricidade. Esta atividade também gera  
6 créditos de carbono pela introdução de energia limpa à rede elétrica. Os créditos vendidos pela  
7 Prefeitura de São Paulo também incluem uma fração destes projetos, mas nem todos foram  
8 vendidos, que permite a contabilização destes no inventário. A Tabela 12 apresenta os valores de  
9 créditos de carbono referentes apenas à estes projetos de eletricidade que não foram considerados  
10 nos créditos dos aterros (Tabela 11).

11  
12 **Tabela 12 – CER de eletricidade gerada nos aterros**

Ano	CER eletricidade da PMSP	CER eletricidade comercializado pela prefeitura	CER remanescentes
2003	-	-	-
2004	11.381	11.381	-
2005	11.381	11.381	-
2006	18.288	17.671	618
2007	18.604	18.604	-
2008	28.916	7.484	21.432
2009	31.607	-	31.607

13  
14 Os CER remanescentes de eletricidade apresentados deveriam ser contabilizados como redução  
15 do setor Energia. No entanto, pela baixa relevância dos valores finais perante as emissões e pelo

1 fato de todo o desenvolvimento acerca dos créditos de carbono estar desenvolvidos neste setor,  
2 esta contabilização é apresentada na Tabela 13.

3  
4 **Tabela 13 – Emissões de GEE contabilizadas no inventário**

Ano	Emissões contabilizadas nos aterros	CER remanescentes energia (tCO <sub>2</sub> e)	Emissões contabilizadas
2003	1.853.066	-	1.853.066
2004	1.887.891	-	1.887.891
2005	1.986.754	-	1.986.754
2006	2.150.768	618	2.150.151
2007	2.347.858	-	2.347.858
2008	2.036.647	21.432	2.015.215
2009	2.137.769	31.607	2.106.162

5  
6 O aterro de caieiras também possui projeto de MDL e então a maior parte do metano gerado  
7 neste aterro é destruído. A base de dados utilizada neste inventário parte da quantidade de  
8 resíduos gerados no Município de São Paulo e enviados para aterros, mas não há uma divisão  
9 exata dos resíduos enviados para cada aterro. Como o aterro de Caieiras recebe resíduos de  
10 outras regiões além do município de São Paulo, não é possível determinar a quantidade de  
11 metano destruído para apenas os resíduos da capital. Entretanto, conforme já discutido, as  
12 emissões reduzidas no aterro de Caieiras e convertidas em créditos de carbono não são de  
13 propriedade da prefeitura de São Paulo. Assim, qualquer redução calculada deverá ser  
14 descontada em sua totalidade nas emissões finais, não alterando o valor final apresentado na  
15 Tabela 11.

## 17 **2.2. SUBSETOR TRATAMENTO BIOLÓGICO**

18  
19 São considerados como tratamento Biológico pelo IPCC (2006) a compostagem, a digestão  
20 anaeróbia do lixo orgânico e o tratamento mecânico biológico. Verificou-se que no período  
21 inventariado, o Município de São Paulo contava com as usinas de compostagem Vila Leopoldina  
22 e São Mateus. A usina de compostagem da Vila Leopoldina operou até o ano de 2004 e a usina  
23 de São Mateus foi desativada em 2003 (SMA, 2004b; AVEZUM e SCHALCH, 1996; SESC-SP,  
24 2004).

25

### 2.2.1. Metodologia

O tratamento dos resíduos por compostagem é um processo de conversão aeróbia da matéria orgânica, tendo por produto final um condicionador do solo, denominado composto. O IPCC (2006) considera que durante este processo são emitidos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o método proposto é apresentado em três *Tiers* e não contabiliza as emissões de CO<sub>2</sub> por serem de origem biogênica. Todos os *Tiers* são baseados no mesmo método de contabilização, porém o *Tier 1* utiliza fatores de emissão padrão do IPCC, o *Tier 2* utiliza fatores de emissão específicos para a região e o *Tier 3* utiliza fatores de emissão específicos para cada usina de compostagem.

Neste inventário, as emissões de CH<sub>4</sub> pelo tratamento dos resíduos por compostagem foram quantificadas aplicando o *Tier 1*, conforme apresentado pela Equação 7.

$$E_{CH_4} = M \cdot FE - R \quad \text{Equação 7 – Emissão de CH}_4 \text{ por compostagem}^{17}$$

onde

$E_{CH_4}$	Emissão de CH <sub>4</sub>	[tCH <sub>4</sub> ]
$M$	Massa do lixo orgânico tratado	[t de resíduo]
$FE$	Fator de emissão	[tCH <sub>4</sub> /t de resíduo]
$R$	CH <sub>4</sub> recuperado	[tCH <sub>4</sub> ]

As emissões de N<sub>2</sub>O provenientes da compostagem dos resíduos foram obtidas aplicando-se a Equação 8.

$$E_{N_2O} = M \cdot FE \quad \text{Equação 8 – Emissão de N}_2\text{O por compostagem}^{18}$$

onde

$E_{N_2O}$	Emissão de N <sub>2</sub> O	[tN <sub>2</sub> O]
$M$	Massa do lixo orgânico tratado	[t de resíduo]
$FE$	Fator de emissão	[tCH <sub>4</sub> /t de resíduo]

<sup>17</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.4, p.4.5, Equação 4.1 com adaptação das unidades de medida das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (Gg para t)

<sup>18</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.4, p.4.5, Equação 4.2 - com adaptação das unidades de medida das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (Gg para t)

## 2.2.2. Dados

### Massa do lixo orgânico tratado (*M*)

Os dados de resíduos sólidos domiciliares enviados para tratamento em usinas de compostagem, utilizados para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, são apresentados na Tabela 14. Os dados referentes ao tratamento por compostagem são apresentados para os anos de 2003 e 2004, anos em que as usinas de compostagem estavam em operação.

**Tabela 14 – Resíduos sólidos domiciliares enviados para compostagem**

Ano	Resíduos (toneladas)
2003	334.420
2004	193.101

Fonte: LIMPURB *apud* INFOCIDADE, 2012.

### Fatores de Emissão (*FE*)

Os fatores de emissão utilizados para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O proveniente do tratamento dos resíduos sólidos por compostagem são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15 – Fatores de emissão de GEE da compostagem**

FE CH <sub>4</sub> (tCH <sub>4</sub> /t de resíduo tratado)	FE N <sub>2</sub> O (tN <sub>2</sub> O/t de resíduo tratado)
0,004	0,0003

Fonte: adaptado de IPCC, 2006<sup>19</sup>.

### Metano Recuperado (*R*)

Como não se tem informações disponíveis sobre recuperação de metano nas usinas de compostagem, considerou-se a variável *R* igual a zero.

<sup>19</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.4, p.4.6, Tabela 4.1 – *Emission factor on a wet weight basis: Composting*

### 2.2.3. Resultados

As emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) provenientes da compostagem dos resíduos sólidos no Município de São Paulo foram estimadas conforme metodologia do IPCC (2006) e são apresentadas na Tabela 16 para os anos de 2003 e 2004, anos em que as usinas de compostagem do Município estavam em operação.

**Tabela 16 – Emissões de GEE por compostagem**

Ano	Emissões de CH <sub>4</sub>	Emissões de N <sub>2</sub> O
	(tCH <sub>4</sub> )	(tN <sub>2</sub> O)
2003	1.338	100
2004	772	58

### 2.3. SUBSETOR INCINERAÇÃO

A incineração de resíduos é definida pelo IPCC (2006) como a combustão de resíduos sólidos e líquidos em unidades de incineração. Essa prática é fonte de emissão dos seguintes GEE: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

No Município de São Paulo verificou-se que a incineração é adotada para uma parte dos resíduos de serviço de saúde – RSS<sup>20</sup>. Os RSS do grupo A (que podem apresentar risco de infecção devido à presença de agentes biológicos) são enviados para a estação de tratamento de resíduos de saúde Jaguaré, que possui o processo de desativação eletrotérmica – ETD. Os RSS enviados para incineração são os resíduos do grupo B, que são os que contêm substâncias químicas com potencial de risco à saúde pública ou ao meio ambiente (FIESP, 2012; LIMPEZA PÚBLICA, 2012; LIMPURB, 2012; SÃO PAULO, 2011).

<sup>20</sup> RSS - resíduos produzidos em locais que prestam serviços de saúde e que tenham potencial de conter microrganismos patogênicos (PMSP, 2011).

### 2.3.1. Metodologia

O método proposto pelo IPCC (2006) é apresentado em três *Tiers*. Todos os *Tiers* são baseados no mesmo método de contabilização, porém o *Tier 1* utiliza fatores de emissão padrão do IPCC, o *Tier 2* utiliza fatores de emissão específicos para a região e o *Tier 3* utiliza fatores de emissão específicos para cada incinerador.

As emissões de GEE proveniente da incineração dos RSS do grupo B foram calculadas aplicando-se o *Tier 1*. Para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> da incineração dos resíduos sólidos foi aplicada a Equação 9.

$$E_{CO_2} = \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot \frac{44}{12}$$

**Equação 9 – Emissão de CO<sub>2</sub> por incineração de resíduos<sup>21</sup>**

onde

$E_{CO_2}$	Emissão de CO <sub>2</sub> por incineração	[tCO <sub>2</sub> /ano]
$SW$	Resíduo sólido incinerado	[t de resíduo/ano]
$dm$	Conteúdo de matéria seca nos resíduos incinerados	[%]
$CF$	Fração de carbono na matéria seca	[tC/t de resíduo]
$FCF$	Fração de carbono fóssil no conteúdo de carbono total do resíduo	[%]
$OF$	Fator de oxidação	[%]
$44/12$	Conversão de C para CO <sub>2</sub>	[tCO <sub>2</sub> /tC]
$i$	Tipo de resíduo	

As emissões de CH<sub>4</sub> provenientes da incineração dos resíduos são resultantes da combustão incompleta dos mesmos. Estas emissões foram estimadas de acordo com a Equação 10.

$$E_{CH_4} = \sum_i (IW_i \cdot FE_i) \cdot 10^{-3}$$

**Equação 10 – Emissão de CH<sub>4</sub> por incineração de resíduos<sup>22</sup>**

onde

<sup>21</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.5, p.5.7, Equation 5.1 com adaptação das unidades de medidas das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (Gg para t)

<sup>22</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.5, p.5.12, Equation 5.4 com adaptação das unidades de medidas das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (Gg para t)

1

$E_{CH_4}$	Emissão de CH <sub>4</sub> por incineração	[tCH <sub>4</sub> /ano]
$IW$	Resíduo sólido incinerado	[t de resíduo/ano]
$FE$	Fator de emissão	[kgCH <sub>4</sub> /t de resíduo]
$10^{-3}$	Conversão de kg para t	[t/kg]
$i$	Tipo de resíduo	

2

3 De acordo com o IPCC (2006), as emissões de N<sub>2</sub>O ocorrem no processo de combustão a  
 4 temperaturas relativamente baixas, entre 500 e 950°C. Outros fatores importantes que afetam a  
 5 emissão deste GEE são o tipo de equipamento de controle da poluição do ar, tipo do resíduo,  
 6 conteúdo de nitrogênio presente no resíduo e a fração de ar em excesso.

