

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES AN-
TRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE METANO NO TRATAMENTO E NA
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS**

**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CETESB**



CETESB

Ministério da Ciência e Tecnologia
2006

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SERGIO MACHADO REZENDE

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
LUIZ ANTONIO BARRETO DE CASTRO

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES AN-
TRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE METANO NO TRATAMENTO E NA
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS**

Elaborado por:

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
05489-9000 - São Paulo - SP

Autores:

Sônia Maria Manso Vieira
João Wagner Silva

Equipe de Apoio:

Arnaldo Celso Augusto
Carmen Lúcia V. Midaglia
Marta Ferreira de Lima
Oswaldo dos Santos Lucon
Carlos Alberto S. Paiva
Neuza Maria
Robinson Tadeu Gomes

Ministério da Ciência e Tecnologia
2006

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima

Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 244

70067-900 - Brasília - DF - Brasil

Telefone: 61-3317-7923 e 3317-7523

Fax: 61-3317-7657

e-mail: cpmg@mct.gov.br

<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues

Mauro Meirelles de Oliveira Santos

Newton Paciornik

Revisão de Editoração:

Mara Lorena Maia Fares

Anexandra de Ávila Ribeiro

Editoração Eletrônica:

Jorge Ribeiro

A realização deste trabalho em 2002 só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/95/G31

SCN Quadra 02 Bloco A - Ed. Corporate Center 7º Andar

70712-901 - Brasília - DF - Brasil

Telefone: 61-3038-9300

Fax: 61-3038-9009

e-mail: registry@undp.org.br

<http://www.undp.org.br>

U.S. Country Studies Program

PO-2, Room GP-196

1000 Independence Avenue, SW

Washington, D.C. 20585 USA

Telefone: 1-202-426-1628

Fax: 1-202-426-1540/1551

e-mail: csmt@igc.apc.org

<http://www.gcario.org/CSP/webpage.html>

Agradecemos à equipe administrativa do GEF, do PNUD e do U.S. Country Studies Program e, em particular, a algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível: Emma Torres, Richard Hosier e Vesa Rutanen, todos do PNUD/Nova York; Cristina Montenegro, do PNUD/Brasil, de 1985 a 1999, por seu apoio e incentivo em todos os momentos; e Jack Fitzgerald e Robert K. Dixon, do U.S. Country Studies Program, que propiciaram o encaminhamento do programa. A todas essas pessoas, por sua liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Introdução	13
Sumário Executivo	15
1 Introdução	17
1.1 Levantamento de dados bibliográficos e estatísticos	17
2 Características Regionais do Brasil	18
2.1 Demografia	19
2.2 Clima	20
3 Emissões de Metano de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias	20
3.1 A geração de metano por resíduos sólidos no Brasil	20
3.1.1 Algumas considerações sobre os processos de disposição e tratamento de resíduos sólidos (Definições)	21
3.2 A geração de metano por efluentes líquidos no Brasil	22
3.2.1 Algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias (Definições)	24
4 Metodologia do Inventário das Emissões de Metano	27
4.1 Emissões de metano dos locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS)	27
4.2 Emissões de metano pelo tratamento de águas residuárias	27
4.2.1 Esgotos domésticos e comerciais	27
4.2.2 Águas residuárias industriais	28
5 Emissões de Metano Provenientes de Resíduos no Brasil	28
5.1 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos	28
5.1.1 Levantamento e coleta de dados	28
5.1.1.1 População urbana do Brasil (Pop)	28
5.1.1.2 Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante (Taxa RSD)	31
5.1.1.3 Fração de resíduos sólidos depositados em aterros ou lixões (RSD_F)	38
5.1.1.4 Fator de correção de metano (FCM)	38
5.1.1.5 Carbono orgânico degradável (COD)	40
5.1.1.6 Fração de carbono orgânico degradável que realmente degrada (COD_F)	

43	
5.1.1.7	Fração de metano no gás de aterro (F) 43
5.1.1.8	Metano recuperado (R) 45
5.1.2	Método de cálculo de resultados 45
5.2	Emissões de metano oriundas do tratamento de águas residuárias 47
5.2.1	Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais 48
5.2.1.1	Considerações sobre as condições sanitárias no Brasil 48
5.2.1.2	Levantamento e coleta de dados 50
5.2.1.2.1	População urbana no Brasil (Pop_{urb}) 50
5.2.1.2.2	Taxa de geração de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) 50
5.2.1.2.3	Produto da fração de esgotos tratada (FET) x fator de correção de metano (FCM) 50
5.2.1.3	Método de cálculo e resultados 54
5.2.2	Emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial 55
5.2.2.1	Determinação das principais atividades industriais do Brasil 55
5.2.2.2	Levantamento e coleta de dados 58
5.2.2.2.1	Produção industrial ($Prod_{ind}$) 58
5.2.2.2.2	Fator de emissão de carga orgânica por quantidade de produto ($FE_{c_{org}}$) 66
5.2.2.2.3	Fração de esgotos tratada (FET) e fator de correção de metano (FCM) 67
5.2.2.2.4	Máximo fator de emissão de metano 67
5.2.2.3	Método de cálculo e resultados 67
6	Incertezas 74
7	Conclusão 75
8	Perspectivas Futuras do Aproveitamento Energético do Metano 76
8.1	Resíduos sólidos 76
8.2	Efluentes líquidos 77
9	Bibliografia 78
10	Siglas 84

Lista de Figuras

	Página
FIGURA 1 – Relação entre renda <i>per capita</i> e geração de RSD por países	36
FIGURA 2 – Relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e geração de RSD por país	37
FIGURA 3 – Situação da disposição dos resíduos sólidos domiciliares no estado de São Paulo	39
FIGURA 4 – População atendida por serviços de esgotamento no Brasil	48
FIGURA 5 – Principais tipos de indústrias do Brasil segundo a receita líquida de vendas dos produtos fabricados pela empresa em 1990 (IBGE, 1995)	56
FIGURA 6 – Principais tipos de indústrias do Brasil segundo o pessoal ocupado ligado à produção em 31 de dezembro de 1990 (IBGE, 1995)	56
FIGURA 7 – Contribuição relativa das diferentes atividades industriais no estado de São Paulo com relação ao lançamento de efluentes no ano de 1990 (CETESB)	57
FIGURA 8 – Contribuição relativa em t DBO ₅ /ano por setor de atividade industrial de onze estados brasileiros pesquisados pelo PRONACOP/CETESB (1988/89)	58

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 – Municípios com tratamento de esgotos nas grandes regiões do Brasil, de acordo com o tipo	23
TABELA 2 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos censos de 1980 e 1991, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1990	29
TABELA 3 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos censos de 1991 e contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1992, 1993 e 1994	29
TABELA 4 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes distribuída por estados, dos censos de 1991 e contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1994	30
TABELA 5 – Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia	31
TABELA 6 – Estimativa de geração de lixo no ano de 1994, baseada na população urbana e na taxa média de geração de resíduos da CETESB	32
TABELA 7 – Comparação da geração de lixo por habitante em algumas cidades	33
TABELA 8 – Resumo das estimativas de geração e coleta de resíduos sólidos domésticos (RSD)	33
TABELA 9 – Quadro comparativo dos 38 municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo	34
TABELA 10 – Destinos dos resíduos sólidos	38
TABELA 11 – FCM recomendado pelo IPCC	38

TABELA 12 – Índice de qualidade de aterros de resíduos	39
TABELA 13 – Valores de porcentagem de carbono orgânico para os principais tipos de resíduos	40
TABELA 14 – Composição média do RSD em alguns municípios do Brasil	41
TABELA 15 – Estimativa do carbono orgânico degradável dos Resíduos Sólidos Urbanos para algumas cidades	42
TABELA 16 – Origem e conteúdo de matéria orgânica dos resíduos dispostos em alguns aterros do Brasil	43
TABELA 17 – Concentrações percentuais de metano em amostras de gás de aterro na Região Metropolitana de São Paulo	44
TABELA 18 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1A suplementar do IPCC)	46
TABELA 19 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1C suplementar do IPCC)	46
TABELA 20 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1 do IPCC)	47
TABELA 21 – Quantidade de esgotos coletados e tratados no Brasil	49
TABELA 22 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por fossas	52
TABELA 23 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas	53
TABELA 24 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas	53
TABELA 25 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC)	54
TABELA 26 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC -	

continuação)	54
TABELA 27 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC - continuação)	55
TABELA 28 – Produção de aço bruto e de ferro gusa	59
TABELA 29 – Fatores de emissão para a indústria metalúrgica	59
TABELA 30 – Produção de veículos por ano	60
TABELA 31 – Cerveja produzida por ano	60
TABELA 32 – Produtos enlatados produzidos por ano	61
TABELA 33 – Vinho produzido por ano	61
TABELA 34 – Produção anual dos abatedouros, entre 1990 e 1994	62
TABELA 35 – Produção avícola, entre 1990 e 1994	62
TABELA 36 – Determinação dos fatores de emissão por unidade de produto	63
TABELA 37 – Produção anual no setor alimentício	63
TABELA 38 – Papel e celulose produzidos por ano	64
TABELA 39 – Petróleo refinado por ano	64
TABELA 40 – Produção têxtil por ano	64
TABELA 41 – Produção de borrachas por ano	65
TABELA 42 – Produção anual do setor químico	65
TABELA 43 – Produção anual de couro	66
TABELA 44 – Produção anual de álcool	66
TABELA 45 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990	68
TABELA 46 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1991	69
TABELA 47 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1992	70

TABELA 48 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1993	71
TABELA 49 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1994	72
TABELA 50 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.3, folha 2 de 4, do IPCC)	73
TABELA 51 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.3, folha 4 de 4, do IPCC)	73

Introdução

A questão do aquecimento global, difícil de ser compreendida por sua complexidade científica e a existência de poucos especialistas neste tema no Brasil, geralmente envolvidos com projetos considerados mais prioritários, tornam a elaboração do inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa um esforço complexo e pioneiro.

Há, além dessas dificuldades, a falta de material disponível em português sobre o assunto, a falta de conhecimento sobre as obrigações brasileiras no âmbito da Convenção, a falta de recursos para estudos mais abrangentes e dúvidas sobre os benefícios que adviriam para as instituições envolvidas nesse processo.

Outra dificuldade encontrada é o fato de a mudança do clima não ser um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de haverem superado os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa (utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc). Além disso, programas de conservação de energia têm buscado, desde meados da década de 80, melhorar ainda mais a produção de energia e os padrões de consumo no Brasil.

Para que o Brasil cumprisse as obrigações assumidas no âmbito da Convenção, foi estabelecido um quadro institucional na forma de um Programa, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos financeiros aportados pelo PNUD/GEF e apoio adicional do governo norte-americano. Buscou-se, durante a elaboração do inventário, por sua abrangência e especificidade, envolver diversos setores geradores de informação e a participação de especialistas de diversos ministérios, instituições federais, estaduais, associações de classe da indústria, empresas públicas e privadas, organizações não-governamentais, universidades e centros de pesquisas.

Por sua própria origem, a metodologia do IPCC adotada pela Convenção tem, como referência, pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para os países em desenvolvimento, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária. Portanto, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com devida cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, as realidades nacionais. Em muitos casos, não há pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes. A avaliação de emissões decorrentes do uso intensivo de biomassa no

Brasil também não encontra apoio na metodologia, muito embora tais emissões, dado o caráter renovável da biomassa, não sejam contabilizadas nos totais nacionais.

A aplicação da metodologia do IPCC pelos países em desenvolvimento impõe a esses países um ajuste a um sistema para cuja elaboração pouco contribuíram. De qualquer modo, durante sua aplicação, não abdicamos do dever de exercer alguma influência, ainda que modesta, por exemplo, em relação à mudança de uso da terra e florestas. Deve-se levar em conta que o Brasil é um dos países que têm melhores e mais abrangentes sistemas de monitoramento permanente deste setor. Estudos pioneiros foram realizados em relação às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para uso agrícola, pelos reservatórios de hidrelétricas e por queimadas prescritas do cerrado. Cuidado deve ser tomado, também, ao se comparar os resultados totais de emissões por tipo de gás de efeito estufa. Diferenças metodológicas com outros inventários internacionais de emissões de gases de efeito estufa, em especial com alguns países desenvolvidos que não relatam adequadamente suas emissões, como, por exemplo, no caso de mudanças no uso da terra e florestas, impedem a simples comparação dos resultados.

No Brasil, a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, muitas vezes, medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Deve-se ter em conta que a elaboração de um inventário nacional é um empreendimento intensivo em recursos. Há que se estabelecer prioridades para realizar estudos e pesquisas de emissões nos setores e gases de efeito estufa principais, uma vez que a metodologia das estimativas e a qualidade dos dados podem melhorar com o tempo. Em virtude deste fato, os relatórios setoriais baseiam-se, normalmente, em trabalhos previamente feitos por diversas instituições nacionais.

Finalmente, é preciso lembrar que ao mesmo tempo que a avaliação das emissões anuais por cada um dos países é importante para o dimensionamento das emissões globais e para a compreensão da evolução futura do problema das mudanças climáticas, as emissões anuais de gases de efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global, visto que o aumento da temperatura é função da acumulação das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos diversos gases de efeito estufa na atmosfera. Para cada diferente nível de concentração de cada gás de efeito estufa, há uma acumulação de energia na superfície da Terra ao longo dos anos. Como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (documento FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3), a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas das emissões de metano decorrentes da disposição de resíduos sólidos e do tratamento de águas residuárias no Brasil, para o período de 1990 a 1994, com base nas Diretrizes Revisadas de 1996 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC.

O presente relatório foi elaborado conforme contrato firmado entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, a agência implementadora do Fundo Global para o Meio Ambiente, e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, no âmbito do Projeto BRA/95/G31. Os recursos financeiros para este trabalho foram disponibilizados por meio de um acordo bilateral com o *United States Country Studies Program*.

Este estudo foi solicitado, revisado e reestruturado pela Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia, a agência executora do Projeto, e elaborado pelo corpo técnico da Divisão de Questões Globais da Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da CETESB, localizada em São Paulo - SP.

Os dados estatísticos oficiais de população foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em particular, dos Censos Demográficos e da Pesquisa Nacional de Amostragem Industrial. Os dados a respeito da disposição de resíduos sólidos foram obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, do IBGE, e do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde, da CETESB. As informações a respeito da situação do tratamento de esgotos domésticos foram obtidas a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico e dos Censos. As informações sobre os efluentes industriais foram obtidas de um Diagnóstico da Poluição Industrial realizado em onze estados do país (CETESB/PRONACOP), do Sistema de Licenças e Penalidades - SILP (CETESB) e do Anuário Estatístico Brasileiro (IBGE). As estimativas das emissões de metano provenientes da disposição de resíduos sólidos são apresentadas por estado e para todo o país. As estimativas das emissões de metano do tratamento de águas residuárias são apresentadas por ramo industrial.

No Brasil, a geração de resíduos sólidos municipais está estimada em cerca de 59 mil toneladas por dia em 1994, com composição variável de acordo com a região. A geração por habitante de uma cidade brasileira varia entre 0,4 e 0,7kg/hab.dia. A disposição e o tratamento de resíduos sólidos distribuem-se da seguinte forma: 76% depositados em lixões a céu aberto, 22% em aterros controlados e sanitários, 2% têm outra destinação, como as

usinas de compostagem e a incineração, como apresentado na Figura I.

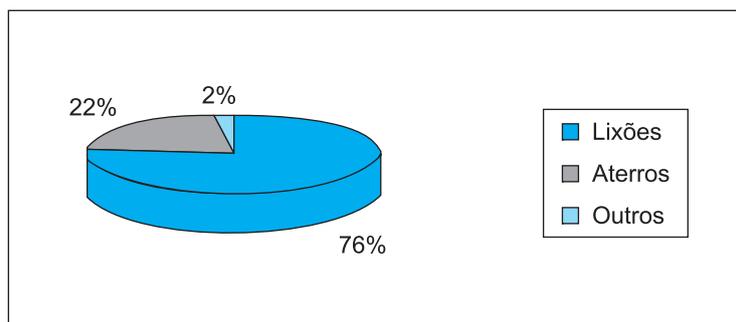
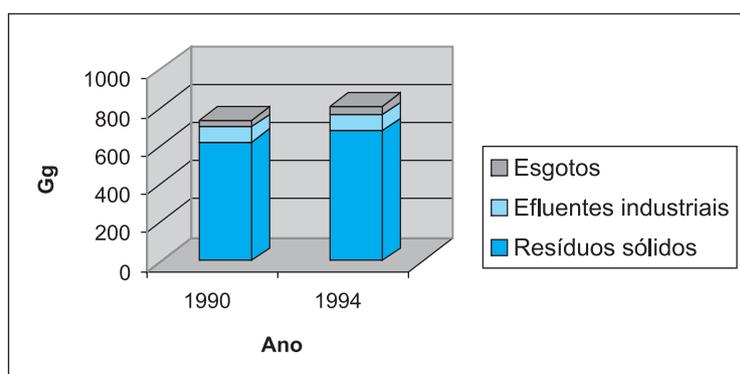


Figura I – Destinação dos resíduos sólidos

Vários sistemas são utilizados para o tratamento das águas residuárias. Apesar disso, uma grande quantidade de esgoto é despejada diretamente nos rios e no oceano, sem tratamento. Segundo o último censo sobre saneamento, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 1989), dos 4.425 municípios do país, 2.091 possuíam rede para coleta de esgoto e destes, apenas 345 possuíam algum tipo de tratamento coletivo.

As emissões de metano por resíduos sólidos no Brasil, para o ano de 1990, foram estimadas em 618 Gg, aumentando para 677 Gg no ano de 1994. As emissões de metano geradas no tratamento dos resíduos líquidos de origem doméstica e comercial foram estimadas em 39 Gg para o ano de 1990, subindo para 43 Gg em 1994. As emissões de metano decorrentes do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial foram estimadas em 79 Gg em 1990 e 83 Gg em 1994. As emissões totais de metano provenientes do tratamento de resíduos totalizaram 737 Gg em 1990 e 803 Gg em 1994, como apresentado na Figura II, tendo aumentado 9% nesse período.



1 Introdução

A disposição e tratamento de resíduos municipais e industriais podem produzir emissões dos mais importantes gases que provocam o efeito estufa. Os resíduos sólidos podem ser descartados em aterros, em lixões, sofrer reciclagem ou incineração. Os resíduos líquidos podem receber várias formas de tratamentos físico-químicos ou biológicos. Os tratamentos biológicos podem ser por decomposição aeróbia ou anaeróbia.

O gás mais importante produzido no tratamento de resíduos é o metano, que pode ser convertido em energia. Quantias significativas de emissões anuais de metano produzidas e liberadas à atmosfera são um produto secundário da decomposição anaeróbia de resíduos.

As duas maiores fontes deste tipo de produção de metano são os aterros de lixo e o tratamento anaeróbio (processo biológico sob presença insuficiente de oxigênio) de esgoto e águas residuárias. Em cada caso, a matéria orgânica contida nos resíduos é decomposta pela ação de bactérias metanogênicas, que produzem o biogás composto principalmente de metano e gás carbônico.

1.1 Levantamento de dados bibliográficos e estatísticos

O inventário de emissões de metano, oriundas do tratamento de águas residuárias e da disposição de resíduos sólidos nos anos de 1990 e 1994, foi executado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, seguindo a metodologia recomendada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*. A referência foi a edição *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual / Workbook*, nos capítulos referentes ao item Resíduos.

A metodologia proposta pelo IPCC conduz ao levantamento de dados estatísticos para a definição das características populacionais e do parque industrial do Brasil. É necessário conhecer o total da população urbana, além das condições de tratamento dos efluentes e de disposição de resíduos. Isso implica em determinar o volume gerado de resíduos, a concentração de matéria orgânica presente e os recursos de saneamento empregados naquele ano, como instalações de aterros ou lixões e estações de tratamento de esgotos com processos anaeróbios.

O IPCC sugere ainda que, na medida do possível, sejam tomadas da literatura nacional informações técnicas locais, como a geração específica de carga orgânica dos efluentes

industriais em função de unidades de produtos, a eficiência de remoção de matéria orgânica de cada sistema empregado, as características de degradação dos aterros e de sistemas de tratamento de efluentes industriais, a geração potencial de biogás e as quantidades recuperadas.

Reside na qualidade destas informações a maior ou menor confiabilidade dos números aqui apresentados. Muitas das informações necessárias não estão disponíveis enquanto que outras têm incertezas muito elevadas.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para viabilizar a estimativa das emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos no Brasil, nos anos de 1990 a 1994. Os dados estatísticos oficiais de população foram obtidos a partir dos Censos Demográficos de 1980, 1991 e 1996 (IBGE, 1997). Também foram considerados os dados do Levantamento por Amostragem da Indústria Nacional (IBGE, 1990).

Os dados a respeito da disposição de resíduos sólidos foram obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 1989 (IBGE, 1992) e do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde “Pró-Lixo” (CETESB, 1992).

As informações a respeito da situação do tratamento de esgotos domésticos foram obtidas a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 1992). Além dessa fonte, também foram consultados os censos de 1991 e 1994 (IBGE, 1996).

As principais informações para a determinação das emissões de efluentes industriais foram obtidas do conjunto de relatórios Diagnóstico da Poluição Industrial PRONACOP/CETESB, realizado em onze estados do país (PRONACOP/CETESB, 1989), do Sistema de Licenças e Penalidades - SILP (CETESB, 1990) e do Anuário Estatístico Brasileiro dos anos de 1991 e 1994 (IBGE, 1993 e 1996).

Foram também utilizadas constantes de emissão de carga orgânica, por unidade produzida, de vários autores, destacando-se Salvador (SALVADOR, 1991) e CETESB (CETESB, sem data). Além disso, foram levantados dados de produção industrial nacional, obtidos junto aos órgãos patronais de cada setor de produção ou do Anuário Estatístico Brasileiro dos anos de 1990 e 1994 (IBGE, 1993 e 1996).

2 Características Regionais do Brasil

A República Federativa do Brasil é composta de 26 Estados e um Distrito Federal (a capital, Brasília). O país é dividido em cinco regiões geográficas, com diferentes características:

- Região Norte: Amazonas, Pará, Acre, Rondônia, Amapá e Roraima;
- Região Nordeste: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia;
- Região Centro-Oeste: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins e Distrito Federal;
- Região Sudeste: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo; e
- Região Sul: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

2.1 Demografia

O Brasil é o quinto maior país do mundo com cerca de 8.500.000 km² de extensão. Em 1990, sua população era de 150 milhões de habitantes, ou seja, cerca de 2,9% da população mundial. Isto representa uma densidade populacional de 17,6 habitantes/km². Apesar de este valor ser relativamente baixo, a maioria das pessoas está concentrada especialmente na região Sudeste, onde se localizam as duas maiores cidades do país, São Paulo e Rio de Janeiro. A distribuição da população por região era: região Norte: 7.350.000 habitantes ou 4,9%; região Nordeste: 43.950.000 habitantes ou 29,3%; região Sudeste: 65.250.000 habitantes ou 43,5%; região Sul: 24.000.000 habitantes ou 16% e região Centro-Oeste: 9.450.000 habitantes ou 6,3%.

Além das diversidades regionais, verifica-se uma grande tendência de urbanização em todo o país, o que aumenta as evidências de contrastes sociais, culturais e econômicos. No Brasil, segundo o IBGE (1997), no período de 1991 a 1996, 78% da população vivia em áreas urbanas. Existe uma diferença marcante no nível econômico e na situação de saneamento entre os centros urbanos, a periferia e as áreas rurais. O Brasil tem apresentado uma tendência à urbanização muito maior que a média mundial.

Esta tendência à urbanização afeta a escolha dos sistemas de tratamento e coleta de sólidos e águas residuárias. Em grandes cidades, existe dificuldade em encontrar áreas suficientes para sistemas de tratamento. Em termos de coleta de esgotos, as áreas da periferia urbana apresentam dificuldades na implementação de sistemas de esgotos convencionais. De modo geral, tanto médias quanto grandes cidades apresentam problemas relacionados à escassez de recursos. A disponibilidade de área não chega a ser um problema para cidades de pequeno e médio porte, mas existem os problemas de infra-estrutura, de operação e manutenção dos sistemas.

2.2 Clima

Também o clima do país apresenta variação importante para as diversas regiões. Na região Norte, o clima é quente com temperatura do ar na faixa de 25 a 40°C. A média anual de umidade relativa do ar está entre 64 e 91%. Nesta região só existem duas estações: o inverno e o verão. Nela estão localizadas florestas e também cerca de 20% da água doce do planeta. A região Nordeste é semi-árida com temperatura variando entre 20 e 35°C. Existem áreas bastante secas em alguns estados, tais como Piauí e Pernambuco. A região Centro-Oeste apresenta clima tropical, quente e semi-úmido, caracterizado por chuvas intensas no verão e por meses secos no inverno. A temperatura varia de 15 a 35°C.

Na região Sudeste, a variação anual do clima é maior, com temperaturas variando de 15 a 40°C. Na região Sul, as temperaturas médias são mais baixas e não existe seca. Esta região é caracterizada por variações bruscas de temperatura, na faixa de 13 a 40°C.

3 Emissões de Metano de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias

Dentre os poluentes resultantes das atividades humanas e que são fontes de emissão de metano, apenas os resíduos sólidos e as águas residuárias são tratados neste relatório.

Grande quantidade de resíduos é gerada anualmente, resultante das atividades domésticas, comerciais e industriais.

3.1 A geração de metano por resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, em 1994, a geração de resíduos sólidos municipais está estimada em 59 mil toneladas por dia, com composição variável, de acordo com a região. A geração por habitante de uma cidade brasileira varia entre 0,4 e 0,7kg/hab.dia. A disposição e tratamento no país se distribui da seguinte forma: 76,1% depositados em lixões a céu aberto, 21,8% em aterros controlados e sanitários e 2,1% em outras destinações (IBGE, 1992).

Os tipos e as taxas de produção de resíduos sólidos no país variam por causa da grande extensão territorial e das diferenças regionais, sociais e econômicas, que não permitem o estabelecimento de uma política nacional global de gerenciamento e dificultam a obtenção de dados estatísticos.

O crescimento demográfico, combinado com mudanças de hábitos, melhoria da qualidade

de vida e desenvolvimento industrial, causam um aumento na quantidade gerada de resíduos e em suas características, com crescente participação percentual de embalagens e outros materiais inertes, agravando os problemas de disposição.

A crescente urbanização limita as áreas disponíveis para a disposição final dos resíduos. Grandes cidades precisam, muitas vezes, exportar seu lixo para áreas de municípios vizinhos. Em diversas outras situações, áreas não adequadas são eleitas como depósitos provisórios que, com o tempo, muitas vezes acabam tornando-se permanentes.

Os depósitos de lixo, aterros e lixões geram metano quando os resíduos encontram-se sob condições favoráveis. Esta geração varia de local para local, em função de fatores como quantidade de resíduos, idade do depósito, presença de ambiente anaeróbio, materiais tóxicos, acidez e condições construtivas e de manejo.

O biogás pode representar um perigo para o meio ambiente local, caso não sejam tomadas as devidas medidas para evitar emissões descontroladas. O gás sulfídrico (H_2S), presente em baixas concentrações no biogás, pode causar danos à vegetação e odores desagradáveis. O gás metano, em altas concentrações, pode provocar misturas explosivas.

O metano proveniente dos aterros contribui consideravelmente para as emissões globais de metano. No entanto, a estimativa apresentada neste relatório está sujeita a um grande grau de incerteza. As estimativas das emissões globais de metano, proveniente dos aterros, oscilam entre 20 e 70 Tg/ano, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20 % do total de metano (IPCC, 1995).

3.1.1 Algumas considerações sobre os processos de disposição e tratamento de resíduos sólidos (Definições)

Lixões: vazadouros a céu aberto, onde o lixo é lançado sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial.

Aterros controlados: locais utilizados para o despejo do lixo coletado, em que se tem o simples cuidado de, após a jornada de trabalho, cobri-lo com uma camada de terra.

Aterros sanitários: forma de disposição mais econômica de resíduos sólidos urbanos e segura ambientalmente. Consiste na disposição do lixo coletado no solo, utilizando-se métodos de engenharia para confinar os despejos na menor área e volumes possíveis e cobri-los com uma camada de terra ao final da jornada diária ou em períodos mais frequentes.

Usinas de compostagem: instalações onde o lixo é processado através de uma instalação industrial e transformado em composto orgânico para uso agrícola.

Usinas de incineração: instalações especiais (fornos especialmente projetados) onde se processa a queima controlada do lixo, com a finalidade de transformá-lo em matéria estável e inofensiva à saúde pública, reduzindo o seu peso e volume.

3.2 A geração de metano por efluentes líquidos no Brasil

Os efluentes com alto teor de matéria orgânica, como os esgotos domésticos e aqueles das indústrias alimentícias, de bebidas e de papel e celulose, têm um alto potencial para emissão de metano. A matéria orgânica presente nesses efluentes é expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é o principal fator determinante do potencial de geração de metano. A DBO representa a quantidade de oxigênio consumida por microorganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

O volume de esgotos gerados por pessoa depende da quantidade de água consumida, correspondendo normalmente a 80% desta. A carga orgânica unitária varia de país para país, entre 20 e 80 g DBO por habitante por dia. No Brasil, esta situa-se em torno de 50 g DBO/hab.dia (FEACHEM, 1983). Considerando-se este fator, tem-se no Brasil a geração de 1,97 milhões de toneladas de DBO por ano.

O aumento desordenado da população e o desenvolvimento de grandes núcleos urbanos sem planejamento, sobretudo nos países em desenvolvimento, dificultam as ações de manejo de resíduos. A necessidade de disposição e tratamento é reconhecida, mas, por falta de recursos, essas ações costumam ser postergadas, provocando problemas de saúde nas populações e degradação do meio ambiente.

No Brasil, uma grande variedade de sistemas é utilizada para o tratamento de águas residuárias. Apesar disso, uma grande parcela dessas águas geradas é lançada diretamente nos corpos d'água, sem tratamento.

Segundo os dados do último censo sobre saneamento, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - 1989 (IBGE, 1992), dos 4.425 municípios do país, 2.091 possuíam rede para coleta de esgoto e destes, apenas 345 possuíam algum tipo de tratamento coletivo. A Tabela 1, a seguir, apresenta esses dados.

Tabela 1 – Municípios com tratamento de esgotos nas grandes regiões do Brasil, de acordo com o tipo

		Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
Municípios	Total	298	1461	1430	857	379	4425
	Com coleta de esgotos	25	381	1301	335	49	2091
	Com tratamento de esgotos	7	53	214	57	14	345
Municípios com tratamento de esgotos de acordo com o	ETE (1)	2	5	25	16	3	51
	Unidade de tratamento preliminar (2)	1	3	10	3	-	17
	Unidade de tratamento primário (3)	1	5	11	7	1	25
	Lagoa de estabilização	3	44	129	18	11	205
	Lagoa aerada	3	5	4	1	3	16
	Vala de oxidação	1	6	8	2	1	18
	Outros	2	6	49	18	1	76

Fonte: IBGE, 1992

1 Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) - basicamente gradeamento, caixa de areia, decantador primário, lodos ativados e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem de lodo.

2 Apenas grade e caixa de remoção de areia.

3 Grade, caixa de areia, decantador e secagem de lodo.

Nas áreas rurais e para sistemas individuais, os tanques sépticos são bastante utilizados, por vezes seguido de filtro anaeróbio, ou ainda pela infiltração do efluente no solo.