7

8 As emissões de N<sub>2</sub>O foram estimadas de acordo com a Equação 11.

9

$$E_{N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot FE_i) \cdot 10^{-3}$$

**Equação 11 - Emissão de N<sub>2</sub>O por incineração de resíduos<sup>23</sup>**

10

11 onde

12

$E_{N_2O}$	Emissão de N <sub>2</sub> O por incineração	[tN <sub>2</sub> O/ano]
$IW$	Resíduo sólido incinerado	[t de resíduo/ano]
$FE$	Fator de emissão	[kgN <sub>2</sub> O/t de resíduo]
$10^{-3}$	Conversão de kg para t	[t/kg]
$i$	Tipo de resíduo	

13

### 14 2.3.2. Dados

15

#### 16 **Resíduo Sólido Incinerado (IW)**

17

18 Conforme apresentado anteriormente, verificou-se que os resíduos enviados para incineração no  
 19 período inventariado foram os RSS do grupo B. Foram identificadas duas bases de dados para os

<sup>23</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.5, p.5.14, Equation 5.5 com adaptação das unidades de medidas das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (Gg para t)

1 RSS, a do SNIS que apresenta dados da quantidade total de RSS coletados no Município de São  
 2 Paulo e a quantidade de RSS enviados para tratamento na estação Jaguaré; e a do INFOCIDADE  
 3 que apresenta dados da quantidade total de RSS coletados no Município, a quantidade de RSS  
 4 enviados para incineração e a quantidade de RSS de animais mortos.

5  
 6 Os dados da quantidade de RSS enviados para incineração adotados neste inventário são  
 7 apresentados na Tabela 17, os quais foram obtidos considerando-se a proporção média observada  
 8 nos dados de 2003 a 2006 dos RSS do grupo B incinerados do INFOCIDADE e aplicando esta  
 9 proporção à diferença entre os dados de RSS coletados no Município de São Paulo e de RSS  
 10 enviados para tratamento na estação Jaguaré da base SNIS para cada ano inventariado.

11  
 12 **Tabela 17 – RSS incinerado (IW)**

Ano	Incineração Resíduo Grupo B (t)
2003	305
2004	309
2005	253
2006	730
2007	514
2008	450
2009	328

13 Fonte: estimados a partir de LIMPURB *apud* INFOCIDADE, 2012 e SNIS, 2012.

14  
 15

16 **Fatores utilizados para estimas as emissões de CO<sub>2</sub>**

17

18 Para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da incineração dos RSS adotou-se a premissa de  
 19 que o conteúdo de matéria seca nos resíduos do grupo B incinerados representa 100% do seu  
 20 peso, uma vez que estes resíduos referem-se a medicamentos vencidos e quimioterápicos. Os  
 21 demais fatores utilizados para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> por incineração são apresentados na  
 22 Tabela 18.

23

Tabela 18 – Fatores para estimar emissões de CO<sub>2</sub> por incineração

Fatores para RSS	Valor Padrão
Conteúdo total de C na matéria seca	60%
Fração de C fóssil do conteúdo total de C	40%
Fator de oxidação	100%

Fonte: IPCC, 2006<sup>24</sup>

### Fatores de emissão (FE) para CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

Na Tabela 19, são apresentados os fatores de emissão utilizados para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes da incineração dos RSS.

Tabela 19 – Fatores de emissão dos incineradores

Fator de Emissão	Tipo de incinerador	Valor padrão
FE CH <sub>4</sub> *	Incinerador do tipo batelada	60 g/t de resíduo incinerado
FE N <sub>2</sub> O*	Incinerador do tipo batelada	60g/t de resíduo incinerado

\* foram adotados os FE para resíduos sólidos urbanos, pois no IPCC (2006) não existe um FE padrão para RSS.

Fonte: IPCC, 2006<sup>25</sup>

### 2.3.3. Resultados

As emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) provenientes da incineração dos RSS do grupo B, estimadas a partir da metodologia do IPCC (2006), são apresentadas na Tabela 20.

<sup>24</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.5, p.5.18, Table 5.2 – *Clinical Waste*

<sup>25</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.5, p.5.20, Table 5.3 – CH<sub>4</sub>: *Batch type incineration stoker* e p.5.22, Table 5.6 – N<sub>2</sub>O: *MSW Batch type incinerators*. Para N<sub>2</sub>O utilizou-se o fator de emissão para resíduos sólidos municipais (MSW), pois o IPCC não apresentava um fator de emissão específico para resíduos de serviço de saúde.

1

**Tabela 20 – Emissão de GEE provenientes da incineração de resíduos**

Ano	Emissão de CO <sub>2</sub>	Emissão de CH <sub>4</sub>	Emissão de N <sub>2</sub> O
	(tCO <sub>2</sub> )	(tCH <sub>4</sub> )	(tN <sub>2</sub> O)
2003	268	0,02	0,02
2004	272	0,02	0,02
2005	223	0,02	0,02
2006	642	0,04	0,04
2007	452	0,03	0,03
2008	396	0,03	0,03
2009	289	0,02	0,02

2

3 Conforme descrito pelo IPCC (2006), pode-se verificar que as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O  
 4 provenientes da incineração de resíduos mostraram-se menos significativas que as emissões de  
 5 CO<sub>2</sub> de origem fóssil.

6

7 Para se refinar as estimativas desta fonte de emissão seria interessante um estudo que verificasse  
 8 a composição dos resíduos hospitalares, obtendo-se fatores específicos para o Município.

9

### 3. SUBSETOR DE EFLUENTES LÍQUIDOS

Os efluentes líquidos contribuem para o aquecimento global devido à emissão de gases de efeito estufa – GEE durante os processos de degradação, seja em sistemas naturais (rios e lagos) ou artificiais (estações de tratamento). Além disso, os efluentes sem tratamento, lançados *in natura* nos corpos hídricos podem causar outros graves problemas ambientais, como a poluição e eutrofização dos corpos d'água, além da proliferação de doenças; por esses motivos, a coleta e o tratamento dos efluentes são tão importantes para os seres humanos e para o meio ambiente (VON SPERLING, 2005; SABESP, 2012).

Os efluentes líquidos domésticos apresentam uma elevada concentração de matéria orgânica, que durante os seus processos de degradação são convertidos em dióxido de carbônico ( $\text{CO}_2$ ), água e material celular. Em condições anaeróbias observa-se também a produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) (VON SPERLING, 2005).

Segundo o IPCC (2006), as emissões de  $\text{CO}_2$  provenientes dos efluentes não devem ser contabilizadas no total de emissões de GEE por serem de origem biogênica. Complementa ainda que a produção de  $\text{CH}_4$  está diretamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica degradável presente no efluente, a temperatura e o tipo de tratamento aplicado. Além disso, os efluentes também podem ser fonte de emissão de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). O Quadro 1 apresenta as possíveis fontes de emissão de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  do tratamento e sistemas de despejos dos efluentes e lodo.

Quadro 1 – Tratamento e sistemas de despejos com potencial de emissão de GEE

Tipos de tratamento e despejo		Potencial de emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O		
Coletado	Não Tratado	Lançamento em corpos hídricos	Rios e lagos com pouca aeração podem gerar condições para a decomposição anaeróbia, produzindo CH <sub>4</sub>  Rios, lagos e estuários são prováveis fontes de N <sub>2</sub> O	
		Rede coletora	Não é considerado fonte de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O	
		Esgoto a céu aberto	Coletores abertos estagnados e sobrecarregados provavelmente serão fontes significantes de CH <sub>4</sub>	
	Tratado	Aerobiamente	Plantas centralizadas de tratamento aeróbio de efluente	Podem emitir CH <sub>4</sub> se forem mal gerenciadas ou devido a bolsões anaeróbios  Plantas de tratamento avançado com remoção de nutrientes podem emitir pequenas quantidades de N <sub>2</sub> O
			Lodo tratado anaerobiamente em plantas centralizadas aeróbias	Pode ser uma fonte significativa de CH <sub>4</sub> se não for destruído em <i>flare</i> ou recuperado com fins energéticos
		Lagoas aeróbias rasas	Fontes improváveis de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O  Se mal gerenciado pode emitir CH <sub>4</sub>	
		Tratamento Anaeróbio	Lagoas anaeróbias	Provável fonte de CH <sub>4</sub>  Não é considerado fonte de N <sub>2</sub> O
			Reatores anaeróbios	Pode ser uma fonte significativa de CH <sub>4</sub> se não for destruído em <i>flare</i> ou recuperado com fins energéticos
	Não Coletado	Taqueos sépticos		A remoção frequente dos sólidos reduz a produção de CH <sub>4</sub>
		Latrinas		A produção de CH <sub>4</sub> depende de temperatura e tempo de retenção favoráveis
Lançamento em corpos hídricos		Rios e lagos com pouca aeração podem gerar condições para a decomposição anaeróbia, produzindo CH <sub>4</sub>  Rios, lagos e estuários são prováveis fontes de N <sub>2</sub> O		

2 Fonte: IPCC, 2006<sup>26</sup> – Tradução livre

3

4 No Brasil, o cenário de descarte de efluentes apresenta índices de coleta e tratamento de esgotos  
5 domésticos urbanos ainda pouco satisfatórios. Em 2008, 50,6% dos esgotos domésticos urbanos

<sup>26</sup> Fonte: IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.8, Tabela 6.1

1 foram coletados e apenas 34,6% tratados antes de serem direcionados para os corpos d'água  
2 (ANA, 2011). O estado de São Paulo destaca-se como uma das regiões com maior índice de  
3 coleta e tratamento, com mais de 80% de domicílios atendidos com coleta de esgotos (IBGE,  
4 2010).

5

### 6 **3.1. EFLUENTES NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

#### 7 **3.1.1. Efluentes Domésticos**

8

9 No Município de São Paulo, a coleta e o tratamento dos esgotos domésticos são realizados pela  
10 Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, que atualmente conta  
11 com a concessão realizada através de acordo com a lei municipal nº 14.934 de 2009, que autoriza  
12 a Prefeitura do Município de São Paulo a celebrar contratos e convênios com a Agência  
13 Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo - ARSESP e a SABESP.

14

15 No ano de 2003 o índice de atendimento da coleta de esgoto da população urbana no Município  
16 era de 93%, sendo que 66% do esgoto coletado eram tratados. No ano de 2009 o índice de  
17 atendimento da coleta de esgoto da população urbana no Município passou a ser de 97%, sendo  
18 que 75% eram tratados (SABESP *apud* INFOCIDADE, 2012).

19

20 A SABESP opera diversas Estações de Tratamento de Esgotos – ETE, dentre as quais, as ETE  
21 ABC, Barueri, Parque Novo Mundo e São Miguel, que recebem os esgotos gerados no  
22 Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2008).

23

24 A ETE ABC, localizada na divisa dos municípios de São Paulo e São Caetano do Sul, atende as  
25 cidades de Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema, São Caetano do Sul, Mauá e uma  
26 parte de São Paulo. Esta ETE iniciou sua operação em junho de 1998 com vazão média de  
27 projeto de 3 mil litros de esgoto por segundo. O tratamento é realizado através do processo de  
28 lodo ativado convencional em nível secundário e possui eficiência de remoção de carga orgânica  
29 de 90% (SABESP, 2012b).