Dentre as várias opções coletivas para o tratamento biológico, as mais utilizadas no Brasil são as lagoas de estabilização e as diversas modificações do processo de lodos ativados, particularmente aquelas que empregam o conceito de aeração prolongada e os filtros biológicos.

As lagoas aeradas têm sido bastante utilizadas em comunidades de médio porte e para alguns tipos de efluentes industriais.

Os efluentes da produção de indústria de diferentes setores como alimentos, bebidas, química, metalúrgica, têxtil, couro e celulose têm sido tratados tradicionalmente através de lagoas ou pelos processos de lodos ativados e filtros biológicos. No início dos anos oitenta, existiam algumas unidades de filtros anaeróbios e, nos últimos anos, tem havido uma forte tendência de utilização de reatores anaeróbios, para o tratamento de efluentes

industriais. Os setores que vêm empregando esta tecnologia se beneficiam com a sua baixa necessidade de área e com o fato de ela não exigir energia de aeração. Desde 1983, mais de 350 sistemas anaeróbios foram instalados.

Em alguns estados tem havido um aumento de utilização de reatores do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) para o tratamento de esgotos domésticos, como unidade única, ou seguidos de lagoa facultativa. Somente no estado do Paraná existem mais de 220 reatores anaeróbios, tratando esgotos de cerca de 1.200.000 habitantes. Dos reatores anaeróbios instalados no Brasil, a grande maioria é do tipo UASB. Esta tecnologia é muito apropriada às condições do país devido às condições climáticas favoráveis, simplicidade de construção e operação do sistema, além de não serem necessários equipamentos eletro-mecânicos de agitação e aeração e nem material de enchimento para o reator.

A produção mundial de metano gerado no tratamento de efluentes sob condições anaeróbias varia entre 30 e 40 Tg/ano. Isto representa de 8 a 11% do total global de emissões antropogênicas de metano, estimado em 360 Tg/ano (IPCC, 1995). O tratamento de efluentes industriais contribui com a maior parcela, estimada entre 26 e 40 Tg/ano. As emissões de metano provenientes do tratamento de esgotos domésticos e comerciais são estimadas em, aproximadamente, 2 Tg/ano.

As incertezas destas estimativas resultam da falta de dados que caracterizam as práticas de tratamento das águas residuárias, as quantidades de esgoto que são tratados anaerobiamente, dados da quantidade de metano produzido que é queimado ou utilizado de outra forma e dados de campo das potenciais emissões de metano em lagoas de tratamento de esgoto (THORNELOE, citado no IPCC, 1995).

3.2.1 Algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias (Definições)

A degradação biológica é um dos processos mais utilizados para o tratamento de efluentes por razões econômicas. A degradação ocorre através da ação de agentes biológicos como as bactérias, protozoários e algas.

Os processos aeróbios são os mais utilizados nos países desenvolvidos. Em condições aeróbias, matéria orgânica é convertida em gás carbônico, água e biomassa. A energia potencial presente nos resíduos termina na biomassa (lodo), cuja produção se torna um grande problema. No tratamento de esgotos, por exemplo, a disposição do lodo produzido

é o fator de maior custo e que também requer grandes quantidades de energia. Devido à presença nesses lodos de metais pesados e outros contaminantes, seu aproveitamento na agricultura e outras formas de disposição é difícil. Além disso, a aeração requerida para fornecer oxigênio aos microrganismos aeróbios requer grandes quantidades de energia e produz significativas quantidades de CO₂.

O processo de degradação anaeróbia transforma a matéria orgânica em gás carbônico, metano, água e biomassa. A produção de biomassa é significativamente menor quando comparada aos processos aeróbios pois a taxa de crescimento dos microrganismos anaeróbios é baixa. A energia potencial do resíduo vai em parte para a biomassa e parte para o metano. Portanto o conteúdo energético existente no biogás pode ser usado em substituição a combustíveis fósseis, reduzindo o consumo destes e o conseqüente aumento da concentração de CO₂, uma vez que o CO₂ produzido na combustão do metano recuperado é considerado, para fins de inventário, de ciclo fechado.

A seguir são feitas algumas considerações sobre os processos de tratamento de águas residuárias empregados no Brasil.

Reatores anaeróbios

Uma opção bastante interessante que vem sendo mais e mais empregada é o tratamento anaeróbio em reatores. Estes se baseiam no princípio de separação das fases sólida, líquida e gasosa, fazendo com que o lodo se acumule e seja mantido no tanque de tratamento com tempos de residência celular bastante superiores aos tempos de residência hidráulica.

a) O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (reator UASB) retém o lodo pela incorporação de um decantador e um separador de gases na parte superior do reator. O esgoto é distribuído uniformemente pelo fundo do mesmo. Após passar pelo manto de lodo estabilizado, rico em bactérias anaeróbias, sofre degradação e o efluente tratado é recolhido em canaletas no topo do reator. Os sólidos se acumulam no fundo e o gás, tendo como principal componente o metano, é encaminhado para queima ou recuperação. O excesso de lodo é encaminhado para secagem e pode ser disposto em aterro sanitário ou passar por adequação para ser aproveitado como bio-fertilizante.

Os reatores UASB são sistemas compactos e de alta taxa, indicados para a recuperação eficiente do gás metano.

b) Os filtros anaeróbios retêm o lodo num material suporte colocado dentro do reator. Esse material pode ser de plástico, pedra, cerâmica, bambu, etc.

O filtro é mantido submerso, o que garante a ausência de ar (oxigênio) e o conseqüente desenvolvimento de microorganismos anaeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização, aeróbias, anaeróbias ou facultativas, são os processos de tratamento mais comumente usados nos países de clima quente. Tratam-se de grandes tanques escavados na terra, que funcionam principalmente pela ação de bactérias e algas. Nestas condições, a velocidade de oxidação biológica é baixa, requerendo grandes áreas de terreno. Quando estas são disponíveis, seus custos de operação, construção e manutenção são bastante reduzidos. As lagoas, em geral, não permitem o controle e armazenamento do gás produzido.

As lagoas de estabilização apresentam quatro tipos básicos: aeróbias, em geral rasas, com cerca de 0,50m de profundidade; anaeróbias entre 2m e 4,5m de profundidade; facultativas, com profundidade entre 1,5m a 2m; e as de maturação, com 1m de profundidade, usadas após sistemas secundários, para melhorar o efluente.

Lagoa aerada

As lagoas aeradas caracterizam-se por exigir a instalação de equipamentos mecânicos para fornecer oxigênio ao líquido. Requerem áreas menores, todavia consomem energia.

Lodos ativados

Estes sistemas são bastante compactos, compondo-se de decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário. O esgoto é sedimentado e o efluente passa para o tanque de aeração; o lodo contendo microorganismos aeróbios cresce e é recirculado, mantendo uma alta velocidade de degradação da matéria orgânica.

Filtro biológico

Os filtros biológicos consistem de um leito de material suporte que retém os microorganismos. Os líquidos são alimentados no filtro e neste se mantém a presença de ar, o que garante o desenvolvimento de organismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

4 Metodologia do Inventário das Emissões de Metano

4.1 Emissões de metano dos locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS)

De acordo com a metodologia revisada de 1996 (IPCC, 1996), a determinação da emissão anual de CH₄, para cada país ou região, pode ser calculada pela equação a seguir:

$$\begin{aligned} & (\text{Pop}_{\text{urb}} \cdot \text{taxa RSD} \cdot \text{RSD}_{\text{F}} \cdot \text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_{\text{F}} \cdot \text{F} \cdot 16/12 - \text{R}) \cdot (1 - \text{OX}) \\ & = \\ & \text{Emissão de Metano [GgCH}_4\text{/ano]} \end{aligned}$$

onde:

- Pop_{urb}: População urbana do país [habitantes]
- taxa RSD: Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano
- RSD_F: Fração de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [fração adimensional]
- FCM: Fator de correção de metano [fração adimensional]
- COD: Carbono orgânico degradável no resíduo sólido doméstico [fração adimensional]
- COD_F: Fração de COD que realmente degrada [fração adimensional]
- F: Fração de CH₄ no gás de aterro [fração adimensional]
- 16/12: Taxa de conversão de carbono em metano [fração adimensional]
- R: Quantidade de metano recuperado [GgCH₄/ano]
- OX: Fator de oxidação [fração adimensional]

4.2 Emissões de metano pelo tratamento de águas residuárias

O IPCC (1996) recomenda que sejam determinadas as emissões anuais de CH₄ provenientes de tratamentos anaeróbios de águas residuárias domésticas, comerciais e industriais. A seguir estão os procedimentos para cada determinação.

4.2.1 Esgotos domésticos e comerciais

Emissão de metano [GgCH_4/ano] = $\text{Pop}_{\text{urb}} \cdot \text{taxaDBO}_5 \cdot \text{FET} \cdot \text{FCM} \cdot \text{MFEM} - \text{R}$
onde:

- Pop_{urb} : População urbana do país [habitantes]
- taxa DBO_5 : Taxa de geração de Demanda Bioquímica de Oxigênio [$\text{DBO}_5/\text{habitante.ano}$]
- FET: Fração de esgotos tratada [fração adimensional]
- FCM: Fator de correção de metano [fração adimensional]
- MFEM: Máximo fator de emissão de metano [fração adimensional]
- R: Quantidade de metano recuperado [GgCH_4/ano]

4.2.2 Águas residuárias industriais

Emissão de metano [GgCH_4/ano] = $\text{Prod}_{\text{ind}} \cdot \text{FE}_{\text{c org}} \cdot \text{FET} \cdot \text{FCM} \cdot \text{MFEM} - \text{R}$

onde:

- Prod_{ind} : Produção industrial [unidades de produção]
- $\text{FE}_{\text{c org}}$: Fator de emissão de carga orgânica por unidade de produção [$\text{DBO}_5/\text{unidade}$]
- FET: Fração de esgotos tratados [fração adimensional]
- FCM: Fator de correção de metano [fração adimensional]
- MFEM: Máximo fator de emissão de metano [fração adimensional]
- R: Quantidade de metano recuperado [GgCH_4/ano]

5 Emissões de Metano Provenientes de Resíduos no Brasil

5.1 Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos

5.1.1 Levantamento e coleta de dados

5.1.1.1 População urbana do Brasil (Pop_{urb})

A estimativa da população urbana do país representa a residente em domicílios classificados como particulares e permanentes nos termos do IBGE (1991).

A população para o ano de 1990 foi estimada a partir dos valores disponíveis dos censos nacionais de 1980 e 1991, com base em um crescimento médio geométrico anual, conforme a equação abaixo.

$$\text{Pop}_{90} = \text{Pop}_{91} \cdot (1 + i)^{(90-91)}$$

$$\text{Onde: } i = (\text{Pop}_{91} / \text{Pop}_{80})^{1/(91-80)} - 1$$

onde:

- Pop_{80} é a população (residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1980 (IBGE).
- Pop_{90} é a população estimada (residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1990, ainda a ser estabelecida;
- Pop_{91} é a população (residente em domicílios particulares e permanentes em áreas urbanas) no ano de 1991, dada pelo IBGE; e
- i é a taxa média geométrica para o incremento populacional anual.

Tabela 2 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos censos de 1980 e 1991, taxa média geométrica de incremento anual da população residente

População urbana em 1980	População urbana em 1991	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1980 e 1991	População urbana em 1990
80.436.409	110.990.990	0,0297	107.789.249

Fonte: IBGE.

e estimativa da população urbana em 1990

Utilizando as populações urbanas de 1991 e 1996 (FUNDAÇÃO IBGE, 1996) estimou-se a taxa geométrica de crescimento populacional urbano para este período e a população urbana dos anos de 1992 e 1993 e 1994.

Tabela 3 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes, dos

População urbana em 1991	População urbana em 1996	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1980 e 1991	População urbana		
			Pop ₉₂	Pop ₉₃	Pop ₉₄
P ₉₁	P ₉₆	i			
110.990.990	123.105.628	0,0209	113.314.572	115.686.797	118.108.685

Fonte: IBGE.

censos de 1991 e contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1992, 1993 e 1994

Tabela 4 – População urbana residente em domicílios particulares e permanentes distribuída

Estado	População urbana em 1991 por estado Pop ₉₁	População urbana em 1996 por estado Pop ₉₆	Taxa de crescimento populacional urbano anual entre os anos de 1991 e 1996	Estimativa da população urbana em 1994 por estado Pop ₉₄
Rondônia	659.327	762.864		
Acre	258.520	315.404	0,030	719.629
Amazonas	1.502.754	1.766.166	0,041	291.285
Roraima	140.818	174.277	0,033	1.655.671
Pará	2.596.388	2.949.017	0,044	160.032
Amapá	234.131	325.150	0,026	2.802.555
Tocantins	530.636	741.009	0,068	285.124
Maranhão	1.972.421	2.683.522	0,069	648.355
Piauí	1.367.184	1.556.115	0,064	2.372.591
Ceará	4.162.007	4.713.311	0,026	1.477.596
Rio Grande do Norte	1.669.267	1.843.486	0,025	4.484.528
Paraíba	2.052.066	2.263.949	0,020	1.771.716
Pernambuco	5.051.654	5.476.915	0,020	2.176.690
Alagoas	1.482.033	1.661.914	0,016	5.302.675
Sergipe	1.002.877	1.147.836	0,023	1.587.480
Bahia	7.016.770	7.826.843	0,027	1.087.494
Minas Gerais	11.786.893	13.074.245	0,022	7.492.157
Espírito Santo	1.924.588	2.176.006	0,021	12.543.239
Rio de Janeiro	12.199.641	12.806.488	0,025	2.071.720
São Paulo	29.314.861	31.769.219	0,010	12.560.208
Paraná	6.197.953	7.011.990	0,016	30.763.735
Santa Catarina	3.208.537	3.565.130	0,025	6.674.275
Rio Grande do Sul	6.996.542	7.628.936	0,021	3.417.968
Mato Grosso do Sul	1.485.110	1.604.318	0,017	7.369.394
Mato Grosso	1.414.447	1.695.548	0,016	1.555.528
Goiás	3.247.676	3.873.722	0,037	1.576.960
Distrito Federal	1.515.889	1.692.248	0,036	3.609.991
Brasil	110.990.990	123.105.628	0,022	1.619.367

Fonte: IBGE, 1996

por estados, dos censos de 1991 e contagem populacional de 1996, taxa média geométrica de incremento anual da população residente e estimativa da população urbana em 1994

5.1.1.2 Taxa de resíduos sólidos gerados por habitante (taxa RSD)

Na tabela a seguir é apresentado o resultado do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde - Prolixo (CETESB, 1992). Neste trabalho foi estimada a geração de lixo por habitante de acordo com o número de habitantes do município. Esses dados foram obtidos em um número elevado de municípios do Estado de São Paulo, o que confere credibilidade aos valores médios de geração de resíduos.

Até 100.000 hab.	0,4kg/hab./dia
De 100.001 a 500.000 hab.	0,5kg/hab./dia
De 500.001 a 1.000.000 hab.	0,6kg/hab./dia
Mais que 1.000.000 hab.	0,7kg/hab./dia

Fonte: CETESB, 1992

Tabela 5 – Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia

A partir destes dados e da população urbana dos municípios brasileiros como fator de

ponderação, obteve-se uma taxa de geração de RSD para o ano de 1994 igual a 0,5 kg/hab. dia. Esta foi a taxa utilizada neste relatório.