30

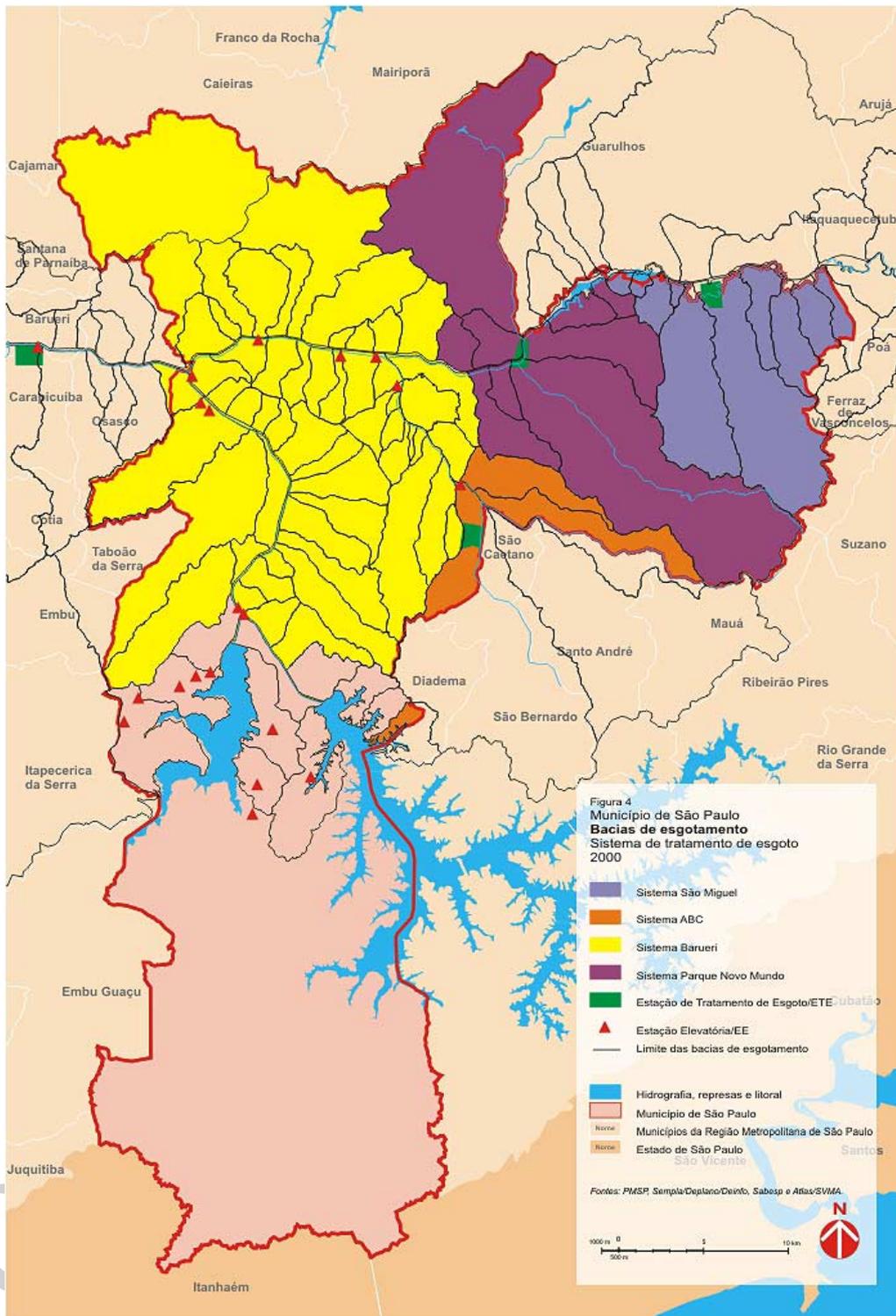
1 A ETE Barueri está localizada no Município de Barueri, mas trata os esgotos da maior parte da  
2 cidade de São Paulo (como pode ser verificado na Figura 3), além dos municípios de Jandira,  
3 Itapevi, Barueri, Carapicuíba, Osasco, Taboão da Serra, partes de Cotia e Embu. Esta ETE  
4 iniciou sua operação em maio de 1988 com vazão média de projeto de 9,5 mil litros de esgoto  
5 por segundo. O tratamento é realizado através do processo de lodo ativado convencional em  
6 nível secundário e possui eficiência de remoção de carga orgânica de 90% (SABESP, 2012b).

7  
8 A ETE Parque Novo Mundo, localizada na margem direita do Rio Tietê dentro do Município de  
9 São Paulo, atende parte do Município de São Paulo. Esta ETE iniciou sua operação em junho de  
10 1998 com vazão média de projeto de 2,5 mil litros de esgoto por segundo. O tratamento é  
11 realizado através do processo de lodo ativado por alimentação escalonada em nível secundário e  
12 possui eficiência de remoção de carga orgânica de 90% (SABESP, 2012b).

13  
14 A ETE São Miguel, localizada no Município de São Paulo na margem esquerda do Rio Tietê,  
15 atende parte dos municípios de São Paulo, Guarulhos, Arujá, Ferraz de Vasconcelos, e  
16 Itaquaquecetuba. Esta ETE iniciou sua operação em junho de 1998 com vazão média de projeto  
17 de 1,5 mil litros de esgoto por segundo. O tratamento é realizado através do processo de lodo  
18 ativado por alimentação escalonada e possui eficiência de remoção de carga orgânica de 90% na  
19 remoção da carga orgânica (SABESP, 2012b).

20  
21 Conforme apresentado, algumas ETEs localizam-se fora do limite do Município de São Paulo,  
22 porém as emissões de GEE provenientes dos efluentes do Município de São Paulo foram  
23 contabilizadas neste inventário independentemente das emissões terem ocorrido no Município ou  
24 não.

25  
26 A seguir, na Figura 3, são apresentadas as bacias de esgotamento e a localização das ETE.  
27



1  
2 Fonte: SÃO PAULO (Estado), 2008  
3 **Figura 3 – Bacias de esgotamento e localização das ETE**

4  
5 Os tratamentos de esgotos são normalmente classificados em tratamento preliminar, primário,  
6 secundário e terciário. Os tratamentos preliminar e primário removem os sólidos grosseiros e  
7 sedimentáveis, respectivamente; através de mecanismos predominantemente físicos. O  
8 tratamento secundário remove a matéria orgânica presente no efluente através de mecanismos

1 biológicos. O tratamento terciário remove poluentes específicos ou complementa a remoção de  
2 poluentes não suficientemente removidos no tratamento anterior (VON SPERLING, 2005).

3  
4 O tratamento de esgoto nas ETE da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP da SABESP  
5 que recebem efluentes do Município é realizado através do método de lodos ativados em nível  
6 secundário (SABESP, 2012b).

7  
8 O princípio básico do sistema de lodos ativados convencional é a recirculação do lodo ao tanque  
9 de aeração, onde ocorre a mistura do lodo ativado com o esgoto bruto. Isto se deve ao fato do  
10 lodo ativado possuir uma grande concentração de bactérias ativas, as quais assimilam a matéria  
11 orgânica presente no esgoto, acelerando o processo de degradação da matéria orgânica. As  
12 vantagens desse sistema são a ocupação de áreas reduzidas e a elevada eficiência de remoção  
13 (VON SPERLING, 2005).

14  
15 O lodo excedente, que não é retornado ao tanque de aeração, é tratado em digestores anaeróbios.  
16 Essa estabilização do lodo deve-se à degradação da matéria orgânica pelos microrganismos  
17 anaeróbios. Após essa etapa o lodo passa pelo filtro prensa para ser desidratado, onde passa a ter  
18 40% de sólidos. Em seguida o lodo é armazenado e desidratado para ser enviado para aterros  
19 sanitários (SABESP, 2012b).

20

### 21 **3.1.2. Efluentes Industriais**

22

23 De acordo com o IPCC (2006), os efluentes industriais podem ser tratados no local ou  
24 despejados no sistema do esgoto doméstico. No caso do Município de São Paulo, os efluentes  
25 industriais são lançados na rede juntamente com os esgotos domésticos ou diretamente nos  
26 corpos d'água após tratamento.

27

28 No estado de São Paulo, conforme o Decreto Estadual 8.468, de 8 de Setembro de 1976, se a  
29 fonte poluidora estiver situada em local provido do sistema público de coleta de esgoto, o  
30 responsável pela fonte deverá providenciar o encaminhamento dos despejos líquidos à rede  
31 coletora. No caso de inexistência de rede coletora, o efluente poderá ser lançado em corpos  
32 hídricos, desde que esteja devidamente tratado e estejam de acordo com os padrões de

1 lançamento para que não alterem a qualidade do corpo receptor (SÃO PAULO, 1976). Os  
2 padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos devem estar em conformidade com a  
3 Resolução CONAMA 430/11.

4  
5 No Município, o lançamento dos efluentes industriais no sistema público é permitido contanto  
6 que não apresentem características que possam causar danos ao sistema coletor, ao processo  
7 biológico do tratamento e à saúde dos operadores das ETE.

8  
9 Para se estimar as emissões provenientes dos efluentes industriais tratados *in situ* são necessárias  
10 informações de geração e tratamento de efluentes das indústrias em atividade no município de  
11 São Paulo. Para o cálculo das emissões de GEE dos efluentes industriais o IPCC (2006)  
12 recomenda o mapeamento das principais atividades industriais: produção de papel e celulose;  
13 matadouros; produção de álcool, cerveja e amido; produção de produtos químicos orgânicos; e  
14 produção de outros alimentos e bebidas. Durante o levantamento de dados foram identificadas  
15 algumas indústrias dentro das atividades indicadas pelo IPCC, principalmente a partir de  
16 associações como BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel), ABRAFRIGO  
17 (Associação Brasileira de Frigoríficos), APA (Associação Paulista de Avicultura) e entidades  
18 como IBGE. Entretanto, dados de produção desagregados para o município ou informações que  
19 pudessem levar a uma estimativa de efluentes não foram identificados.

20  
21 Desta forma, foram contabilizadas neste inventário as emissões de GEE provenientes dos  
22 efluentes industriais que são lançados na rede coletora pública, apenas não sendo reportada  
23 separadamente em esgotos domésticos e efluentes industriais.

24

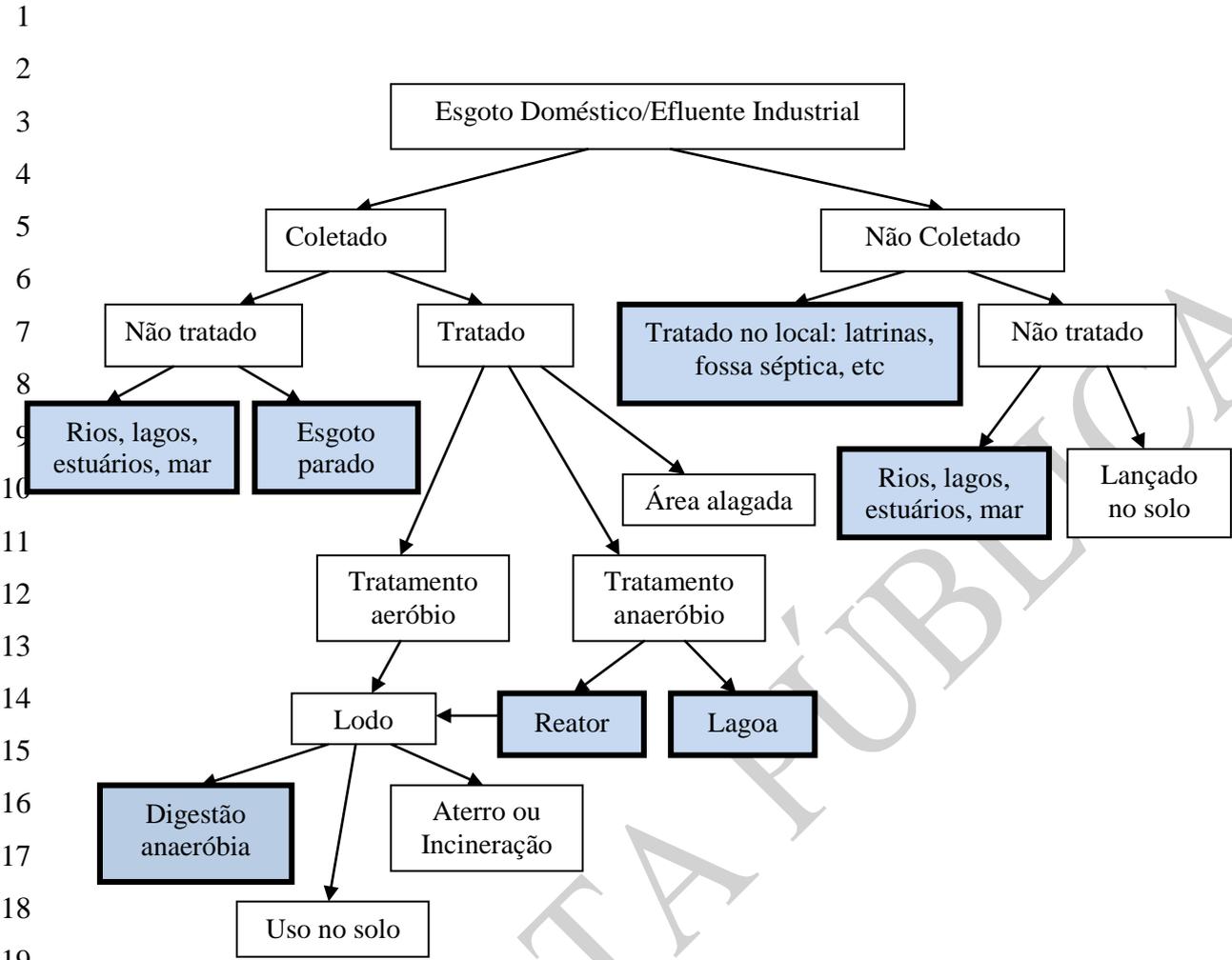
### 25 **3.2. METODOLOGIA**

26

27 Para estimar as emissões GEE adotou-se a metodologia apresentada pelo guia técnico do IPCC  
28 (2006), o qual divide as emissões da categoria de efluentes em oriundas do esgoto doméstico e  
29 do efluente industrial.