Estado	População urbana em 1994 por estado	Taxa de geração de resíduo (kg/hab./dia) b	Resíduo gerado (kg/dia) c = a * b	Resíduo gerado (t/ano) d = c * 365/1000
Rondônia		0,43	309.440	112.946
Acre	719.629	0,46	133.991	48.907
Amazonas	291.285	0,60	993.403	362.592
Roraima	1.655.671	0,49	78.416	28.622
Pará	160.032	0,47	1.317.201	480.778
Amapá	2.802.555	0,46	131.157	47.872
Tocantins	285.124	0,40	259.342	94.660
Maranhão	648.355	0,46	1.091.392	398.358
Piauí	2.372.591	0,49	724.022	264.268
Ceará	1.477.596	0,54	2.421.645	883.901
Rio Grande do Norte	4.484.528	0,48	850.424	310.405
Paraíba	1.771.716	0,46	1.001.277	365.466
Pernambuco	2.176.690	0,50	2.651.338	967.738
Alagoas	5.302.675	0,49	777.865	283.921
Sergipe	1.587.480	0,44	478.497	174.652
Bahia	1.087.494	0,50	3.746.079	1.367.319
Minas Gerais	7.492.157	0,47	5.895.322	2.151.793
Espírito Santo	12.543.239	0,46	952.991	347.842
Rio de Janeiro	2.071.720	0,59	7.410.523	2.704.841
São Paulo	12.560.208	0,54	16.612.417	6.063.532
Paraná	30.763.735	0,49	3.270.395	1.193.694
Santa Catarina	6.674.275	0,44	1.503.906	548.926
Rio Grande do Sul	3.417.968	0,48	3.537.309	1.291.118
Mato Grosso do Sul	7.369.394	0,48	746.653	272.528
Mato Grosso	1.555.528	0,44	693.862	253.260
Goiás	1.576.960	0,47	1.696.696	619.294
Distrito Federal	3.609.991	0,70	1.133.557	413.748
Brasil	1.619.367	0,50	059.054.343	21.554.835

Tabela 6 – Estimativa de geração de lixo no ano de 1994, baseada na população urbana e na taxa média de geração de resíduos da CETESB

Mais recentemente, estes valores de taxas de geração de resíduos vêm sendo revistos. Como

exemplo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com 16,4 milhões de habitantes

Cidades	kg lixo/habitante/dia
São Paulo	0,964384
Washington	3,413699
Bangkok	0,879452
Quito	0,769863
Abidjan	0,547945

WRI, 1996

em 1995, tem uma geração de resíduos estimada em 0,96 kg/hab.dia, (WRI, 1996).

Tabela 7 – Comparação da geração de lixo por habitante em algumas cidades

O IPCC sugere para a taxa de disposição de resíduos no Brasil o valor de 1,47 kg/hab.dia. Por outro lado, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, no ano de 1989, foram coletados cerca de 242 mil t/dia de resíduos sólidos para uma população urbana de 108 milhões de habitantes (IBGE, 1992), o que dá aproximadamente 2,2 kg/hab.dia coletados, valor este quatro vezes superior à estimativa da CETESB.

Ainda segundo a Contagem Populacional (IBGE, 1996), aproximadamente 15% da população urbana de todo o Brasil não tem seus resíduos coletados, o que indica que, se no Brasil são coletados 2,2 kg/hab.dia, conseqüentemente são gerados 2,6 kg/hab.dia. O mesmo trabalho indica que, no estado de São Paulo, 99% da população urbana é atendida por serviços de coleta de lixo, o que faz com que a quantidade de lixo gerado seja praticamente

Fonte	Quantidade gerada (kg/hab./dia)	Quantidade coletada (kg/hab./dia)
CETESB	0,5	0,5
IPCC	n. d.	1,47
IBGE	2,6	2,2

n. d. = não disponível

igual à quantidade coletada.

Tabela 8 – Resumo das estimativas de geração e coleta de resíduos sólidos domésticos (RSD)

Estes dados são bastante divergentes. Para se avaliar qual desses fatores se aproxima mais da realidade, é feito a seguir um estudo comparativo:

Comparando-se as quantidades declaradas de resíduos coletados pelas prefeituras com as quantidades estimadas pela CETESB, nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo (Tabela 9), observa-se que as quantidades declaradas pelas prefeituras são, em média, 1,5 vezes maiores que as quantidades estimadas pela CETESB. Observa-se, também, que a população estimada pela prefeitura de cada município é sempre superior à contada pelo

Município da RMSP #	População do Censo de 1991 em habitantes (IBGE) a	População estimada pelas prefeituras em 1991 em habitantes b	Razão entre as populações estimadas e do Censo $c = b/a$	Resíduos coletados em toneladas ao dia e
1	776.404	1.000.000	1,3	500
2	615.112	800.000	1,4	500
3	566.948	800.000	1,6	500
4	554.925	900.000	1,0	540
5	305.068	320.000	1,3	215
6	294.631	380.000	1,8	230
7	283.653	500.000	1,3	220
8	246.948	320.000	1,3	140
9	164.665	220.000	1,3	85
10	159.894	200.000	1,4	135
11	155.851	220.000	1,2	118
12	152.312	180.000	2,1	100
13	146.203	300.000	1,8	175
14	130.383	240.000	2,1	250
15	107.983	230.000	1,2	100
16	106.822	130.000	1,4	70
17	94.772	130.000	1,4	50
18	85.035	120.000	1,2	50
19	83.511	100.000	2,2	38
20	83.361	180.000	1,3	45
21	79.534	100.000	1,6	60
22	75.587	120.000	1,9	45
23	62.573	120.000	1,9	85
24	37.731	70.000	1,6	22
25	37.582	60.000	1,7	40
26	35.010	60.000	2,0	24
27	34.264	70.000	1,8	50
28	33.931	60.000	1,7	35
29	31.969	55.000	1,2	25
30	29.848	35.000	2,1	15
31	28.248	60.000	1,3	33
32	19.866	25.000	2,2	11
33	15.840	35.000	2,0	25
34	14.752	30.000	1,4	15
35	14.210	20.000	1,8	6
36	7.966	14.000	1,6	5
37	7.319	12.000	3,3	5
38	6.708	22.000		5

Continua

Continuação da Tabela 9

Município da RMSP	Razão entre as estimativas	Resíduos por habitante ao dia (CETESB)	Resíduos por habitante ao dia (Prefeitura)	Razão entre as taxas de geração Prefeituras/CETESB
#	$f = e/d$	$g=d/a*1000$	$h=e/b*1000$	$i = h/g$
1	1,1	0,6	0,5	0,8
2	1,4	0,6	0,6	1,0
3	1,5	0,6	0,6	1,0
4	1,6	0,6	0,6	1,0
5	1,4	0,5	0,7	1,3
6	1,6	0,5	0,6	1,2
7	1,6	0,5	0,4	0,9
8	1,1	0,5	0,4	0,9
9	1,0	0,5	0,4	0,8
10	1,7	0,5	0,7	1,4
11	1,5	0,5	0,5	1,1
12	1,3	0,5	0,6	1,1
13	2,3	0,5	0,6	1,1
14	3,8	0,5	1,0	2,1
15	1,9	0,5	0,4	0,9
16	1,3	0,5	0,5	1,1
17	1,3	0,4	0,4	1,0
18	1,5	0,4	0,4	1,0
19	1,1	0,4	0,4	1,0
20	1,3	0,4	0,3	0,6
21	1,9	0,4	0,6	1,5
22	1,5	0,4	0,4	0,9
23	3,4	0,4	0,7	1,8
24	1,5	0,4	0,3	0,8
25	2,7	0,4	0,7	1,7
26	1,7	0,4	0,4	1,0
27	3,6	0,4	0,7	1,8
28	2,6	0,4	0,6	1,5
29	2,0	0,4	0,5	1,1
30	1,3	0,4	0,4	1,1
31	2,9	0,4	0,6	1,4
32	1,4	0,4	0,4	1,1
33	3,9	0,4	0,7	1,8
34	2,5	0,4	0,5	1,3
35	1,1	0,4	0,3	0,7
36	1,6	0,4	0,4	0,9
37	1,7	0,4	0,4	1,0
38	1,9	0,4	0,2	0,6

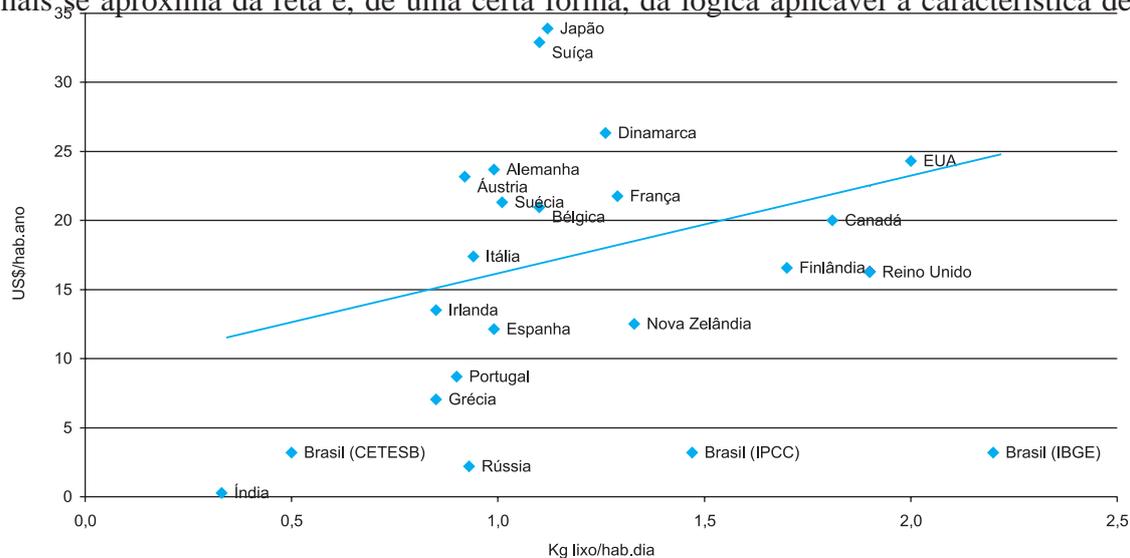
Fonte: Setor de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde (ERTR) da CETESB, 1997.

censo do IBGE, o que eleva de 5,7 para 8,2 milhões a população desses 38 municípios.

Tabela 9 – Quadro comparativo dos 38 municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo

Quando a consulta é feita ao município, a tendência é obter valores maiores do que os dados levantados pela CETESB, que se baseia nas informações de população do IBGE. Pode-se supor que isso se deve à política de distribuição de verbas do Governo, que leva em conta a população atendida pelas prefeituras; quanto maior a população e a geração de resíduos, maiores os recursos a elas destinados.

A Figura 1 compara os valores de taxa de geração de resíduos entre países com diferentes rendas *per capita*. Os dados do Brasil (IBGE, 1992; IPCC, 1996; e CETESB, 1992), não foram incluídos no tratamento estatístico traduzido pela reta que representa a regressão linear. A correlação obtida, excluídos os valores para o Brasil, é fraca ($r = 0,15$). Mesmo assim, pode-se notar que o valor de geração de RSD para o Brasil da CETESB é o que mais se aproxima da reta e, de uma certa forma, da lógica aplicável à característica de



Fontes: IBGE, 1989, IPCC, 1996 (geração de resíduos per capita) e WRI, 1996 (renda per capita)

cada um desses países, no que concerne o grau de desenvolvimento e a taxa de geração de resíduos.

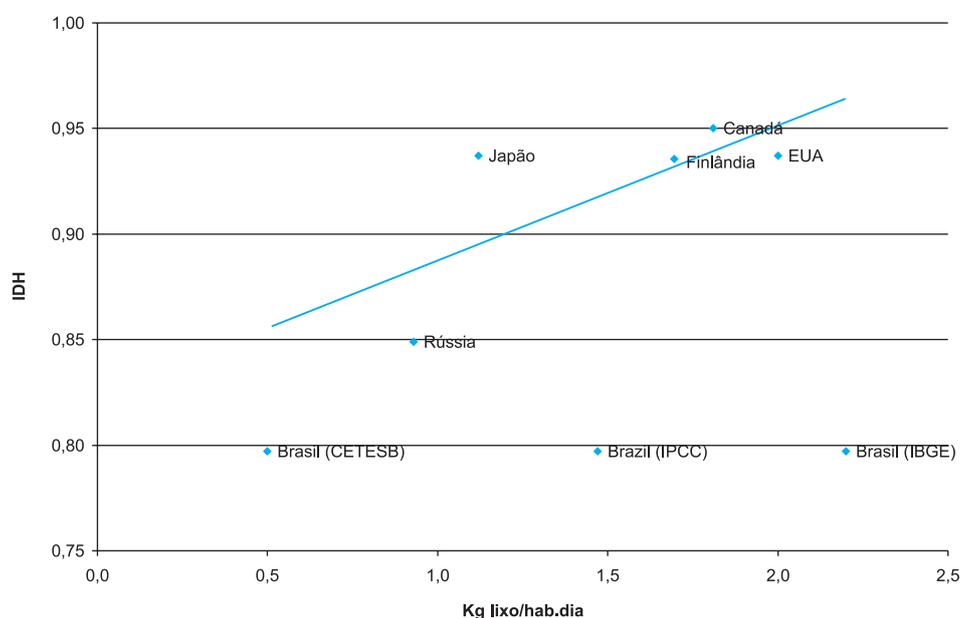
Figura 1 – Relação entre renda *per capita* e geração de RSD por países

Países como Japão, Suíça, Dinamarca, EUA, Canadá e Reino Unido, com altas rendas *per capita*, apresentam maiores taxas de geração de RSD por habitante, ou seja, tendem a localizar-se na extremidade alta e à direita do gráfico, enquanto que países como Brasil

(CETESB), Índia, Grécia e Rússia, com menores rendas *per capita*, apresentam menores taxas de geração de RSD por habitante (tendem à extremidade baixa e à esquerda do gráfico). Os valores apresentados pelo IPCC e IBGE para o Brasil afastam-se desta tendência. O valor gerado pela CETESB, comparado aos demais, acompanha melhor a tendência geral.

Mesmo sem o emprego de programas visando a redução de geração de resíduos, já praticados em países desenvolvidos, não é razoável supor que no Brasil, com uma renda *per capita* de US\$ 3,2 mil ao ano, oito vezes inferior à renda americana e canadense, se observe uma geração de resíduos por habitante ao dia equivalente à geração observada nestes países.

Da mesma maneira, pode-se comparar valores de taxa de geração de resíduos entre países com diferentes valores do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Figura 2). A



Fontes: IBGE, 1989, IPCC, 1996 (geração de resíduos per capita) e PNUD, 1997 (IDH)

Obs: O IDH leva em conta três características básicas da população (PNUD/IPEA, 1996):

- ◆ Longevidade;
- ◆ Conhecimento; e
- ◆ Padrão de vida.

correlação é um tanto mais forte ($r=0,52$, excluído o Brasil).

Figura 2 – Relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e geração de RSD,

por país

Portanto a estimativa de geração de resíduos para o Brasil feita pela CETESB é a que mais se adequa à tendência geral, acreditando-se em um erro da ordem de 10%.

5.1.1.3 Fração de resíduos sólidos depositados em aterros ou lixões (RSD_F)

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, a fração de resíduos sólidos domésticos depositada em aterros ou lixões (RSD_F) é de 97,9% (Tabela 10)(IBGE, 1992). Dados mais recentes da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios - PNAD (IBGE, 1996) indicam que a população atendida por serviços de coleta de lixo é de 85%. Supõe-se que o primeiro valor esteja superestimado, pois a PNSB é realizada junto às prefeituras e empresas de saneamento, abrangendo um universo restrito. Por outro lado, a PNAD,

Quantidade de resíduos coletados (PNSB-1989) - (t/dia)										
Total	Vazadouro		Aterro			Outros	%			
	A céu aberto	Em áreas alagadas	Controlado	Sanitário	Resíduos especiais		Fração a céu aberto	Fração alagada	Fração aterrada	Outros
241.614	182.190	1.588	30.082	22.456	107	5.191	75,4	0,7	21,8	2,1

Fonte: IBGE, 1992

que é realizada em domicílios, abrange uma amostra que reflete mais adequadamente a realidade do país.

Tabela 10 – Destinos dos resíduos sólidos

Da tabela anterior, observa-se que os valores estão superestimados, e que também não estão diferenciados os resíduos sólidos urbanos dos rurais.