30

31 As possíveis fontes de emissões de GEE da categoria de efluentes, identificadas pelo IPCC  
32 (2006), são apresentadas nos quadros em azul do fluxograma da Figura 4.



Fonte: IPCC, 2006<sup>27</sup> – Tradução livre

**Figura 4 – Fluxograma de identificação de fontes de emissão de GEE**

De acordo com o apresentado anteriormente, os efluentes do Município são tratados nas estações pelo método de lodo ativado, um tratamento do tipo aeróbio. No entanto, dentro do processo de tratamento são realizadas algumas etapas como decantação e flotação, onde partículas mais pesadas, óleos e outras substâncias são segregados e enviados para o tratamento em reatores por meio de digestão anaeróbia. Ou seja, parte do processo de tratamento do efluente (etapa anaeróbia) apresenta potencial de geração de CH<sub>4</sub>.

Desta forma, seguindo o fluxograma apresentado na Figura 4, as fontes de emissões levantadas para este inventário foram os efluentes líquidos coletados e não tratados; os coletados e tratados aerobiamente; os não coletados e não tratados; e os não coletados e tratados no local. Todos gerados no município de São Paulo.

<sup>27</sup> Fonte: IPCC (2006), V. 5, Ch.6, p.6.7, Figura 6.1

### 3.2.1. Emissões de Metano

De acordo com o IPCC (2006), os esgotos tratados aerobiamente provavelmente não produzem ou produzem pouco CH<sub>4</sub>, sendo que as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dos efluentes são de origem biogênica. Desta forma, não foram consideradas as emissões dos processos aeróbios, apenas foram contabilizadas as emissões da fase anaeróbia do tratamento.

Seguindo as diretrizes do IPCC (2006) e de acordo com o apresentado no fluxograma da Figura 4, foram consideradas neste inventário as emissões de CH<sub>4</sub> provenientes dos efluentes coletados, tratados anaerobiamente e não tratados; e dos efluentes não coletados gerados no Município de São Paulo.

O IPCC (2006) apresenta três *Tiers* para a contabilização das emissões de CH<sub>4</sub>. O *Tier 1* e o *Tier 2* baseiam-se no mesmo método, diferenciando-se apenas na utilização de fatores de emissão específicos nacionais no *Tier 2* e fatores de emissão padrão no *Tier 1*. O *Tier 3* refere-se a metodologia própria do país, com fatores de emissão e dados específicos para cada planta de tratamento.

As emissões de CH<sub>4</sub> proveniente dos esgotos domésticos foram quantificadas pelo *Tier 1*, conforme apresentado na Equação 12.

$$E_{CH_4} = \sum_{i,j} U_i \cdot T_{i,j} \cdot FE_j \cdot (TOW_j - S_j) - R_j \quad \text{Equação 12 – Emissão de CH}_4^{28}$$

onde

E <sub>CH<sub>4</sub></sub>	Emissão de CH <sub>4</sub>	[tCH <sub>4</sub> /ano]
U	Fração da população	[%]
T	Fração do efluente tratado ou despejado	[%]
FE	Fator de emissão de CH <sub>4</sub>	[tCH <sub>4</sub> /tDBO]
TOW	Matéria orgânica degradável	[tDBO/ano]
S	Lodo removido	[tDBO/ano]
R	Metano destruído	[tCH <sub>4</sub> /ano]

<sup>28</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.11, Equação 6.1 com adaptação das unidades de medida das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (kg para t)

i Grupo social  
j Tipo de tratamento ou despejo

O metano destruído ( $R$ ), de acordo com as orientações do IPCC (2006), deve ser subtraído do total de emissões desta categoria quando queimado em *flare* ou utilizado com finalidade energética.

De acordo com o IPCC (2006), as emissões provenientes da combustão do  $CH_4$  em *flare* não são consideradas significantes, uma vez que o  $CO_2$  gerado tem origem biogênica e que as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  são muito pequenas. Entretanto, neste inventário foram consideradas as emissões fugitivas de  $CH_4$  do sistema de queima em *flare*, que ocorrem devido à destruição parcial do metano de acordo com a eficiência dos queimadores.

No que se refere ao  $CH_4$  destruído com finalidade energética, as emissões devem ser contabilizadas no setor de energia (IPCC, 2006).

O fator de emissão utilizado para estimar a quantidade de  $CH_4$  emitida é dado pela Equação 13, apresentada a seguir.

$$FE = B_0 \cdot MCF \quad \text{Equação 13 – Fator de emissão de } CH_4^{29}$$

onde

FE	Fator de emissão de $CH_4$	[t $CH_4$ /tDBO]
$B_0$	Capacidade máxima de produção de $CH_4$	[t $CH_4$ /tDBO]
MCF	Fator de correção de produção de metano	[%]

Para estimar a quantidade de matéria orgânica degradável total presente nos esgotos foi utilizada a Equação 14 apresentada a seguir.

<sup>29</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.12, Equação 6.2 com adaptação das unidades de medida das variáveis para adequação das grandezas deste inventário (kg para t)

$$TOW_j = P_j \cdot DBO$$

Equação 14 – Matéria orgânica degradável<sup>30</sup>

1

2 onde

3

TOW	Matéria orgânica degradável	[tDBO/ano]
P	População	[habitante]
DBO	DBO per capita anual	[tDBO/habitante.ano]
j	Tipo de tratamento ou despejo	

4

5 Deve-se ressaltar que o termo DBO utilizado neste inventário refere-se ao teste de quantificação  
6 da DBO de 5 dias, ou DBO<sub>5</sub>.

7

### 8 3.2.2. Emissões de Óxido Nitroso

9

10 De acordo com o IPCC (2006), as emissões de N<sub>2</sub>O por efluentes estão associadas com a  
11 degradação de componentes nitrogenados presentes nos esgotos, podendo ocorrer como emissões  
12 diretas através das plantas de tratamento ou de forma indireta pelo despejo dos efluentes em  
13 corpos hídricos.

14

15 As emissões diretas de N<sub>2</sub>O geradas pelos processos de nitrificação e denitrificação nas plantas  
16 de tratamento são consideradas mínimas, devendo ser significativas apenas em países que  
17 predominem ETE com remoções de nutrientes. Normalmente estas emissões são  
18 significativamente menores que as emissões indiretas provenientes dos efluentes despejados nos  
19 corpos hídricos (IPCC, 2006). Desta forma, foram contabilizadas neste inventário as emissões de  
20 N<sub>2</sub>O dos efluentes lançados, sem tratamento ou após tratamento, em corpos hídricos.

21

22 As emissões de N<sub>2</sub>O provenientes dos esgotos domésticos foram estimadas a partir da Equação  
23 15.

24

<sup>30</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.13, Equação 6.3 com adaptação das unidades de medida das variáveis e em relação ao fator de correção da DBO industrial despejado no esgoto, pois este está contabilizado nos dados apresentados pela SABESP.

$$E_{N_2O} = N_{ef} \cdot FE \cdot \frac{44}{28}$$

Equação 15 – Emissão de N<sub>2</sub>O<sup>31</sup>

1 onde

2

E <sub>N<sub>2</sub>O</sub>	Emissão de N <sub>2</sub> O	[kg N <sub>2</sub> O/ano]
N <sub>ef</sub>	Nitrogênio no efluente despejado em ambiente aquático	[kg N/ano]
FE	Fator de emissão	[kg N <sub>2</sub> O-N/kg N]
44/28	Fator de conversão de kg de N <sub>2</sub> O-N para kg de N <sub>2</sub> O	[kg N <sub>2</sub> O/kg N <sub>2</sub> O-N]

3

### 4 **3.3. DADOS**

5

6 Os dados utilizados para quantificar as emissões de GEE dos efluentes líquidos gerados no  
 7 Município de São Paulo são apresentados a seguir segregados em emissões de metano e  
 8 emissões de óxido nitroso.

9

#### 10 **3.3.1. Emissões de Metano**

11

12 Os dados apresentados a seguir foram utilizados para determinar as emissões de metano (CH<sub>4</sub>)  
 13 dos efluentes líquidos gerados no Município de São Paulo conforme metodologia apresentada no  
 14 capítulo 3.2.1.

15

#### 16 ***Perfil sanitário da população (UxT)***

17

18 As frações da população atendida por rede coletora de esgoto no Município de São Paulo,  
 19 diferenciando a parcela tratada nas ETE e a parcela não tratada, foram obtidas a partir dos dados  
 20 de população total do Município, população atendida pela rede coletora, volume de esgoto  
 21 coletado e volume tratado. Esses dados são apresentados na Tabela 21.

22

<sup>31</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.25, Equação 6.7

1

**Tabela 21 – População e volume coletado e tratado do Município de São Paulo**

Ano	População total do Município (habitantes)	População atendida (habitantes)	Volume coletado (1.000m <sup>3</sup> /ano)	Volume tratado (1.000m <sup>3</sup> /ano)
2003	10.677.019	9.248.705	454.919	299.701
2004	10.838.581	9.318.825	439.973	301.194
2005	10.927.985	9.440.595	465.975	291.008
2006	11.016.703	9.552.519	486.912	314.798
2007	10.886.518	9.710.006	500.442	348.452
2008	10.990.249	9.819.721	510.119	409.244
2009	11.037.593	10.008.089	520.204	422.094

2 Fonte: SNIS, 2012

3

4 Para determinar as frações dos demais tipos de esgotamento sanitário no Município de São Paulo  
5 foram utilizados dados do IBGE, que apresenta em sua base de dados estatísticos o número de  
6 domicílios conforme o tipo de esgotamento sanitário. Porém, estas informações não estão  
7 disponíveis para o município de São Paulo – MSP para o período inventariado e, portanto, as  
8 frações foram estimadas com base nas informações disponíveis para a Região Metropolitana de  
9 São Paulo – RMSP. Seguindo-se as classificações do IPCC (2006) para cálculo de emissões  
10 conforme o tipo de tratamento, os dados disponíveis foram agrupados em quatro tipos de  
11 esgotamento sanitário: rede coletora, fossa séptica, latrina e lançamento em rio.