O valor de RSD utilizado neste relatório foi o de 85% baseado nos dados mais recentes da PNAD (IBGE, 1996). Acredita-se em um erro da ordem de 10%.

5.1.1.4 Fator de correção de metano (FCM)

LDRS	

Fonte: IPCC, 1996

O IPCC recomenda valores de FCM de acordo com a profundidade do local de disposição de resíduos sólidos (LDRS) (Tabela 11).

Tabela 11 – FCM recomendado pelo IPCC

Foi utilizado o valor “default” do IPCC para locais sem classificação, igual a 60%, por não estarem disponíveis na literatura dados de profundidade dos locais de disposição dos resíduos sólidos no Brasil.

A CETESB avalia, no estado de São Paulo, os sistemas de disposição de resíduos sólidos através do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR). De fato, no estado de São Paulo, o IQR mostra que as condições gerais dos locais de disposição de resíduos sólidos são precárias.

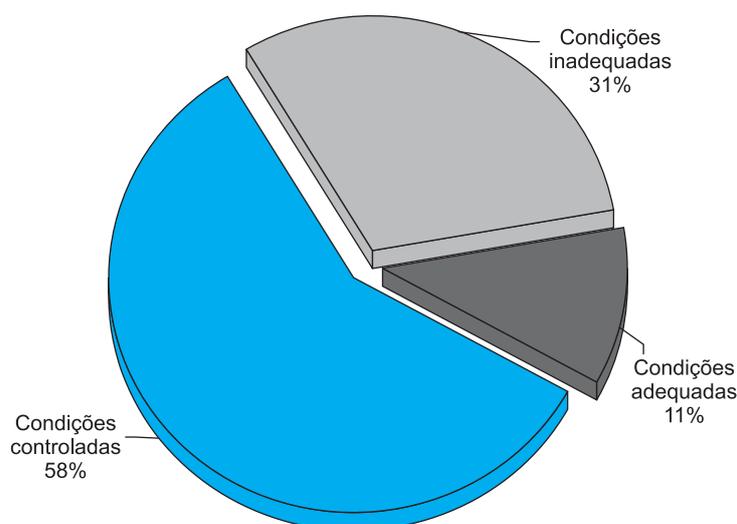
IQR	Classificação
$0 \leq \text{índice} < 6,0$	Condições inadequadas
$6,0 \leq \text{índice} < 8,0$	Condições controladas
$8,0 \leq \text{índice} < 10,0$	Condições adequadas

Fonte: DOESP, 1998

O IQR considera 41 variáveis que englobam três aspectos básicos: localização, infraestrutura e condições operacionais.

Tabela 12 – Índice de qualidade de aterros de resíduos

A figura abaixo, relativa à disposição dos resíduos sólidos no estado de São Paulo, mostra



Fonte: DOESP, 1998

que apenas 11% estão dispostos de maneira adequada.

Figura 3 – Situação da disposição dos resíduos sólidos domiciliares no estado de São Paulo

5.1.1.5 Carbono orgânico degradável (COD)

O valor do carbono orgânico degradável (COD) utilizado neste relatório foi o sugerido pelo IPCC, igual a 12%. Este valor refere-se a uma composição de resíduos que não leva em conta informações de hábitos do Brasil.

Os dados de composição de resíduos nas diferentes cidades brasileiras são escassos e trazem pouca contribuição ao levantamento das emissões de metano. Uma estimativa, feita através de amostragem dos resíduos de algumas cidades representativas do perfil nacional, daria uma melhor idéia desse valor.

Preliminarmente, pode ser feita uma estimativa do COD, a ser utilizado para o Brasil, a partir de alguns dados disponíveis, mesmo não utilizando seu resultado neste relatório. Esta estimativa, cujo cálculo está detalhado a seguir, indica que o COD estaria entre 17,8 e 28,4%, o que sugere que o valor do IPCC deva ser melhor estudado.

Tipo de resíduo	Porcentagem de COD
A Papel e têxteis	40
B Resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis (não alimentos)	17
C Resíduos de alimentos	15
D Resíduos de madeira e palha	30

Fonte: Bingemer e Crutzen, 1987 citado no IPCC, 1996

Esta estimativa é feita a partir dos valores do IPCC (1996) para as porcentagens de COD nos resíduos, conforme a tabela abaixo:

Tabela 13 – Valores de porcentagem de carbono orgânico para os principais tipos de

resíduos

Tipo de resí-	São Paulo	Salva-	Belo Hori-	São Carlos	Salti-	Guaratin-
	1,10			1,40		
	3,24			5,40		
	12,08			8,50		
	14,43			21,30		
	69,15			63,40		

Fonte: USEPA, 1997

“Outros” é a soma de “matéria orgânica”, “trapos” e “outros”

Fez-se uma amostragem da composição dos resíduos de algumas cidades brasileiras, para estabelecer um valor que sirva como subsídio a um levantamento posterior.

Tabela 14 – Composição média do RSD em alguns municípios do Brasil

As classificações das duas tabelas anteriores não são compatíveis. A categoria “outros” na Tabela 14 pode englobar também inertes não-orgânicos, como produtos de varrição doméstica.

A porcentagem de COD seria calculada através da seguinte equação, sugerida pelo IPCC:

$$\text{Porcentagem de COD (por peso)} = 0,40 \cdot (A) + 0,17 \cdot (B) + 0,15 \cdot (C) + 0,30 \cdot (D)$$

Devido à dificuldade em se discriminar a composição orgânica da categoria “outros” da Tabela 14, esta categoria englobaria resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis não alimentos (B), resíduos de alimentos (C) e resíduos de madeira e palha (D). A equação acima teria de ser tratada por uma faixa, dentro dos limites (15-30%), sugerida da seguinte forma:

$$\text{Porcentagem de COD (por peso)} = 0,4 \cdot (A) + (0,15 \text{ a } 0,30) \cdot (B + C + D)$$

Tipo de resíduo	% de COD a	São Paulo		Salvador		Belo Horizonte	
		% de resíduo b	c = a * b/100	% de resíduo d	e = a * d/100	% de resíduo f	g = a * f/100
A	40	14,4	5,8	19,0	7,6	16,8	6,7
B+C+D		69,2		62,0		76,0	
Min	15		10,4		9,3		11,4
Max	30		20,8		18,6		22,4

Continuação da Tabela 15

São Carlos		Saltinho		Guaratinguetá		Média	
% de resíduo h	i = a * h/100	% de resíduo j	l = a * j/100	% de resíduo m	n = a * m/100	o = (c+e+g+i+l+n) / 6	
21,3	8,5	3,1	1,2	33,4	13,4	7,2	
63,4		92,6		60,5			
	9,5		13,9		9,1	10,6	
	19,0		27,8		18,2	21,2	
Soma							
						Min	17,8
						Max	28,4

A Papel e têxteis

B Resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis (não alimentos)

C Resíduos de alimentos

D Resíduos de madeira e palha

Fonte: USEPA, 1995

Cruzando os valores das Tabelas 13 e 14 na Tabela 15, estimam-se os valores de COD dos resíduos sólidos domésticos (RSD) para as cidades conhecidas. A média aritmética dessas porcentagens varia entre 17,8 e 28,4%, contra os 12% recomendados pelo IPCC.

Tabela 15 – Estimativa do Carbono Orgânico Degradável dos Resíduos Sólidos Urbanos

para algumas cidades

Aterro	Local	Composição percentual do resíduo					Conteúdo de matéria orgânica estimado (%)
		Residencial e comercial	Industrial	Construção e demolição	Varição	Outros	
Bandeirantes	São Paulo	75	n. d.	10	7	8	55
Biguaçu	Florianópolis	95	n. d.	n. d.	5	n. d.	60
Caximba	Curitiba	80	n. d.	20	n. d.	n. d.	65
Goiânia	Goiânia	90	n. d.	n. d.	10	n. d.	alto
Joinville	Joinville	70	20	n. d.	6	4	50 - 60
Lara	Mauá	72	n. d.	5	8	15	65
Zona Norte	Porto Alegre	66	1,5	1,5	26	5	60

Fonte: USAID, 1997

Um outro estudo, resumido na Tabela 16, mostra a origem dos resíduos de alguns aterros. Nesta, pode-se observar que aproximadamente 80% dos resíduos destinados aos aterros têm origem doméstica e que, apesar de não ser definida a sua composição, sabe-se que esses resíduos contêm aproximadamente 60% de matéria orgânica.

Tabela 16 – Origem e conteúdo de matéria orgânica dos resíduos dispostos em alguns aterros do Brasil

5.1.1.6 Fração de carbono orgânico degradável que realmente degrada (COD_F)

Não se encontra disponível no Brasil estudo semelhante ao realizado por Bingemer e Crutzen (citado no IPCC, 1996). Portanto, o valor utilizado para COD_F neste inventário é 77%, como recomenda o IPCC (1996).

5.1.1.7 Fração de metano no gás de aterro (F)

Aterro	% CH ₄ no biogás	Aterro	% CH ₄ no biogás
Vila Albertina	0,0	Bandeirantes	15,0
	60,3		59,2
	65,2		53,5
	60,1		64,7
	58,9		24,6
	43,2		39,7
	61,1		60,2
	60,9		59,9
	60,7		26,3
	58,6		59,5
	60,5		
	61,1	São João	62,6
	61,7		61,7
	61,7		60,9
	43,8		60,0
	48,8		54,8
	56,5		8,4
	58,0		60,9
	51,4		
	45,3	Sapopemba	4,7
	25,7		
	57,0	São Mateus	0,7
	40,3		
	48,6	Santo Amaro	50,0
	20,9		2,2
	57,7		64,0
	58,4		59,9
	59,8		64,3
	55,0		
	60,0		
	58,1		
	57,2		
	59,1		

Fonte: USEPA, 1997

O IPCC recomenda que se considere a fração de metano no gás de aterro igual a 50%.

Uma amostra de dados de composição de gás de aterro da região metropolitana da cidade de São Paulo é apresentada na tabela a seguir e confirma o valor utilizado para a concentração

dos gases de aterro no Brasil.

Tabela 17 – Concentrações percentuais de metano em amostras de gás de aterro na Região Metropolitana de São Paulo

Uma média aritmética dessa amostra resulta em uma concentração média de metano igual a 49,4%. A principal conclusão que tiramos é que o valor sugerido pelo IPCC (1996) está de acordo com esta realidade. Todavia, esta é uma amostra selecionada de aterros com potencial para recuperação energética do metano. Talvez outros aterros não apresentem um potencial semelhante. Acredita-se num erro da ordem de 10%.

5.1.1.8 Metano recuperado (R)

A quantidade de metano recuperada ou queimada (R) é considerada insignificante.

Não se dispõe de dados a respeito da recuperação de metano nos aterros do Brasil. Pode-se afirmar, contudo, que é baixa a quantidade relativa de aterros onde isso é possível.

Alguns estudos recentes (USAID, 1997 e USEPA,1997) investigaram a possibilidade de recuperação dos gases de aterro nas grandes cidades brasileiras.

De qualquer modo, não são conhecidos valores de quantidades recuperadas e sabe-se que qualquer recuperação, se houver, é insignificante.

5.1.2 Método de cálculo de resultados

Módulo		Resíduos			
Submódulo		Quantidade de RSD depositada em aterros e lixões municipais, usando dados do Brasil			
Planilha		6.1A (suplementar)			
Ano	a População que tem seus resíduos sólidos coletados (população urbana)	b Taxa de geração de RSD (kg / habitante.dia)	c $= (a * b * 365)/10^6$ Quantidade anual de RSD gerado (Gg RSD)	d Fração de RSD depositada em aterros ou lixões	e = c * d Total anual de RSD depositado em aterros ou lixões (Gg RSD)
1990	107.789.249	0,5	19.672	0,85	16.721
1991	110.990.990	0,5	20.256	0,85	17.217
1992	113.314.572	0,5	20.680	0,85	17.578
1993	115.686.797	0,5	21.113	0,85	17.946
1994	118.108.685	0,5	21.555	0,85	

Observação: A planilha 6.1B (suplementar) do IPCC não é aplicável ao inventário brasileiro de emissões de metano pela disposição de resíduos sólidos.

As tabelas e explicações a seguir apresentam os resultados obtidos pela aplicação das metodologias descritas. A numeração das planilhas segue a definida nos manuais do

Módulo		Resíduos	
Submódulo		Fator de correção de metano	
Planilha		6.1C (suplementar)	
Folha		1de 1	
Tipo de local de disposição de resíduos sólidos (LDRS)	w Proporção de resíduos (por massa) para cada LDRS	x Fator de correção de metano (FCM)	y = w * x FCM médio proporcional à massa por cada tipo de LDRS
Aterro	-	1,0	-
Lixão - profundidade (>5m lixo)	-	0,8	-
Lixão - profundidade (≤5m lixo)	-	0,4	-
Lixão	100,0%	0,6	0,60
Total	100,0%		0,60

IPCC.

Pela metodologia do IPCC (1996), as emissões líquidas de metano por resíduos sólidos

Módulo		Resíduos					
Submódulo		Emissões de metano pela disposição de resíduos sólidos					
Planilha		6.1					
Folha		1 de 1					
Ano	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3				
	a	b	c	d	e	f	
	Total anual de RSD depositado em LDRS (Gg RSD) Da planilha 6.1A	Fator de correção de metano (FCM) Da planilha 6.1C	Fração de COD no RSD	Fração de COD que realmente degrada	Fração de carbono gerado como metano	Taxa de conversão 16/12	
1990	16.721	60%	0,12	0,77	0,5	1,3333	
1991	17.217	60%	0,12	0,77	0,5	1,3333	
1992	17.578	60%	0,12	0,77	0,5	1,3333	
1993	17.946	60%	0,12	0,77	0,5	1,3333	
1994	18.322	60%	0,12	0,77	0,5	1,3333	

Continuação da Tabela 20

				Etapa 4		
$g = c * d * e * f$	$h = b * g$	$i = h * a$	j	$k = i - j$	l	$m = k * l$
Taxa de geração potencial de metano por unidade de resíduo (Gg CH ₄ / Gg RSD)	Taxa de geração (específica do país) de metano por unidade de resíduo (Gg CH ₄ / Gg RSD)	Geração anual de metano (Gg CH ₄)	Metano recuperado por ano (Gg CH ₄)	Geração anual líquida de metano	Um menos o fator de correção de metano (1-FCM)	Emissão líquida de metano (Gg CH ₄)
0,062						
0,062	0,03696	618,01	0		1	618,01
0,062	0,03696	636,34	0		1	636,34
0,062	0,03696	649,68	0		1	649,68
0,062	0,03696	663,28	0		1	663,28
	0,03696	677,18	0		1	677,18

no Brasil, para os anos de 1990, 1991, 1992, 1993 e 1994, são, respectivamente, 618,01; 636,34; 649,68; 663,28 e 677,18 Gg por ano, conforme tabelas a seguir.

Tabela 18 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1A suplementar do IPCC)

Tabela 19 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1C suplementar do IPCC)

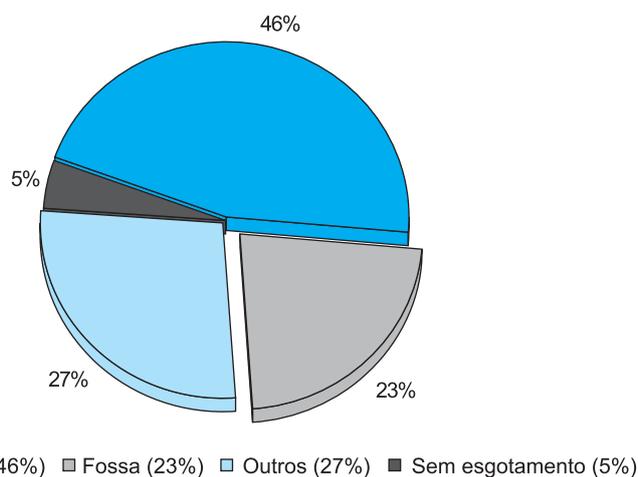
Tabela 20 – Emissões de metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.1 do IPCC)

5.2 Emissões de metano oriundas do tratamento de águas residuárias

De acordo com a classificação sugerida pelo IPCC, os efluentes líquidos dividem-se pela sua origem em duas classes: esgotos domésticos e efluentes industriais. Na categoria dos domésticos estão incluídos os comerciais.

5.2.1 Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais

5.2.1.1 Considerações sobre as condições sanitárias no Brasil



Fonte: IBGE, 1996

O que se observa no Brasil é a precariedade nos serviços de saneamento. Os escassos serviços limitam-se a coletar os esgotos domésticos e comerciais, despejando-os em rios, lagos ou região costeira.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (IBGE, 1996), dos esgotos domésticos urbanos gerados no país, 5% não têm nenhum tipo de coleta, enquanto que 23% destinam-se a fossas sépticas e outros 46% são esgotados por rede coletora.

Figura 4 – População atendida por serviços de esgotamento no Brasil

Cumpra observar que a existência de rede coletora não implica tratamento adequado dos esgotos.

A categoria “fossa séptica” também merece comentários. Ao se recensear o sistema de tratamento de um domicílio, muitas vezes o morador, temendo uma autuação, descreve uma fossa negra como séptica. Problemas construtivos e de manutenção, também comprometem o conceito de fossas como um sistema eficiente de tratamento de esgotos domésticos ou ainda como um gerador de metano puramente anaeróbio.

Tomando como referência dados do censo de 1991 (IBGE) e da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 1989, temos ainda que cerca de 9,4 milhões de residências são atendidas por esgotamento sanitário (coleta). Considerando que, em 1991, cada residência urbana tinha em média 4,06 habitantes, temos aproximadamente 38,2 milhões de habitantes em área urbana atendidos por esgotamento sanitário em um universo de 111,0 milhões de habitantes, ou seja, 34,7% da população. Isto está em desacordo com a informação acima, de 46%, do IBGE (1996).

A tabela a seguir mostra que, dentre as capitais do país, apenas 19,9% dos esgotos coletados são submetidos a algum tipo de tratamento. Destes processos, poucos têm alguma probabilidade de serem significativamente anaeróbios para efeito de geração de metano.

	Total coletado	Total tratado	Tipo de tratamento						
			ETE	Tratamento preliminar	Tratamento primário	Lagoa de estabilização	Lagoa aerada	Valor de oxidação	Outros
Fração correspondente (%)	100,0	19,9	8,6	1,8	0,2	3,9	0,4	0,4	4,4
Volume total de esgotos por dia (m ³)	10.667.823	2.124.925	921.302	195.952	25.345	420.387	45.014	47.088	469.837

Fonte: IBGE, 1989

Reatores anaeróbios, tanques Imhoff, lagoas anaeróbias e lagoas facultativas são algumas das tecnologias empregadas no tratamento de esgotos domésticos com geração residual de metano.

A classificação do IBGE não permite distinguir entre tratamentos anaeróbio e aeróbio. Sabe-se que a categoria dos anaeróbios está representada parcialmente nos universos

abrangidos por “ETE”, “lagoa de estabilização” e “outros”.

Tabela 21 – Quantidade de esgotos coletados e tratados no Brasil

Deve-se notar que, do total de esgotos coletados, apenas 19,9% sofrem algum tipo de tratamento e que os demais 80,1% são lançados diretamente nos rios, lagos e região costeira.

É claro que a degradação dos esgotos lançados em rios, lagos e região costeira pode ocorrer anaerobiamente. Para tal consideração, não há ainda metodologia conhecida que leve em conta este fator.

5.2.1.2 Levantamento e coleta de dados

5.2.1.2.1 População urbana do Brasil (Pop_{urb})

As considerações sobre a estimativa da população urbana do Brasil estão no item sobre as emissões pelos resíduos sólidos domésticos.

5.2.1.2.2 Taxa de Geração de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

A geração de carga orgânica para a população do Brasil (FEACHEM, 1983) equivale a 0,050 kg DBO_5 /habitante/dia ou 0,0183 Gg DBO_5 /1000 habitantes/ano.

5.2.1.2.3 Produto da fração de esgotos tratada (FET) x fator de correção de metano (FCM)

Por não existir no Brasil um trabalho que estime a fração dos esgotos tratada (FET) nem o fator de correção de metano (FCM), o inventário elaborado pela CETESB considerou as estimativas sugeridas pelo IPCC.

Preliminarmente pode ser feita uma estimativa da situação do tratamento dos esgotos no Brasil, gerando uma estimativa que corresponde ao produto FET x FCM.

A conclusão a que se chega é que uma quantidade baixa dos esgotos é tratada, que a fração de degradação anaeróbia é proporcionalmente baixa e que o produto FET x FCM deve corresponder a 8,3%, como é mostrado neste relatório, próximo aos 8% que propõe o IPCC (8% a 10%).

Total da população cujos esgotos são tratados anaerobiamente

a) Fossas sépticas

O IBGE classifica estes sistemas em individuais (para um único domicílio) e coletivos. A experiência acumulada pela CETESB em estudos de sistemas de fossas sépticas, principalmente no litoral paulista (CETESB, 1989), chegou às seguintes conclusões:

Entre a população usuária há pouco conhecimento de fossas. Em extensivas pesquisas domiciliares, ao se perguntar qual era o sistema de tratamento de esgotos existente no domicílio, obtiveram-se muitas das respostas do tipo ‘Fossa séptica’. Estas, ao serem inspecionadas para uma confirmação da informação prestada, muitas vezes correspondiam às fossas negras, simples buracos escavados no terreno, sujeitos a maiores interferências de flutuações do lençol freático e a uma maior infiltração descontrolada dos esgotos gerados nas áreas adjacentes.

Uma outra ocorrência, extremamente comum também, era a existência de sistemas mal dimensionados ou mal construídos. Pequenos tanques de concreto são vendidos no comércio como fossas pré-moldadas. Boa parte delas estão em desacordo com as dimensões preconizadas pela ABNT(1997), ou seja, atendem a uma população maior do que aquela para a qual teria sido dimensionada.

Outro fato constante são falhas construtivas. A falta de anteparos na entrada e saída do sistema provoca curto-circuitos no fluxo interno da fossa, o que transforma o sistema em uma simples ‘caixa de passagem’, não havendo tempo suficiente (mínimo de 24h) para a digestão anaeróbia dos detritos.

Infiltrações do lençol freático, principalmente em época de chuvas, e vazamentos de sistemas não estanques também afetam o desempenho das fossas. Além disso, em locais de veraneio, onde a população aumenta consideravelmente em feriados curtos, o sistema que permanece parado durante a maior parte do tempo, é posto em funcionamento para atender a populações até dez vezes superiores à planejada, resultando que o processo anaeróbio, baseado em uma relativa constância, não consegue absorver tais flutuações.

A manutenção das fossas sépticas consiste na retirada parcial periódica do seu conteúdo; a falta de manutenção da fossa ou a sua manutenção incorreta comprometem o seu desempenho.

Em 1991, a CETESB constatou que, em um loteamento de classe média alta, em Ubatuba, litoral do estado de São Paulo, 98% dos sistemas eram inadequados, ou seja, quase nenhuma

População urbana em 1994 atendida por fossas (IBGE, 1996) (habitantes) (a)	26.904.953
Eficiência final das fossas (b)	25%
População urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobicamente (habitantes equivalentes) (c) = (a) * (b)	6.726.238

fossa declarada como séptica funcionavam plenamente como tal.

Uma fossa séptica ideal remove aproximadamente 50% da carga orgânica de entrada. Levando-se em conta o exposto acima, de uma maneira extremamente conservadora pode-se considerar 50% do desempenho ideal comprometido, chegando-se portanto a uma eficiência final de 25%.

Para determinar a fração de esgotos tratada anaerobiamente, definimos, a seguir, a maneira de avaliar essa estimativa:

Tabela 22 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por fossas

b) Lagoas

Os sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, apresentados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 1992), englobam:

- os completamente anaeróbios (lagoas anaeróbias);
- os completamente aeróbios (lagoas de maturação e aeradas) e
- os seus intermediários (denominados lagoas facultativas).

As lagoas anaeróbias, em geral, precedem uma ou mais lagoas facultativas e de maturação. Este é o chamado sistema “australiano”. Neste, os tempos de retenção hidráulica estão situados, para efeito de dimensionamento, numa razão anaeróbio/facultativo da ordem de 5:20. Assim, cerca de 20% do volume destas lagoas sofre completa degradação anaeróbia.

Quando não são utilizadas lagoas em série anaeróbia-facultativa, adota-se uma única lagoa de estabilização, dentro da qual há simultaneamente atividades bacterianas aeróbia e anaeróbia.

O IBGE, na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE,1992), utiliza apenas a denominação “lagos de estabilização” para todas as categorias de lagoas.

Nesta estimativa, as lagoas de estabilização são consideradas desmembradas em lagoas equivalentes: anaeróbia e facultativa com a mesma razão de 20%, em termos de volume.

Para efeito de dimensionamento, a ABNT estima que cada habitante produz entre 100 e 160 litros de efluentes domésticos, para padrões baixo e alto de renda, respectivamente. Com efeito, a CETESB, em experiência piloto realizada no estado de São Paulo, comprovou

Volume de esgotos tratados por lagoas em 1989 (IBGE, 1989) (mil m ³ /dia)(a)	420,39
Volume de esgotos gerados por habitante ao dia (m ³ /hab.dia) (b)	0,1
Fração de esgotos tratada anaerobiamente nas lagoas (c)	20%
Taxa de crescimento populacional do período 1989-1994 (d)	7%
População urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente em lagoas (habitantes equivalentes) (e) = (a)*1000/(b)*(c)/100*(1+(d)/100)	899.635

que populações de baixa renda produzem, em média, 100 litros diários de esgotos por habitante.

Como as lagoas para tratamento de esgotos são sistemas que necessitam de grande quantidade de área, estas devem estar situadas em áreas onde o valor do terreno seja relativamente baixo. Dessa maneira, considera-se que a população atendida por esse tipo de sistema seja a de menor renda.

Diante dessas duas considerações anteriores, pode-se assumir que as populações que se utilizam de lagoas para o tratamento de esgotos tenham uma geração média de efluentes da ordem de 100 litros diários por habitante, permitindo o cálculo a seguir:

Tabela 23 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas

c) Reatores UASB, Imhoff, etc.

Habitantes equivalentes atendidos (100% anaerobiamente) por fossas (a)	6.726.238
Idem, por lagoas (b)	899.635
Idem, por reatores anaeróbios (c)	2.140.000
Habitantes equivalentes em 1994 (d) = (a) + (b) + (c)	9.765.866
Que, divididos pelo total de habitantes urbanos em 1994 (IBGE) (e)	118.059.650
é igual ao percentual dos efluentes urbanos digeridos anaerobiamente. (f) = (d) / (e) * 100	8,3%

A população atendida por estes tipos de sistemas não é conhecida.

Levantamentos feitos por Vieira (1994) mostram no Brasil um total aproximado de 2 milhões de habitantes atendidos por reatores UASB, o que equivale a 2,14 milhões, numa projeção para 1994. Os sistemas Imhoff estão embutidos no censo do IBGE, na categoria ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), o que impede sua separação dos demais tratamentos aeróbios, como os de lodos ativados. Sugere-se, para os próximos recenseamentos, um maior detalhamento.

d) Soma das parcelas de população equivalente cujos esgotos são tratados anaerobiamente

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		6.2			
Folha		1 de 3 - Estimativa de geração carga orgânica e lodo			
a	b	c	d	e = (b * c * (1 - d))	f = (b * c * d)
Ano	População Estimada	Valor da DBO ₅ (kg DBO ₅ / 1000 habitantes.ano)	Fração de matéria orgânica removida como lodo (%)	DBO anual (kg DBO ₅ / ano)	Total de lodo gerado (kg DBO ₅ / ano)
1990	107.789.249	18.250	0	1.967.153.794	0
1991	110.990.990	18.250	0	2.025.585.568	0
1992	113.314.572	18.250	0	2.067.990.939	0
1993	115.686.797	18.250	0	2.111.284.045	0
1994	118.108.685	18.250	0	2.155.483.501	0

Somando-se as parcelas obtidas acima, tem-se:

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		6.2			
Folha		2 de 3 - Estimativa do fator de emissão para os sistemas de tratamento de esgotos do Brasil			
a	b	c	d = b * c	e	f = d * e
Sistema de tratamento de esgotos	Fração de esgotos tratada por sistema (%)	Fração de conversão de metano do sistema (FCM) (%)	Produto	Capacidade máxima de produção de metano (kg CH ₄ / kg DBO ₅)	Fator de emissão de esgotos domésticos e comerciais (kg CH ₄ / kg DBO ₅)
Não especificado	10	80	0,08	0,25	0,020
		FCM agregado:	0,08	0,25	0,020

Tabela 24 – Estimativa da população urbana em 1994 cujos esgotos são totalmente digeridos anaerobiamente por lagoas

Módulo		Resíduos			
Sub-módulo		Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais			
Planilha		6.2			
Folha e		3 de 3 – Estimativa de Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos comerciais e do lodo			
Etapa 3					
Ano	a DBO anual (kg DBO ₅ / ano)	b Fator de emissão de esgotos domésticos e comerciais (kg CH ₄ / kg DBO ₅)	c = a * b Emissão de metano sem recuperação ou queima (kg CH ₄ / ano)	d Metano recuperado ou queimado (kg CH ₄ / ano)	e = (c - d) * 10 ⁻⁶ Emissões líquidas de metano (Gg CH ₄ /ano)
	Da folha 1 de 3	Da folha 2 de 3		0	39,34
1990	1.967.153.794	0,020	39.343.076	0	40,51
1991	2.025.585.568	0,020	40.511.711	0	41,36
1992	2.067.990.939	0,020	41.359.819	0	42,23
1993	2.111.284.045	0,020	42.225.681	0	43,11
1994	2.155.483.501	0,020	43.109.670		

Estas tabelas são coerentes com os valores citados pelo IPCC (8% a 10%).

5.2.1.3 Método de cálculo e resultados

Pela metodologia do IPCC (1996), foram obtidos como estimativa para as emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem doméstica e comercial os valores respectivos de 39,34; 40,51; 41,36; 42,23 e 43,11 Gg CH₄/ano, para 1990; 1991; 1992; 1993 e 1994.