12

13 A Tabela 22 apresenta a quantidade de domicílios e as formas de esgotamento sanitário  
14 agrupadas para a RMSP, no período de 2003 a 2009. Estes dados foram utilizados para se  
15 identificar o perfil do esgotamento sanitário na RMSP. Ressalta-se que os esgotos gerados nos  
16 domicílios atendidos pela rede coletora não são tratados em sua totalidade.

17

18

**Tabela 22 – Domicílios por tipo de esgotamento sanitário na RMSP**

Ano	Rede Coletora	Fossa Séptica	Latrina	Sem tratamento	TOTAL
(mil domicílios)					
2003	4.514	444	448	15	5.421
2004	4.756	262	499	10	5.527
2005	4.896	331	448	11	5.686
2006	4.717	559	544	2	5.822
2007	4.913	602	391	8	5.914
2008	5.334	451	405	8	6.198
2009	5.230	468	397	16	6.111

19 Fonte: IBGE, 2012 – Séries Estatísticas

Assumindo-se que todos os domicílios tenham em média a mesma ocupação, obtêm-se o perfil de esgotamento sanitário da RMSP. Podendo-se então, comparar as taxas de atendimento da rede coletora da RMSP com a do Município de São Paulo (MSP), apresentadas na Tabela 23.

**Tabela 23 – Taxa de atendimento da rede coletora na RMSP e no MSP**

Ano	Taxa de atendimento da rede coletora	
	RMSP (%)	MSP (%)
2003	83,3	86,6
2004	86,1	86,0
2005	86,1	89,2
2006	81,0	86,7
2007	83,1	89,2
2008	86,1	89,3
2009	85,6	90,7

Fonte: Adaptado de IBGE, 2012 e SNIS, 2012

Considerando-se a porcentagem de atendimento da população por rede coletora no município como referência para o perfil municipal, foram estimados os demais tipos de esgotamento sanitário a partir dos dados do perfil sanitário da RMSP (Tabela 22). A diferença entre as porcentagens da rede coletora do município e da RMSP foram reduzidas proporcionalmente nos demais tipos de tratamento. Ou seja, quanto maior a abrangência de rede coletora no município, menor a participação dos demais tipos de esgotamento.

Desta forma obteve-se o perfil de esgotamento sanitário do município de São Paulo, que representa o produto das componentes “U” e “T”, utilizadas para calcular as emissões conforme apresentado na Equação 12. O perfil do Município é apresentado na Tabela 24.



DBO <sub>B</sub>	DBO do esgoto bruto	[mgDBO/L]
V	Volume de esgoto tratado	[L/ano]
Pop <sub>T</sub>	População atendida pelo tratamento de esgoto	[habitante]

Os dados utilizados para calcular a DBO *per capita* são apresentados na Tabela 25. Estes dados referem-se aos valores totais do esgoto doméstico, comercial e industrial do Município de São Paulo que foram tratados nas ETE.

**Tabela 25 – Esgoto tratado**

Ano	População com esgoto tratado (habitantes)	Volume de efluente tratado (1.000m <sup>3</sup> )	DBO esgoto bruto (mgDBO/L)	DBO pós-tratamento (mgDBO/L)
2003	6.093.053	299.701	243	29
2004	6.379.411	301.194	254	41
2005	5.895.786	291.009	298	53
2006	6.175.887	314.798	292	51
2007	6.760.976	348.452	294	54
2008	7.877.893	409.244	322	54
2009	8.120.564	422.094	308	54

Fonte: SABESP, 2012a

A partir desses dados foram obtidos os valores de DBO *per capita*, apresentados na Tabela 26.

**Tabela 26 – DBO *per capita***

Ano	DBO <i>per capita</i> (kgDBO/hab.ano)
2003	11,95
2004	11,99
2005	14,71
2006	14,88
2007	15,15
2008	16,73
2009	16,01

Optou-se por utilizar a DBO *per capita* estimada a partir de dados fornecidos pela SABESP ao invés do valor apresentado na NBR 12209 (ABNT, 1992), pois os dados de DBO da SABESP incluem os esgotos domésticos, comerciais e industriais lançados na rede, ainda que sejam inferiores aos da ABNT.

Utilizando-se os dados de DBO per capita e de população por tipo de tratamento, conforme Equação 14, obteve-se a matéria orgânica degradável (*TOW*), apresentada na Tabela 27.

**Tabela 27 – matéria orgânica degradável por tipo de esgotamento sanitário**

Ano	Efluentes Coletados		Efluentes Não Coletados		
	ETEs	Rios, lagos	Fossas sépticas	Latrinas	Rios, lagos
(tDBO/ano)					
2003	72.827	37.718	8.357	8.432	282
2004	76.503	35.250	6.193	11.796	236
2005	86.721	52.140	9.167	12.407	305
2006	91.921	50.257	11.025	10.729	39
2007	102.445	44.685	10.721	6.963	142
2008	131.777	32.482	10.221	9.178	181
2009	130.005	30.218	8.755	7.427	299

### **Fator de Emissão (FE)**

Para se obter o Fator de Emissão - *FE*, conforme apresentado na Equação 13, foram utilizados os valores padrão do IPCC (2006) para  $B_0$  (capacidade máxima de produção de metano) e *MCF* (fator de correção de produção de metano). O valor padrão utilizado para  $B_0$ <sup>32</sup> foi de 0,6 kgCH<sub>4</sub>/kgDBO<sub>5</sub>. Já os valores padrão para o *MCF* variam de acordo com o tipo de tratamento dado aos efluentes, conforme apresentados na Tabela 28.

**Tabela 28 – Valores padrão para MCF (Fator de correção de emissão de metano)**

Tipos de tratamento ou despejos	MCF	Variação
Tratamento aeróbio	0	0-0,1
Despejo em corpos hídricos	0,1	0-0,2
Fossas sépticas	0,5	0,5
Latrinas (familiar)	0,7	0,05-0,15

Fonte: IPCC, 2006<sup>33</sup>

<sup>32</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.12, Tabela 6.2

<sup>33</sup> IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.13, Tabela 6.3

1 Para calcular o metano emitido devido à degradação da matéria orgânica remanescente após o  
 2 tratamento do esgoto, foi utilizado o fator de emissão referente ao despejo em corpos hídricos,  
 3 conforme apresentado na Tabela 28.

4

### 5 **Metano Recuperado (R)**

6

7 Neste inventário, para os sistemas de tratamento como o de fossas e latrinas adotou-se que o  
 8 metano recuperado é nulo, pois se considera que não há a destruição de metano nestes sistemas.  
 9 Nas ETE da SABESP, o metano gerado na via anaeróbia do tratamento dos efluentes é queimado  
 10 em *flares*, sendo adotada uma eficiência na faixa de 60% a 90%, conforme o ano, na destruição  
 11 do metano gerado, verificado a partir dos dados apresentados pela SABESP (2012a).

12

### 13 **Lodo Removido (S)**

14

15 O lodo removido em tratamentos de efluentes por fossas sépticas e latrinas foi considerado nulo.  
 16 Já nas ETE da SABESP ocorre a prática de remoção de lodo, o qual passa por tratamento  
 17 anaeróbio e corresponde à parcela do tratamento que emite metano (CH<sub>4</sub>), conforme discutido  
 18 anteriormente.

19

20 Os dados do lodo removido nas ETE da SABESP anualmente, referente à parcela dos efluentes  
 21 do Município de São Paulo, são apresentados na Tabela 29.

22

23

**Tabela 29 – Lodo removido nas ETE**

Ano	Lodo Removido	DQO removida
	(t/ano)	(kgDQO/kg de lodo)
2003	119.308	0,73
2004	106.521	1,11
2005	107.915	0,94
2006	121.359	0,82
2007	94.070	1,10
2008	86.999	1,26
2009	96.754	1,09

24 Fonte: SABESP, 2012a

25

### 3.3.2. Emissões de Óxido Nítrico

Conforme discutido anteriormente, as emissões de N<sub>2</sub>O dos sistemas de tratamento não foram contabilizadas, uma vez que, de acordo com IPCC (2006) essas emissões são pouco significativas em plantas de tratamento. Sendo então contabilizadas neste inventário as emissões dos efluentes lançados em corpos hídricos após tratamento em ETE e os lançados sem tratamento.

#### *Nitrogênio no efluente despejado em ambiente aquático (N<sub>ef</sub>)*

##### **Efluentes despejados em corpos hídricos sem tratamento**

Para os efluentes despejados em corpos hídricos sem tratamento, as quantidades de nitrogênio no efluente (N<sub>ef</sub>) foram determinadas a partir dos dados de concentração de nitrogênio no esgoto bruto, conforme apresentado na Equação 17.

$$N_{ef} = \frac{ConcN \cdot V}{Pop_T} * Pop_D \quad \text{Equação 17 – Nitrogênio no efluente}$$

onde

N <sub>ef</sub>	Nitrogênio no efluente despejado em ambiente aquático	[kgN/ano]
ConcN	Concentração de nitrogênio no esgoto bruto	[kgN/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
V	Volume de esgoto	[10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /ano]
Pop <sub>T</sub>	População com esgoto tratado em ETE	[habitante]
Pop <sub>D</sub>	População com esgoto despejado nos corpos hídricos sem tratamento	[habitante]

Os dados utilizados neste cálculo são apresentados na Tabela 30.

1 **Tabela 30 – Nitrogênio nos efluentes não tratados em ETE**

Ano	<i>ConcN*</i> (kgN/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	<i>V*</i> (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /ano)	<i>Pop<sub>T</sub></i> (habitantes)	<i>Pop<sub>D</sub></i> (habitantes)	<i>N<sub>ef</sub></i> (kgN/ano)
2003	41	299.701	6.093.053	3.179.274	6.411.579
2004	46	301.194	6.379.411	2.959.125	6.426.683
2005	47	291.009	5.895.786	3.565.520	8.271.523
2006	54	314.798	6.175.888	3.379.282	9.301.451
2007	47	348.452	6.760.976	2.958.433	7.166.270
2008	37	409.244	7.877.893	1.952.666	3.753.202
2009	33	422.094	8.120.564	1.906.222	3.269.718

2 Fonte:\* Sabesp, 2012a

3  
4 **Efluentes tratados em ETE**

5  
6 Para os efluentes lançados em corpos hídricos após tratamento em ETE, conforme discutido  
7 anteriormente, foram contabilizadas as emissões de N<sub>2</sub>O apenas da concentração de nitrogênio  
8 remanescente após o tratamento.

9  
10 Os dados da concentração de nitrogênio nos efluentes após tratamento são apresentados na  
11 Tabela 31.

12  
13 **Tabela 31 – Nitrogênio no efluente (*N<sub>ef</sub>*) após tratamento**

Ano	Concentração de nitrogênio remanescente após tratamento (kgN/ano)
2003	3.896.113
2004	6.023.880
2005	5.529.171
2006	5.981.162
2007	11.847.368
2008	11.868.076
2009	10.552.350

14 Fonte: SABESP, 2012a

1 ***Fator de emissão (FE)***

2

3 O fator de emissão utilizado foi o padrão do IPCC (2006)<sup>34</sup> para efluentes lançados em corpos  
4 hídricos de 0,005 kgN<sub>2</sub>O-N/kgN.

5

6 **3.4. RESULTADOS**

7

8 Conforme apresentado anteriormente, algumas ETEs localizam-se fora do limite do Município  
9 de São Paulo, porém as emissões de GEE provenientes dos efluentes do Município de São Paulo  
10 foram contabilizadas neste inventário independentemente das emissões terem ocorrido ou não no  
11 Município.

12

13 Neste inventário, foram contabilizadas as emissões de GEE provenientes do esgoto gerado no  
14 Município de São Paulo: coletado e tratado em estações de tratamento; coletado e não tratado; e  
15 dos esgotos não coletados.