Tabela 25 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC)

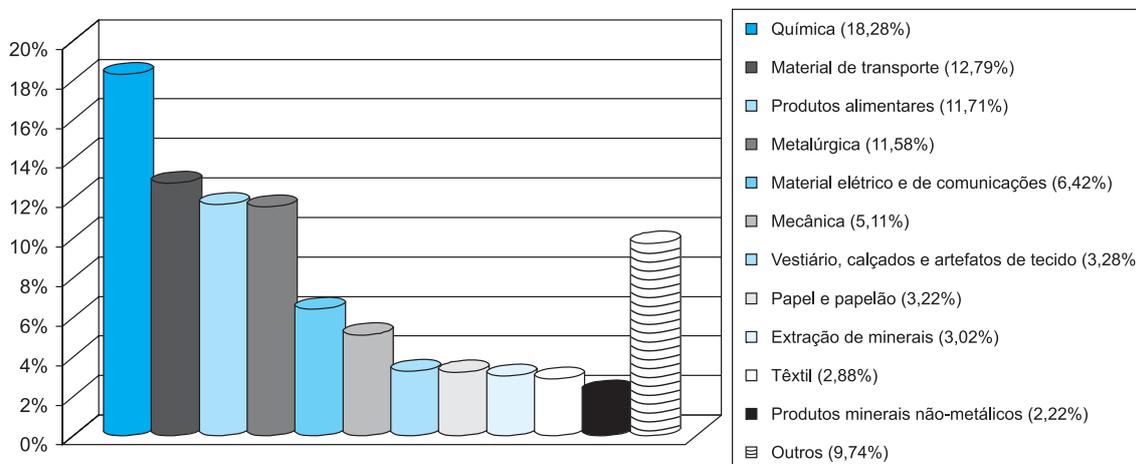
Tabela 26 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC - continuação)

Tabela 27 – Emissões de metano pelo tratamento de esgotos domésticos e comerciais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.2 do IPCC - continuação)

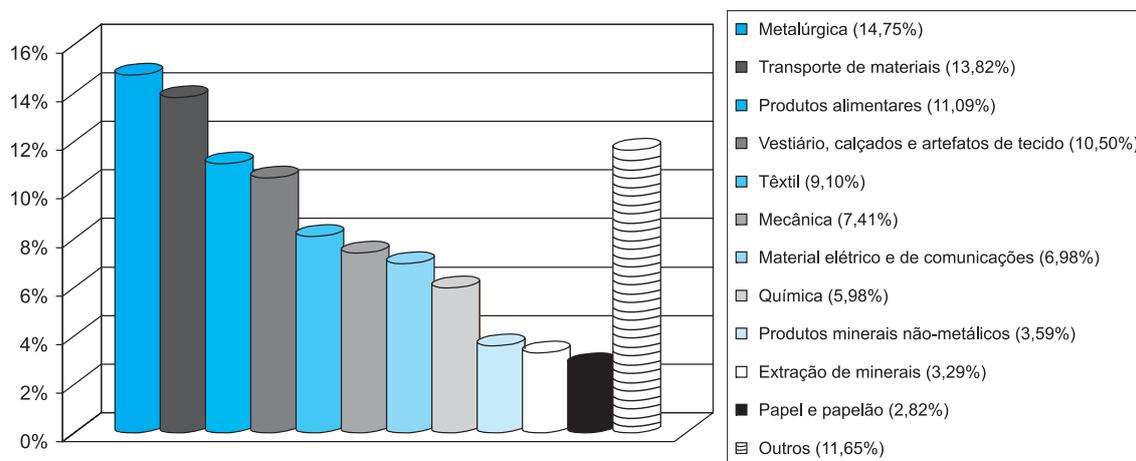
5.2.2 Emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem

industrial

5.2.2.1 Determinação das principais atividades industriais do Brasil



A quantificação dos efluentes gerados por tipos de indústria é o primeiro passo a ser dado a fim de se determinar a origem das emissões de gás metano pela digestão anaeróbia.



Todavia, a existência desses dados no Brasil é escassa. Em pesquisa bibliográfica não foi obtido nenhum estudo feito pelo órgão responsável do Governo Federal, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a esse respeito. Os dados a respeito da indústria nacional, em geral, estão restritos a informações contábeis.

O Anuário Estatístico do Brasil (IBGE) publicado desde 1908, traz informações de uma parcela das indústrias classificadas segundo a sua importância relativa no parque industrial

nacional. Dentre essas informações destacam-se as classificações pela “receita líquida de vendas dos produtos fabricados”, por empresa, e pelo “número de funcionários ligados à produção”, por setor de atividade industrial.

Figura 5 – Principais tipos de indústrias do Brasil segundo a receita líquida de vendas dos produtos fabricados pela empresa em 1990 (IBGE, 1995)

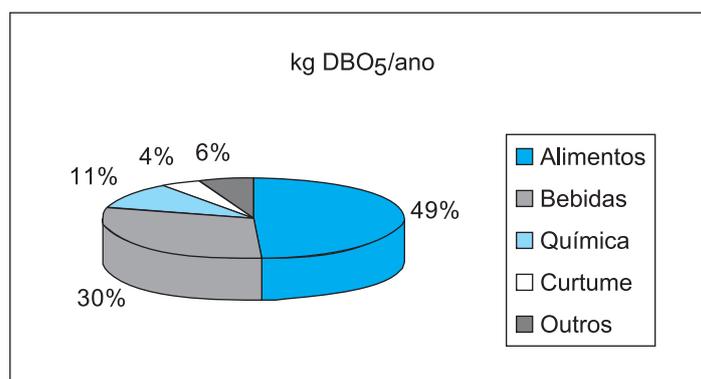


Figura 6 – Principais tipos de indústrias do Brasil segundo o pessoal ocupado ligado à produção em 31 de dezembro de 1990 (IBGE, 1995)

Além das informações da Fundação IBGE, foi utilizada a experiência da CETESB, sintetizada em duas formas:

A primeira é o Sistema de Licenças e Penalidades da CETESB, um banco de dados onde são registrados diariamente dados de todas as atividades ligadas ao controle de poluição ambiental de origem industrial no estado de São Paulo. Neste banco estão contidas informações dos efluentes industriais como a vazão, concentração de matéria orgânica e tipo de tratamento empregado. A partir desses dados, definiu-se, no estado de São Paulo, os segmentos industriais mais importantes para a geração de metano oriundas do tratamento

de efluentes industriais.

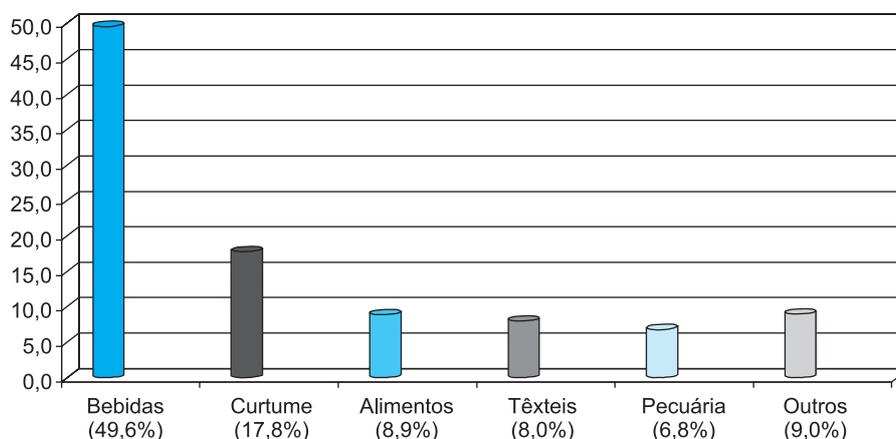


Figura 7 – Contribuição relativa das diferentes atividades industriais no estado de São Paulo com relação ao lançamento de efluentes no ano de 1990 (CETESB)

Para a realização deste inventário, das três principais informações de que dispõe este arquivo – geração potencial de efluentes antes do tratamento, vazão de efluentes remanescentes pós-tratamento e vazão amostrada pela CETESB – utilizaram-se apenas as duas primeiras, que são diretamente relacionadas ao projeto da unidade fabril. Demais informações, por apresentarem incertezas quanto à sua metodologia de estimativa, não foram consideradas.

A segunda forma são os relatórios de poluição industrial e monitoramento ambiental realizados em conjunto pela CETESB e pelo Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial (PRONACOP). Inicialmente idealizados para cobrir todo o território nacional, foram executados apenas durante os anos de 1988 e 1989 em onze estados, destacando-se a ausência dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo no conjunto destes relatórios.

Figura 8 – Contribuição relativa em t DBO₅/ano por setor de atividade industrial de onze estados brasileiros pesquisados pelo PRONACOP/CETESB (1988/89)

Nenhuma das informações acima, isoladamente, permite concluir a respeito do perfil nacional de geração de metano pela digestão anaeróbia de efluentes. Contudo, o conjunto resultante das principais atividades industriais permite fazer uma comparação com o conjunto das atividades propostas pelo IPCC (1996) na planilha de resultados, onde são sugeridas as principais atividades industriais do país a serem levantadas.

Dessa comparação, concluiu-se pela inclusão do item curtume, que é uma importante atividade industrial no Brasil. Já o item álcool, apesar da imensa geração de carga orgânica, não implica produção de metano, pois o efluente é disposto no campo como fertilizante, sem tratamento anaeróbio.

Também, dessa comparação, concluiu-se pela manutenção de todas as atividades enumeradas pelo IPCC que, mesmo não sendo significativas no contexto nacional, permitirão a comparação das informações nacionais com as dos demais países que estão realizando seus inventários.

5.2.2.2 Levantamento e coleta de dados

5.2.2.2.1 Produção industrial ($Prod_{ind}$)

A produção da indústria, por setor, seguiu o modelo sugerido pelo IPCC, com a observação dos principais segmentos industriais do país. Os valores são representados em toneladas produzidas por ano, com exceção à indústria de automóveis, onde a produção é dada em unidades de veículos.

	1990	1991	1992	1993	1994
Aço bruto (1000 t)	20.567	22.617	23.934	25.207	25.747
Ferro gusa (1000 t)	21.141	22.695	23.152	23.982	25.177
Total (1000 t)	41.708	45.312	47.086	49.189	50.924

Fonte: IBGE 1993 e 1995

a) Indústria metalúrgica:

	1990	1991	1992	1993	1994
Fator de emissão (kg DBO_5 /t coque) ¹	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Consumo de coque ² (t)	7.157.000	8.622.000	8.732.000	9.098.000	9.365.000
Produção de aço e ferro ³ (t)	41.708.000	45.312.000	47.086.000	49.189.000	50.924.000
Fator de emissão (kg DBO_5 /t ferro e aço)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09

¹ CETESB, sem data

² MME, 1995

³ IBGE, 1995

A geração de efluentes da indústria nacional de ferro e aço, de acordo com a CETESB, é estimada pelo seu consumo de coque, ou seja, avalia-se o consumo de coque do parque industrial e estima-se a geração de carga orgânica através de um fator de emissão em kg DBO₅ por tonelada de coque consumido.

De forma a padronizar esta estimativa em relação às demais deste relatório, converteu-se o fator de emissão dado em kg DBO₅ por tonelada de coque consumido para um fator de emissão dado em kg DBO₅ por tonelada de aço e ferro produzido, conforme tabela a seguir.

É necessário ressaltar que estes fatores de emissão obtidos são de aplicação restrita para este relatório, de 1990 a 1994. Encontraram-se algumas discrepâncias, tais como, por exemplo, no consumo de coque. O valor apresentado no Balanço Energético Nacional (MME - BEN,

	1990	1991	1992	1993	1994
Veículos produzidos	916.661	705.303	1.073.761	1.391.376	1.581.389

Fonte: IBGE, 1991, 1992, 1993, 1994 e 1995

1995) é de 7.157.000 t em 1990, enquanto que o Anuário Estatístico Brasileiro (IBGE, 1993) apresenta um consumo de 9.888.000 t para o mesmo ano.

Tabela 28 – Produção de aço bruto e de ferro gusa

Tabela 29 – Fatores de emissão para a indústria metalúrgica

	1990	1991*	1992*	1993	1994**
Produção (t)	3.749.150	3.881.100	4.013.050	4.145.000	4.276.950

Fonte: ABIA, 1995

* estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

**extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

b) Automóveis:

A definição da produção nacional de automóveis incluiu todos os automóveis de passageiros e de uso misto; comerciais leves (incluindo caminhonetes de uso misto); utilitários e caminhonetes de carga e comerciais pesados (inclusive ônibus e caminhões).

	1990	1991*	1992*	1993*	1994**
Produção (t)	119.900	161.135	202.370	243.605	284.840

Fonte: ABIA, 1995

* estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

**extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

O fator de emissão empregado pela CETESB, na indústria automobilística, é de 19,3 kgDBO₅/t de chapa pintada (CETESB, sem data). Considerando que cada veículo corresponde, em média, a aproximadamente 100kg de chapa pintada, tem-se um fator de 1,93 kg DBO₅ por unidade produzida pela indústria brasileira.

Tabela 30 – Produção de veículos por ano

c) Cervejas

A produção de cerveja foi fornecida para dois anos e calculada para os demais. Está

	1990	1991*	1992*	1993*	1994
Produção (t)	308.954	293.005	277.056	261.107	245.158

Fonte: UVIBRA, 1997

* estimativa de variação linear entre os anos de 1990 e 1994

representada na tabela abaixo:

Tabela 31 – Cerveja produzida por ano

d) Enlatados:

De maneira idêntica, tem-se a produção de enlatados:

Tabela 32 – Produtos enlatados produzidos por ano

e) Vinho:

Segundo a União Brasileira de Vitivinicultura - UVIBRA (1997) a produção de vinho do estado do Rio Grande do Sul, em 1990, foi de 284.237.323 litros, o que corresponde a 92%

Tipo	Abates ao ano (t)				
	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽²⁾	1993 ⁽²⁾	1994 ⁽²⁾
Bovinos	2.835.762	2.921.430	3.061.761	3.123.781	3.333.479
Suínos	729.545	812.247	892.616	885.142	976.874
Eqüinos	6.223	12.322	20.047	21.191	18.337
Ovinos	11.291	12.499	12.047	12.839	11.015
Caprinos	9.687	11.363	11.538	11.388	10.202

Fonte: ⁽¹⁾ IBGE, 1993;

⁽²⁾ IBGE, 1995.

da produção nacional de vinho. Temos então a produção nacional em 1990, equivalente

	Abates de aves ao ano				
	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽²⁾	1993 ⁽²⁾	1994 ⁽²⁾
Peso (t)	1.604.696	1.800.857	1.911.817	2.074.395	2.459.307
Cabeças (un)	962.029.422	1.055.061.597	1.119.624.770	1.232.978.796	1.447.525.030
Peso por cabeça (kg/un)	1,67	1,71	1,71	1,68	1,70
Fator de emissão (kg- DBO ₅ /1.000 un) ⁽³⁾	11,90	11,90	11,90	11,90	11,90
Fator de emissão adaptado (kgDBO ₅ /t)	7,13	6,97	6,97	7,07	7,00

Fonte: ⁽¹⁾ IBGE, 1993;

⁽²⁾ IBGE, 1995;

⁽³⁾ SALVADOR, 1991.

a 308.953.612 litros, ou seja, 308.954 t de vinho aproximadamente. A produção nacional de vinho no ano de 1994 foi de 245.158 t (UVIBRA, 1997).

Tabela 33 – Vinho produzido por ano**f) Abatedouros:**

O fator de emissão referente ao abate de aves (SALVADOR, 1991), utilizado neste trabalho,

Produto	Fator de emissão (kgDBO ₅ /m ³ de leite consumido)	Volume de leite con- sumido por unidade de	Fator de emissão por tonelada de produto (kgDBO ₅ / t de produto)
Leite cru ⁽¹⁾	11,0		11,0
Leite pasteurizado ⁽¹⁾	22,0		22,0
Leite condensado ⁽²⁾	2,8		5,6
Leite em pó ⁽²⁾	4,1		41,0
Manteiga ⁽²⁾	1,1		29,4
Queijos ⁽²⁾	19,2	28,8	

Fonte: ⁽¹⁾ SALVADOR, 1991;

⁽²⁾ GARCIA, 1997.

é dado em kg DBO₅/1000 aves. De forma a padronizar este fator com relação aos demais deste relatório, foi feita uma conversão para kg DBO₅/t aves. A partir dos pesos totais abatidos e das quantidades em cabeças abatidas por ano, estimou-se um peso médio anual por ave (IBGE, 1993). As aves são contabilizadas pelo IBGE pelas seguintes espécies:

Produto	Produção anual (t)				
	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽¹⁾	1993	1994 ⁽²⁾
Leite cru	13.039.250	13.231.500	13.423.750	13.616.000	13.808.250
Leite pasteurizado	4.003.625	4.119.450	4.235.275	4.351.100	4.466.925
Leite condensado	115.438	126.525	137.613	148.700	159.788
Leite em pó	229.850	244.400	258.950	273.500	288.050
Manteiga	60.013	60.875	61.738	62.600	63.463
Queijos	207.213	217.075	226.938	236.800	246.663
Açúcar	2.172.213	2.110.375	2.048.538	1.986.700	1.924.863
Peixe em conserva	258.900	265.200	271.500	277.800	284.100
Óleo e gordura vegetal	1.506.800	1.499.800	1.492.800	1.485.800	1.478.800
Café solúvel	118.575	123.450	128.325	133.200	138.075
Refrigerante	4.242.175	4.395.550	4.548.925	4.702.300	4.855.675

Fonte: ABIA, 1995

⁽¹⁾ estimativa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

⁽²⁾ extrapolação a partir da taxa de variação linear entre os anos de 1985 e 1993

peru, galo, galinha, frango, franga, pato, marreco e ganso.