16

17 A seguir são apresentados os resultados das estimativas de emissões de GEE para a categoria de  
18 efluentes, obtidos através da metodologia do IPCC (2006), desagregados por GEE.

19

20 A Tabela 32 apresenta as emissões de CH<sub>4</sub> dos efluentes líquidos do município de São Paulo  
21 lançados na rede coletora, por tipo de tratamento para o período de 2003 a 2009.

22

<sup>34</sup> Fonte: IPCC (2006), V.5, Ch.6, p.6.27, Tabela 6.11 - EF<sub>EFFLUENT</sub>

1 **Tabela 32 – Emissões de CH<sub>4</sub> dos efluentes líquidos coletados no Município de São Paulo**

Ano	Tratado		Não tratado
	ETEs*	Pós ETEs	Rios, lagos
	(tCH <sub>4</sub> )		
2003	3.599	521	2.263
2004	4.932	741	2.115
2005	2.962	925	3.128
2006	1.814	963	3.015
2007	2.561	1.129	2.681
2008	1.841	1.326	1.949
2009	1.685	1.368	1.813

2 Nota: \* emissões apresentadas por SABESP (2012a), calculadas mantendo a proporcionalidade dos volumes  
 3 referentes ao município de São Paulo em relação aos volumes totais tratados nas ETE.  
 4

5 Na Tabela 33 são apresentadas as emissões de CH<sub>4</sub> provenientes dos efluentes líquidos do  
 6 Município de São Paulo que não são lançados na rede coletora, por tipo de tratamento no período  
 7 de 2003 a 2009.  
 8

9 **Tabela 33 - Emissões de CH<sub>4</sub> dos efluentes líquidos não coletados no Município de São Paulo**

Ano	Tratado		Não tratado
	Fossas sépticas	Latrinas	Rios, lagos
	(tCH <sub>4</sub> )		
2003	2.507	3.542	17
2004	1.858	4.954	14
2005	2.750	5.211	18
2006	3.307	4.506	2
2007	3.216	2.925	9
2008	3.066	3.855	11
2009	2.627	3.119	18

10  
 11 A Tabela 34 apresenta as emissões de N<sub>2</sub>O dos efluentes líquidos do Município de São Paulo,  
 12 estimadas para o período de 2003 a 2009.  
 13

Tabela 34 – Emissões de N<sub>2</sub>O dos efluentes domésticos do Município de São Paulo

Ano	Tratado		Não tratado	Total geral
	Pós-ETEs	Rios, lagos (tN <sub>2</sub> O)		
2003	31	50		81
2004	47	50		98
2005	43	65		108
2006	47	73		120
2007	93	56		149
2008	93	29		123
2009	83	26		109

Os resultados das emissões totais dos GEE provenientes dos efluentes líquidos gerados no Município, em CO<sub>2</sub>e, desagregadas por tipo de esgotamento sanitário são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 – Emissões de GEE de efluentes líquidos do Município de São Paulo

Ano	Tratado			Não tratado		Total geral
	ETEs	Fossas sépticas	Latrinas	Pós ETEs	Rios, lagos	
	(tCO <sub>2</sub> e)					
2003	75.574	52.650	74.374	20.441	63.497	286.536
2004	103.573	39.018	104.037	30.232	60.367	337.226
2005	62.201	57.749	109.427	32.901	86.228	348.506
2006	38.092	69.455	94.627	34.797	86.030	323.001
2007	53.772	67.543	61.417	52.565	73.937	309.235
2008	38.658	64.389	80.951	56.752	50.297	291.047
2009	35.378	55.158	65.507	54.422	46.416	256.880

A Figura 5 apresenta a evolução histórica das emissões de GEE da categoria de efluentes líquidos no período de 2003 a 2009 em relação à contribuição de DBO per capita do Município de São Paulo.

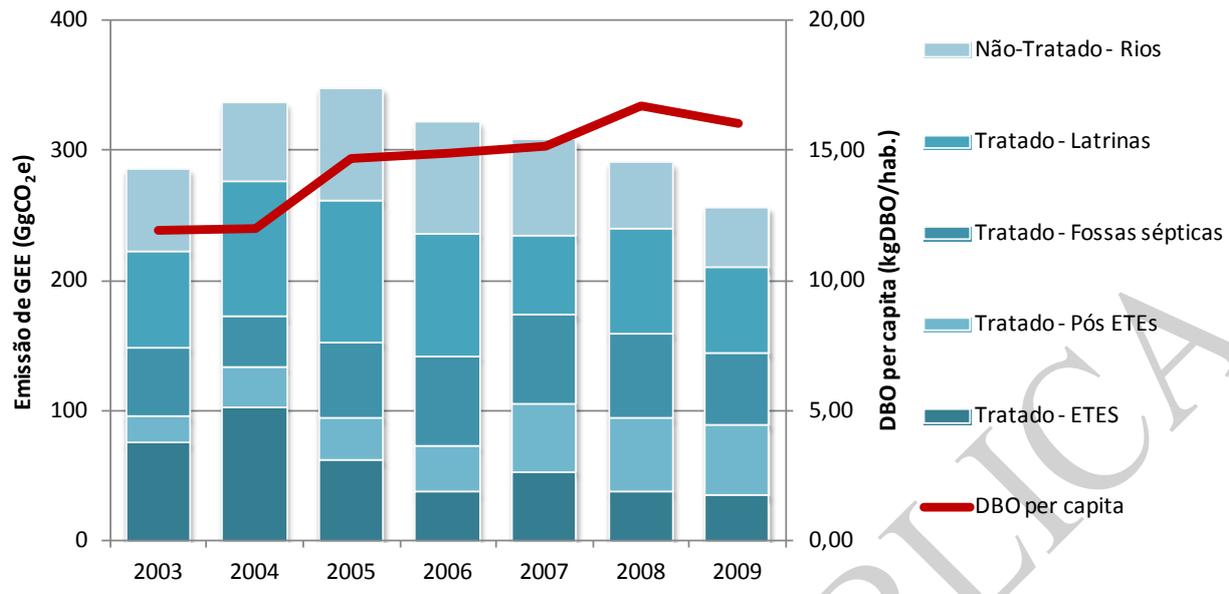


Figura 5 – Emissões de GEE dos efluentes líquidos do Município de São Paulo

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11

Conforme observado no gráfico da Figura 5, as emissões de GEE dos efluentes líquidos do Município de São Paulo apresentaram um pico no ano de 2005, devido principalmente a uma maior parcela de emissões dos efluentes não tratados lançados *in natura* nos corpos hídricos. Após o ano de 2005, observa-se uma diminuição das emissões totais de GEE dos efluentes apresentando um comportamento contrário ao da curva de DBO *per capita*, que aumentou ao longo do período inventariado. Para melhor compreender o comportamento das emissões, o perfil de esgotamento sanitário do Município e a emissão relativa são apresentados na Figura 6.

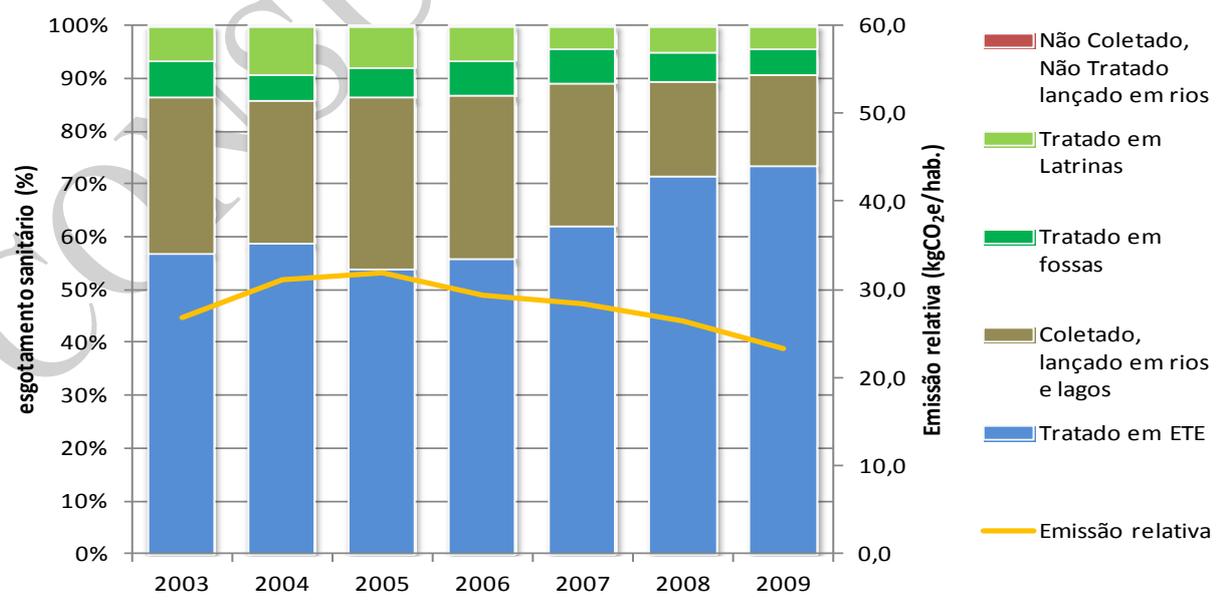


Figura 6 – Emissões x Perfil de esgotamento sanitário

12  
13

1 Observando-se os gráficos da Figura 5 e Figura 6 conclui-se que a queda nas emissões de GEE  
2 dos efluentes líquidos do Município está relacionada principalmente com o aumento da parcela  
3 de esgoto tratado em ETE concomitantemente com a diminuição dos efluentes lançados sem  
4 tratamento nos corpos hídricos.

5  
6 Conforme explicado anteriormente, as emissões de GEE dos efluentes do município de São  
7 Paulo estão ligadas à geração de cargas orgânicas pelo município e consequente impacto em  
8 emissões de metano e óxido nitroso, que ocorrem dentro e fora do limite geopolítico do  
9 município de São Paulo. Este fato se deve a dois fatores: a localização das ETEs e o lançamento  
10 de efluentes em corpos hídricos. No primeiro caso, uma parte dos efluentes do Município de São  
11 Paulo é tratada em ETEs localizadas em outro Município, como é o caso da ETE de Barueri. No  
12 segundo caso, os efluentes lançados em corpos hídricos podem ser carregados para outros  
13 municípios antes da completa autodepuração da carga orgânica lançada. Como estas emissões de  
14 GEE são provenientes das cargas geradas pelo Município, as mesmas foram contabilizadas no  
15 inventário do Município de São Paulo.

16

17

1 **4. RESULTADOS CONSOLIDADOS**

2

3 As emissões de GEE do setor de Resíduos do Município de São Paulo são apresentadas por fonte  
4 de emissão na Tabela 36.

5

6

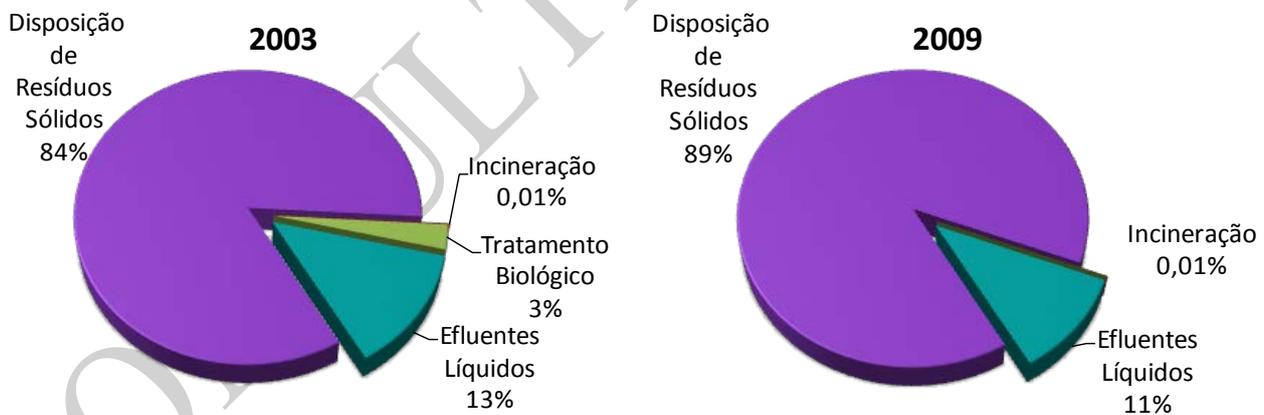
**Tabela 36 – Emissões de GEE totais do setor Resíduos**

Ano	Disposição dos resíduos sólidos	Incineração	Tratamento Biológico (tCO <sub>2</sub> e)	Efluentes	Total
2003	1.853.066	274	59.192	286.536	2.199.069
2004	1.887.891	278	34.179	337.226	2.259.574
2005	1.986.754	228	-	348.506	2.335.487
2006	2.150.151	656	-	323.001	2.473.808
2007	2.347.858	462	-	309.235	2.657.555
2008	2.015.215	404	-	291.047	2.306.666
2009	2.106.162	295	-	256.880	2.363.337

7

8 Na Figura 7 são apresentados os perfis das emissões de GEE do setor resíduos para os anos de  
9 2003 e de 2009.

10



11

**Figura 7 – Perfil das emissões do setor resíduos por subsetores em 2003 e 2009**

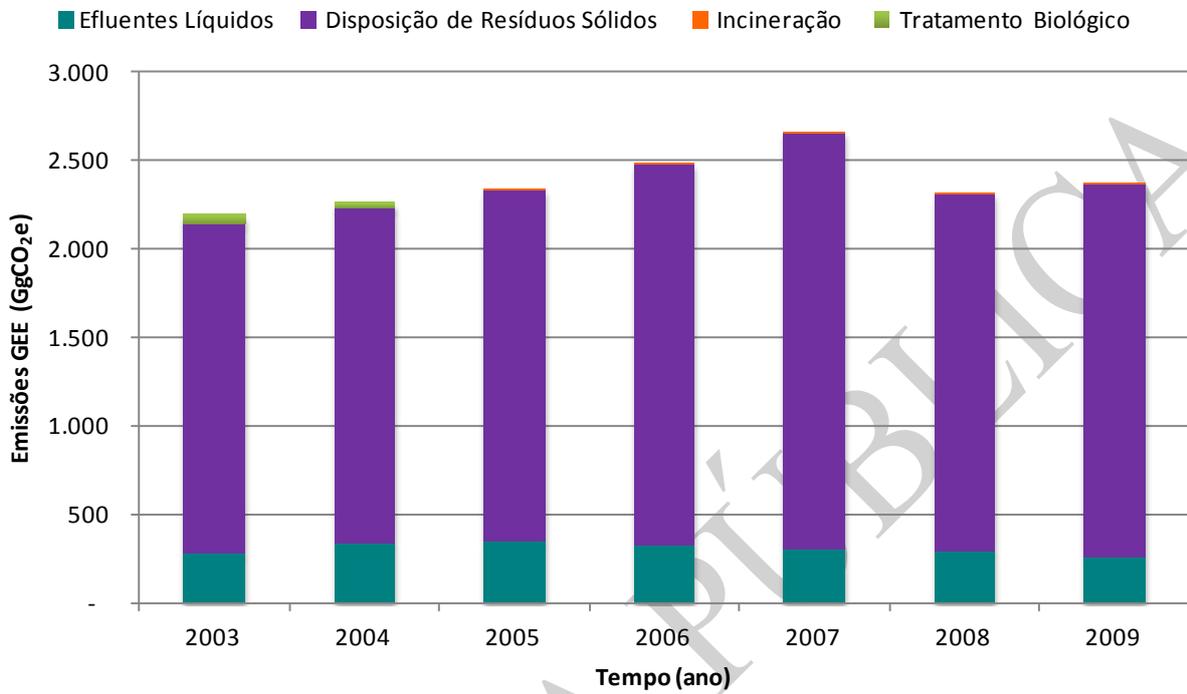
12

13 De acordo com a Figura 7, verifica-se que as emissões da disposição dos resíduos sólidos em  
14 aterros são as mais representativas do setor, correspondendo a 84% do total das emissões do  
15 setor de Resíduos em 2003 e 89% em 2009. Ressalta-se que as emissões provenientes da  
16 compostagem dos resíduos sólidos foram quantificadas apenas para os anos de 2003 e 2004, anos  
17 em que as usinas de compostagem estavam em operação.

18

1 Na Figura 8 são apresentadas as emissões totais do Município de São Paulo do setor Resíduos no  
 2 período de 2003 a 2009.

3



4

5

**Figura 8 – Emissões do setor Resíduos**

6

7 A queda nas emissões de GEE no ano de 2008, que pode ser observada na Figura 8, deve-se  
 8 principalmente aos créditos de carbono não comercializados dos projetos MDL de recuperação  
 9 de biogás nos aterros Bandeirantes e São João.

10

## 1 5. INCERTEZAS

2

3

4 As incertezas do setor Resíduos foram estimadas através do método de propagação de erros  
5 apresentado pelo IPCC (2006), baseado na soma dos quadrados dos desvios, conforme  
6 apresentado na Equação 18.

7

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

Equação 18 – Cálculo da Incerteza das estimativas de emissão de GEE<sup>35</sup>

8

9 onde

10

$U$  Incerteza das estimativas de emissão de GEE [%]

$U_n$  Incerteza da variável  $n$  utilizada para estimar a emissão de GEE [%]

11

12 As incertezas das emissões de GEE deste setor são discutidas a seguir para cada categoria de  
13 resíduos.

14

15

### 16 5.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

#### 17 5.1.1. Disposição de Resíduos Sólidos

18

19 Para a disposição de resíduos sólidos em aterros, o IPCC (2006) considera incertezas tanto dos  
20 dados da atividade quanto dos fatores de emissão padrão. Essas incertezas são apresentadas a  
21 seguir, na Tabela 37.

22

<sup>35</sup> IPCC (2006), V.1, Ch.3, Equation 3.1, p. 3.28

Tabela 37 – Incertezas dos dados da disposição de resíduos em aterros

Dado	Incerteza
Geração de resíduos sólidos municipais	30%
Resíduos enviados para aterros	30%
Composição dos resíduos	10%
Carbono orgânico degradável	10%
Fração de DOC decomponível	20%
MCF	5%
Fração de CH <sub>4</sub> no biogás	5%
Metano recuperado	10%
k - taxa de geração de metano	15%

Fonte: IPCC (2006)

Utilizando as incertezas apresentadas na Tabela 37, obtidas a partir de valores apresentados pelo IPCC (2006), a margem de incerteza calculada para as emissões de metano dos resíduos sólidos dispostos em aterros foi de 53%.

### 5.1.2. Tratamento Biológico

Para a compostagem, o IPCC (2006) apresenta as incertezas dos dados utilizados para estimar as emissões de GEE, essas informações são apresentadas na Tabela 38.

Tabela 38 – Incerteza dos dados da compostagem dos resíduos

Dado	Incerteza
Resíduos enviados para compostagem	30%
Fator de Emissão de CH <sub>4</sub>	100%
Fator de Emissão de N <sub>2</sub> O	90%

Fonte: IPCC (2006)

De acordo com as incertezas apresentadas na Tabela 38, a margem de incerteza calculada para as emissões de metano dos resíduos enviados para compostagem é de 104% e para as emissões de óxido nitroso a incerteza é de 95%.

### 5.1.3. Incineração

Para a incineração dos resíduos não são discutidas as incertezas no guia do IPCC (2006), mas sabe-se que os dados e fatores de emissão podem apresentar uma margem de incerteza.

## 5.2. EFLUENTES LÍQUIDOS

O IPCC (2006) considera as incertezas tanto dos dados da atividade quanto dos fatores de emissão padrão, que são apresentadas na Tabela 39. Para margens de incerteza maiores que o próprio número, a incerteza foi considerada como 100%.

**Tabela 39 – Incertezas relacionadas às emissões dos esgotos domésticos**

Dado	Incerteza
Capacidade máxima de produção de CH <sub>4</sub> (B <sub>0</sub> )	±30%
Fator de Correção de Metano (MCF)	±50%
População	±5%
DBO per capita	±10%
Perfil Sanitário	±3%
Consumo anual de proteína	±10%
Fração de Nitrogênio na proteína	±6%
Fator de emissão de N <sub>2</sub> O dos efluentes	>100%

Fonte: IPCC, 2006

O método de propagação de erros indicado pelo IPCC (2006) - (Volume 1, Capítulo 3) é baseado na raiz da soma dos quadrados dos desvios, apresentado na Equação 18. Considerando os dados apresentados na Tabela 39, a margem de incerteza das emissões de CH<sub>4</sub> dos esgotos domésticos é de 59% e para as emissões de N<sub>2</sub>O, é de 100%.

O IPCC recomenda que este método de propagação de erros seja utilizado apenas como indicativo quando envolvem incertezas maiores que 30%. Com valores acima, o método subestima a incerteza, devendo o resultado ser utilizado como indicativo na análise.

1 Para melhoria dos próximos inventários, sugere-se a obtenção de informações dos efluentes  
2 industriais tratados *in situ*, principalmente em relação à carga orgânica, pois apresentam  
3 concentrações de DBO significativamente maiores que as dos esgotos domésticos.

4  
5 Além disso, a própria análise das emissões de GEE dos rios e corpos d'água do município de São  
6 Paulo, previsto em etapas posteriores deste trabalho, poderá contribuir para a avaliação de  
7 incertezas para a categoria de efluentes líquidos.

8  
9 Algumas outras fontes de incerteza foram verificadas de forma qualitativa, conforme  
10 apresentado abaixo:

- 11
- 12 • Incerteza referente à correta distinção da população entrevistada entre latrina e fossa  
13 séptica, uma vez que estes tratamentos apresentam fatores distintos;
  - 14 • Redução do valor de PAG do metano de 21 para 20 quando o CH<sub>4</sub> for de origem  
15 biogênica (efluente), já que o CO<sub>2</sub> é contabilizado como nulo por ser biogênico neste  
16 setor;
  - 17 • O fator de correção de emissão de metano (*MCF*) para os rios do município de São Paulo  
18 podem variar conforme as características locais. O Rio Pinheiros apresenta,  
19 aparentemente, pouca aeração e há certa retenção das águas devido às operações de  
20 barramentos, favorecendo processos anaeróbios, que contribuem com maior emissão de  
21 metano.
- 22

## 6. COMPARATIVO 1º INVENTÁRIO DE GEE DO MUNICÍPIO

No setor de Resíduos, as emissões de GEE estimadas no 1º Inventário de GEE do Município de São Paulo foram baseadas na metodologia do “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, tanto para a categoria de resíduos sólidos como para a categoria de efluentes líquidos. No inventário atual, as emissões para cada categoria de resíduos foram estimadas com base na metodologia do “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”.

A comparação entre os inventários foi realizada separadamente de acordo com a categoria do resíduo e apresentada em: resíduo sólido e efluente líquido.

### 6.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

As emissões de GEE apresentadas no 1º inventário de GEE do Município de São Paulo para disposição dos resíduos sólidos foram estimadas baseadas na metodologia do “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, que apresenta a metodologia do balanço de massa. Essa metodologia considera que todo potencial de emissão de metano dos resíduos depositados no ano do inventário é emitido no mesmo ano, o que não ocorre de fato.

No inventário atual as emissões de GEE provenientes da disposição de resíduos sólidos em aterros foram estimadas seguindo-se o método de decaimento de primeira ordem do IPCC (2006), o qual considera que o metano é emitido ao longo do tempo. Neste inventário também foram estimadas as emissões de GEE provenientes da compostagem e da incineração dos resíduos sólidos, que não foram contabilizadas no 1º inventário de GEE do Município de São Paulo por falta de diretrizes e metodologias para sua contabilização na época de elaboração.

### 6.2. EFLUENTES LÍQUIDOS

As emissões de GEE contabilizadas no 1º Inventário do Município de São Paulo foram as provenientes do esgoto tratado em fossas sépticas, que representavam apenas 4% do esgoto

1 gerado no Município. A limitação na quantificação das emissões de GEE desta categoria está  
2 relacionada a dois fatores principais: primeiramente, foram consideradas nulas as emissões do  
3 tratamento dos esgotos nas ETE por ser um tratamento predominantemente aeróbio e pelo fato  
4 do metano gerado na fase anaeróbia ser queimada; e o segundo ponto refere-se a não  
5 contabilização das emissões dos esgotos lançados *in natura* nos corpos hídricos, que na época de  
6 sua elaboração ainda não havia diretrizes e metodologia.

7  
8 No inventário atual foram contabilizadas as emissões de GEE do esgoto tratado nas ETE,  
9 considerando-se a fase anaeróbia do tratamento e a eficiência da queima do metano gerado neste  
10 processo. Também foram contabilizadas as emissões dos efluentes tratados em fossas sépticas e  
11 latrinas e dos efluentes lançados nos corpos hídricos.

12

CONSULTA PÚBLICA

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos – Classificação**, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12209:1992 Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário**, 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13463:1995 Coleta de Resíduos Sólidos**, 1995.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009**. Disponível em [http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias\\_eventos/Panorama2009.pdf](http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/Panorama2009.pdf)> Acesso em 20/01/2012

ANA – Agência Nacional de Águas. **Águas Brasil**. Brasília, 2011. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil19\\_20\\_21\\_Especial\\_03032011.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil19_20_21_Especial_03032011.pdf)> Acesso em 16/01/2012

ANVISA. **Manual de Gerenciamento de Serviços da Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 182 p. Serie A.

AVEZUM, A. C. M. C.; SCHALCH, Valdir. **Avaliação da eficiência de uma usina de reciclagem e compostagem: estudo de caso**. In: XXV Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 1996, México, 1996. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03184p04.pdf>> Acesso em 01/03/2012

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 33, de 13 de janeiro de 1998. Publicado no Diário Oficial da União de 16 de janeiro de 1998. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/33\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/33_98.htm)> Acesso em 13/01/2012.

- 1 C40 SÃO PAULO SUMMIT. **Aterro São João e Bandeirantes**. 2011. Disponível em:  
2 <[http://www.c40saopaulosummit.com/site/conteudo/index.php?in\\_secao=36&lang=1&in\\_conteudo=1](http://www.c40saopaulosummit.com/site/conteudo/index.php?in_secao=36&lang=1&in_conteudo=1)> Acesso em 19/12/2011.  
3  
4
- 5 CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas**  
6 **Interiores do Estado de São Paulo 2003**. São Paulo, 2004. Disponível em:  
7 <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>> Acesso em  
8 05/01/2012.  
9
- 10 CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2009**. São  
11 Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios)  
12 [publicacoes/-relatorios](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios)> Acesso em 05/01/2012.  
13
- 14 CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2003**. São  
15 Paulo, 2004.  
16
- 17 CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2004**. São  
18 Paulo, 2005.  
19
- 20 CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2005**. São  
21 Paulo, 2006.  
22
- 23 CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2008**. São  
24 Paulo, 2009.  
25
- 26 CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2009**. São  
27 Paulo, 2010.  
28
- 29 FIESP. **A gestão de resíduos no ambiente hospitalar**. Disponível em:  
30 <[http://www.fiesp.com.br/agencianoticias/2010/03/31/ambiente\\_hospitalar\\_gestao\\_tecnologias.p](http://www.fiesp.com.br/agencianoticias/2010/03/31/ambiente_hospitalar_gestao_tecnologias.pdf)  
31 [df](http://www.fiesp.com.br/agencianoticias/2010/03/31/ambiente_hospitalar_gestao_tecnologias.pdf)> Acesso em 02/01/2012.  
32
- 33 FUNDAÇÕES & OBRAS GEOTÉCNICAS. **Central de Tratamento de Resíduos Caieiras –**  
34 **um modelo a ser seguido**. Disponível em:

1 <<http://www.revistafundacoes.com.br/pdf/revista00/geotecnia%20ambiental.pdf>> Acesso em  
2 19/12/2011.

3  
4 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento**  
5 **Básico 2008.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em  
6 <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)  
7 > Acesso em 20/12/2011.

8  
9 ICLEI. **International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol.** 2009.  
10 Disponível em: <<http://www.iclei.org/index.php?id=ghgprotocol>> acesso em: 08.dez.2011.

11  
12 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National**  
13 **Greenhouse Gas Inventories.** Japão, 2006. Disponível em: <[http://www.ipcc-](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html)  
14 [nggip.iges.or.jp/public/index.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html)> Acesso em 21/10/2011.

15  
16 LIMPEZA PÚBLICA. **Resíduos de serviços de saúde exigem tratamentos específicos.**  
17 Disponível em: <<http://www.ablp.org.br/conteudo/noticias.php?pag=integra&cod=213>> Acesso  
18 em 02/01/2012.

19  
20 LIMPURB. **Gestão de Resíduos de Serviço de Saúde no Município de São Paulo.** São Paulo,  
21 2011.

22  
23 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1978.** São Paulo, 1979.

24  
25 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1979.** São Paulo, 1980.

26  
27 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1980.** São Paulo, 1981.

28  
29 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1981.** São Paulo, 1982.

30  
31 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1982.** São Paulo, 1983.

32  
33 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1983.** São Paulo, 1984.

34

- 1 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1984**. São Paulo, 1985.
- 2
- 3 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1985**. São Paulo, 1986.
- 4
- 5 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1986**. São Paulo, 1987.
- 6
- 7 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1987**. São Paulo, 1988.
- 8
- 9 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1988**. São Paulo, 1989.
- 10
- 11 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1989**. São Paulo, 1990.
- 12
- 13 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1990**. São Paulo, 1991.
- 14
- 15 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1991**. São Paulo, 1992.
- 16
- 17 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1992**. São Paulo, 1993.
- 18
- 19 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1993**. São Paulo, 1994.
- 20
- 21 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1994**. São Paulo, 1995.
- 22
- 23 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1995**. São Paulo, 1996.
- 24
- 25 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1996**. São Paulo, 1997.
- 26
- 27 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1997**. São Paulo, 1998.
- 28
- 29 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1998**. São Paulo, 1999.
- 30
- 31 LIMPURB. **Relatório Anual de Resíduos 1999**. São Paulo, 2000.
- 32
- 33 LIMPURB. **Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo**. Disponível em:
- 34 <<http://www.fecomercio.com.br/arquivos/arquivo/Limpurb%20->

1 %20Sistema%20de%20Limpeza%20Urbana%20do%20Munic%3%ADpio%20de%20S%3%  
2 A3o%20Paulo\_3yz4oafia0.pdf> Acesso em 02/01/2012.

3  
4 MONTEIRO, J.H.P.; et. al.. **Manual de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos**. Rio  
5 de Janeiro. Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM, 2001.

6  
7 PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. **Queima de gás metano no Aterro São João**  
8 **combate a poluição na Cidade**. São Paulo, 2007. Disponível em:  
9 <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a\\_cidade/noticias/index.php?p=16584](http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a_cidade/noticias/index.php?p=16584)> Acesso em  
10 19/12/2011.

11  
12 SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Inventário de Emissões**  
13 **de Gases de Efeito Estufa SABESP: Ano base 2007**. Franca, 2009. Disponível em:  
14 <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade\\_meioamb/Confer%C3%AAncias%20de%20Ge](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioamb/Confer%C3%AAncias%20de%20Ge)  
15 [st%C3%A3o%20Ambiental/Invent%C3%A1rio%20sobre%20Emiss%C3%A3o%20de%20Gase](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioamb/Confer%C3%AAncias%20de%20Ge)  
16 [s%20Poluentes%20\\_Darcy%20Brega%20Sabesp.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioamb/Confer%C3%AAncias%20de%20Ge)> Acesso em 11/01/2012.

17  
18 SABESP. **Dados dos efluentes tratados pela SABESP, em resposta ao ofício nº 022/SVMA-**  
19 **DEPLAN-1/2012**. São Paulo, 2012a.

20  
21 SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976. São Paulo, 1976.

22  
23 SÃO PAULO (Município). Prefeitura da Cidade de São Paulo. **GEO Saúde Cidade de São**  
24 **Paulo**. São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php?p=5291)  
25 [meio\\_ambiente/publicacoes\\_svma/index.php?p=5291](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php?p=5291)> Acesso em 28/12/11.

26  
27 SÃO PAULO (Município). Prefeitura da cidade de São Paulo. Secretaria de Serviços. **Manual**  
28 **de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. São Paulo, 2011.

29  
30 SÃO PAULO (Município). Prefeitura da cidade de São Paulo. **Geo Cidade de São Paulo**. São  
31 Paulo, 2004. Disponível em:  
32 <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/publicacoes\\_svma/index.php](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php)  
33 [?p=5378](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php)> Acesso em 28/12/2011.

34

1 SMA – Secretaria do Meio Ambiente. **Termelétrica do Aterro Bandeirantes reduz emissão de**  
2 **CO<sub>2</sub> para atmosfera.** São Paulo, 2004a. Disponível em:  
3 <[http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25\\_terneletrica.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25_terneletrica.htm)> Acesso em  
4 19/12/2011.

5  
6 SMA. **Goldemberg aceita proposta de desativação da Usina de Vila Leopoldina em**  
7 **Setembro.** São Paulo, 2004b. Disponível em:  
8 <[http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/maio/19\\_usina\\_leopoldina.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/maio/19_usina_leopoldina.htm)> Acesso em:  
9 19/12/2011.

10  
11 VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.  
12 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

13  
14  
15  
16 Sítios da internet consultados durante o período de desenvolvimento do trabalho:

- 17
- 18 • ABAFRIGO - Associação Brasileira de Frigoríficos <<http://www.abrafrigo.com.br/>> -  
19 Acesso em 13/01/2012
  - 20 • APA - Associação Paulista de Avicultura <<http://www.apa.com.br/>> Acesso em  
21 13/01/2012
  - 22 • Biogás Ambiental – <[www.biogas-ambiental.com.br](http://www.biogas-ambiental.com.br)> acessado em 19/12/2011
  - 23 • BRACELPA- Associação Brasileira de Celulose e Papel <<http://bracelpa.org.br/>> -  
24 Acesso em 13/01/2012
  - 25 • CD4CDM – Capacity Development for the Clean Development Mechanism –  
26 <<http://cd4cdm.org>> acesso em 20.jan.12
  - 27 • CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>  
28 acesso em 20/12/2011
  - 29 • IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> Acesso em  
30 10/01/2012
  - 31 • INFOCIDADE < <http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/>> Acesso em 24/02/2012
  - 32 • Prefeitura do Município de São Paulo – <[www.prefeitura.sp.gov.br](http://www.prefeitura.sp.gov.br)> acesso em 16/12/11.

- 1 • SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.  
2 <www.sabesp.com.br> Acesso em 05/01/2012b  
3 • SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. <http://www.snis.gov.br/>  
4 Acesso em: 02/01/2012  
5 • UNFCC – United Nations Framework Convention on Climate Change.  
6

CONSULTA PÚBLICA