A seguir, estão as produções dos rebanhos nacionais.

Tabela 34 – Produção anual dos abatedouros, entre 1990 e 1994

Produto	Produção anual (t)				
	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽²⁾	1993 ⁽²⁾	1994 ⁽²⁾
Celulose	4.346.520	4.346.520	4.876.904	5.010.188	5.376.271
Papel	4.914.113	4.914.113	4.915.379	5.301.040	5.653.597

Fonte: ⁽¹⁾ IBGE, 1993;

⁽²⁾ IBGE, 1995.

Tabela 35 – Produção avícola, entre 1990 e 1994

g) Demais alimentos:

Os fatores de emissão dos produtos lácteos fornecidos pela CETESB são dados em

	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽²⁾	1993 ⁽²⁾	1994 ⁽²⁾
Produção (t)	68.042.365	63.306.680	69.376.058	69.116.448	71.845.506

Fonte: ⁽¹⁾ IBGE, 1993;

⁽²⁾ IBGE, 1995.

kgDBO₅ por m³ de leite consumido. Para padronizar esses fatores em relação aos demais, converteram-se as unidades desses fatores de emissão para kg DBO₅ por tonelada de produto, como mostra a tabela seguinte.

Tabela 36 – Determinação dos fatores de emissão por unidade de produto

	Produção anual (t)				
	1990	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽¹⁾	1993 ⁽¹⁾	1994
Algodão	665.700	620.050	574.400	528.750	483.100
Lã	29.100	28.075	27.050	26.025	25.000
Nylon	63.300	65.100	66.900	68.700	70.500

Fonte: SINDITEXTIL, 1996

⁽¹⁾ estimativa de variação linear entre os anos de 1990 e 1994

A tabela a seguir apresenta a produção das demais indústrias de alimentos no país, ano a ano.

Tabela 37 – Produção anual no setor alimentício

	1990	1991	1992	1993	1994
Produção (t)	260.929	263.631	272.525	279.366	310.701

Fonte: ABIQUIM, 1995

h) Papel e celulose:

A produção está representada na tabela abaixo:

Tabela 38 – Papel e celulose produzidos por ano

Produto (t)	1990	1991	1992	1993	1994
Acetato de vinila	50.747	59.639	42.070	43.261	49.813
Acetona	60.522	61.226	57.045	64.430	65.653
Ácido acético	87.904	109.926	104.301	99.517	71.159
Ácido fosfórico	609.241	664.321	487.162	600.639	688.571
Ácido nítrico 99%	386.888	404.823	398.608	416.789	554.265
Ácido tereftálico	72.378	86.600	83.345	103.322	118.214
Acrilatos	9.009	10.043	9.985	7.909	9.351
Álcool metílico / metanol	168.557	206.641	204.447	223.496	220.310
Amônia	1.152.563	1.012.110	1.038.436	1.153.336	1.156.830
BTX - benzeno, tolueno e xileno	1.105.927	1.037.158	1.017.602	1.048.636	1.213.585
Bisfenol A	12.567	11.733	9.627	13.674	17.670
Butadieno	204.728	186.434	203.243	229.880	267.149
Caprolactona	42.059	47.193	41.699	50.824	50.838
Ciclohexano	39.366	43.059	45.106	55.308	60.824
Dimetiltereftalato	54.170	42.872	56.934	60.557	64.959
Estireno monômero	306.217	279.963	253.605	223.413	261.613
Etilbenzeno	441.007	314.440	286.812	237.793	345.514
Etilenoglicóis	99.494	114.770	99.224	111.455	114.084
Fenol	97.138	98.445	91.345	105.259	112.799
Formaldeído	177.391	194.594	206.421	244.942	261.775
Metilaminas (mono, di e tri)	6.803	8.253	8.298	7.243	8.835
Nitrocelulose	14.755	15.346	16.783	18.141	19.087
Pigmentos	2.359	2.838	2.396	2.891	3.566
	504.330	500.264	488.940	510.794	593.413

Fonte: ABIQUIM, 1995

i) Petróleo/Refinaria petroquímica:

Da mesma forma, tem-se:

Tabela 39 – Petróleo refinado por ano

j) Têxtil:

	1990 ⁽¹⁾	1991 ⁽¹⁾	1992 ⁽²⁾	1993 ⁽²⁾	1994 ⁽²⁾
Couro cru produzido no ano (peças)	19.495.981	23.825.763	21.835.309	21.441.398	21.029.945
Produção anual de couro (t)	448.408	547.993	502.212	493.152	483.689

Fonte: ⁽¹⁾ IBGE, 1993;

⁽²⁾ IBGE, 1995.

Vide tabela abaixo:

Tabela 40 – Produção têxtil por ano

k) Borracha:

	1990	1991	1992	1993*	1994
Produção (t)	11.782.570	12.752.130	11.764.870	10.762.719	9.760.567

Fonte: OMETTO, 1993 e (ano de 1994) IBGE, 1996

*estimado pela média dos anos de 1992 e 1994

A tabela abaixo apresenta a produção anual de borracha:

Tabela 41 – Produção de borrachas por ano

l) Química:

Vide tabela abaixo:

Tabela 42 – Produção anual do setor químico

m) Curtume:

A quantidade de couro recebida pelos curtumes (IBGE, 1993) refere-se apenas ao couro brasileiro e é dada em número de peças, que, em média, pesam 23,0 kg cada (IBGE, 1997). A tabela seguinte resume os valores de produção.

Tabela 43 – Produção anual de couro

n) Álcool:

A produção é dada pela tabela a seguir:

Tabela 44 – Produção anual de álcool

5.2.2.2.2 Fator de emissão de carga orgânica por quantidade de produto ($FE_{c\ org}$)

Os fatores de emissão de carga orgânica por quantidade de produto foram tomados principalmente do estudo de Salvador (1991). Neste estudo observam-se, em alguns casos, variações devidas às diferentes tecnologias de processos industriais.

Nas Tabelas 45 a 49, tem-se o fator de emissão de DBO_5 para cada setor de produção industrial, dados em $kgDBO_5$ /tonelada produzida e obtidos de diferentes fontes bibliográficas mencionadas na coluna subsequente.

5.2.2.2.3 Fração de esgotos tratada (FET) e fator de correção de metano (FCM)

Não estão disponíveis dados a respeito das estimativas de fração de esgotos tratados

anaerobiamente e fator de correção de metano. Por essa razão foram assumidas as

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Submódulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha 6.3		Produção	Ref	Fator de emissão	Ref	Emissão	
Folha 1/4		(t/ano)		(kgDBO ₅ /t.)		(kgDBO ₅ /ano)	
Indústria Metalúrgica		41.708.000	4	0,10	5	4.170.800	
Automóveis		916.661	4	1,93	5	1.769.156	
Alimentos e bebidas	Cervejas	3.749.150	2	62,10	1	232.822.215	
	Enlatados	119.900	2	12,50	1	1.498.750	
	Vinho	308.954	11	0,26	1	80.328	
	Abatedouro						
		Bovinos	2.835.762	4	7,00	7	19.850.334
		Suínos	729.545	4	30,0	1	21.886.350
		Aves	1.604.696	4	7,13	1	11.441.482
		Eqüinos	6.223	4	6,40	1	39.827
		Ovinos	11.291	4	6,40	1	72.262
		Caprinos	9.687	4	6,40	1	61.997
	Produtos lácteos						
		Leite cru	13.039.250	2	11,00	1	143.431.750
		Leite pasteurizado	4.003.625	2	22,00	1	88.079.750
		Leite condensado	115.438	2	5,60	9	646.453
		Leite em pó	229.850	2	41,00	9	9.423.850
		Manteiga	60.013	2	29,40	9	1.764.382
		Queijos	207.213	2	28,80	9	5.967.734
	Açúcar	2.172.213	2	200,00	1	434.442.600	
	Café solúvel	118.575	2	156,00	1	18.497.700	
	Óleo e gordura vegetal	1.506.800	2	12,90	1	19.437.720	
	Peixe em conservas	258.900	2	7,90	1	2.045.310	
	Refrigerantes	4.242.175	2	2,50	1	10.605.438	
Papel e celulose	Celulose	4.346.520	4	55,00	1	239.058.600	
	Papel	4.914.113	4	8,00	1	39.312.904	
Petróleo / Refinaria petroquímica		68.042.365	4	3,40	1	231.344.041	
Têxtil	Algodão	665.700	6	155,00	1	103.183.500	
	Lã	29.100	6	711,00	1	20.690.100	
	Nylon	63.300	6	45,00	1	2.848.500	
Borracha		260.929	3	1,90	1	495.765	
Química	Acetato de vinila	50.747	3	0,35	1	17.761	
	Acetona	60.522	3	0,35	1	21.183	
	Ácido acético	87.904	3	63,00	1	5.537.952	
	Ácido fosfórico	609.241	-	n.d	-	n.d	
	Ácido nítrico 99%	386.888	3	0,25	1	96.722	
	Ácido tereftálico	72.378	3	63,00	1	4.559.814	
	Acrilatos	9.009	3	47,00	1	423.423	
	Metanol	168.557	3	0,49	1	82.593	
	Amônia	1.152.563	3	0,20	1	230.513	
	Benzeno, tolueno e xileno	1.105.927	3	0,10	1	110.593	
	Bifenol A	12.567	3	63,00	1	791.721	
	Butadieno	204.728	3	0,63	1	128.979	
	Caprolactona	42.059	3	63,00	1	2.649.717	
	Ciclohexano	39.366	3	0,11	1	4.330	
	Dimetilterefitalato	54.170	3	63,00	1	3.412.710	
	Estireno monômero	306.217	3	1,00	1	306.217	
	Etilbenzeno	441.007	3	0,13	1	57.331	
	Etilenoglicóis	99.494	3	63,00	1	6.268.122	
	Fenol	97.138	3	63,00	1	6.119.694	
	Formaldeído	177.391	3	0,35	1	62.087	
	Metilaminas (mono, di e tri)	6.803	3	0,35	1	2.381	
	Nitrocelulose	14.755	3	0,21	1	3.099	
	Pigmentos	2.359	3	136,00	5	320.824	
	PVC	504.330	3	10,00	1	5.043.300	
Curtume		448.408	10	135,00	1	60.535.080	
Total						1.761.755.743	
Álcool		11.782.570	8	54,00	1	636.258.780	

n.d: não disponível

O conhecimento desta fração implica na disponibilidade de informação sobre os diferentes

Módulo	Resíduos líquidos industriais						
Submódulo	Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais						
Planilha 6.3		Produção (t/ano)	Ref	Fator de emissão (kgDBO ₅ /t.)	Ref	Emissão (kgDBO ₅ /ano)	
Folha 1/4							
Indústria Metalúrgica		45.312.000	4	0,10	5	4.531.200	
Automóveis		705.303	4	1,93	5	1.361.235	
Alimentos e bebidas	Cervejas	3.881.100	2	62,10	1	241.016.310	
	Enlatados	161.135	2	12,50	1	2.014.188	
	Vinho	293.005	11	0,26	1	76.181	
	Abatedouro						
		Bovinos	2.921.430	4	7,00	7	20.450.010
		Suínos	812.247	4	30,00	1	24.367.410
		Aves	1.800.857	4	6,97	1	12.551.973
		Eqüinos	12.322	4	6,40	1	78.861
		Ovinos	12.499	4	6,40	1	79.994
		Caprinos	11.363	4	6,40	1	72.723
	Produtos lácteos	Leite cru	13.231.500	2	11,00	1	145.546.500
		Leite pasteurizado	4.119.450	2	22,00	1	90.627.900
		Leite condensado	126.525	2	5,60	9	708.540
		Leite em pó	244.400	2	41,00	9	10.020.400
		Manteiga	60.875	2	29,40	9	1.789.725
		Queijos	217.075	2	28,80	9	6.251.760
	Açúcar	2.110.375	2	200,00	1	422.075.000	
	Café solúvel	123.450	2	156,00	1	19.258.200	
	Óleo e gordura vegetal	1.499.800	2	12,90	1	19.347.420	
	Peixe em conservas	265.200	2	7,90	1	2.095.080	
	Refrigerantes	4.395.550	2	2,50	1	10.988.875	
Papel e celulose	Celulose	4.346.520	4	55,00	1	239.058.600	
	Papel	4.914.113	4	8,00	1	39.312.904	
Petróleo / Refinaria petroquímica		63.306.680	4	3,40	1	215.242.712	
Têxtil	Algodão	620.050	6	155,00	1	96.107.750	
	Lã	28.075	6	711,00	1	19.961.325	
	Nylon	65.100	6	45,00	1	2.929.500	
Borracha		263.631	3	1,90	1	500.899	
Química	Acetato de vinila	59.639	3	0,35	1	20.874	
	Acetona	61.226	3	0,35	1	21.429	
	Ácido acético	109.926	3	63,00	1	6.925.338	
	Ácido fosfórico	664.321	-	n.d	-	n.d	
	Ácido nítrico 99%	404.823	3	0,25	1	101.206	
	Ácido tereftálico	86.600	3	63,00	1	5.455.800	
	Acrilatos	10.043	3	47,00	1	472.021	
	Metanol	206.641	3	0,49	1	101.254	
	Amônia	1.012.110	3	0,20	1	202.422	
	Benzeno, tolueno e xileno	1.037.158	3	0,10	1	103.716	
	Bifenol A	11.733	3	63,00	1	739.179	
	Butadieno	186.434	3	0,63	1	117.453	
	Caprolactona	47.193	3	63,00	1	2.973.159	
	Ciclohexano	43.059	3	0,11	1	4.736	
	Dimetiltereftalato	42.872	3	63,00	1	2.700.936	
	Estireno monômero	279.963	3	1,00	1	279.963	
	Etilbenzeno	314.440	3	0,13	1	40.877	
	Etilenoglicóis	114.770	3	63,00	1	7.230.510	
	Fenol	98.445	3	63,00	1	6.202.035	
	Formaldeido	194.594	3	0,35	1	68.108	
	Metilaminas (mono, di e tri)	8.253	3	0,35	1	2.889	
	Nitrocelulose	15.346	3	0,21	1	3.223	
	Pigmentos	2.838	3	136,00	5	385.968	
	PVC	500.264	3	10,00	1	5.002.640	
Curtume		547.993	10	135,00	1	73.979.055	
Total						1.761.557.965	
Álcool		12.752.130	8	54,00	1	688.615.020	

n.d: não disponível

recomendável que estas informações sejam levantadas e organizadas.

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Submódulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha 6.3		Produção (t/ano)	Ref	Fator de emissão (kgDBO ₅ /t.)	Ref	Emissão (kgDBO ₅ /ano)	
Folha 1/4							
Indústria Metalúrgica		47.086.000	4	0,10	5	4.708.600	
Automóveis		1.073.761	4	1,93	5	2.072.359	
Alimentos e bebidas	Cervejas	4.013.050	2	62,10	1	249.210.405	
	Enlatados	202.370	2	12,50	1	2.529.625	
	Vinho	277.056	11	0,26	1	72.035	
	Abatedouro						
		Bovinos	3.061.761	4	7,00	7	21.432.327
		Suínos	892.616	4	3,00	1	26.778.480
		Aves	1.911.817	4	6,97	1	13.325.364
		Eqüinos	20.047	4	6,40	1	128.301
		Ovinos	12.047	4	6,40	1	77.101
		Caprinos	11.538	4	6,40	1	73.843
	Produtos lácteos	Leite cru	13.423.750	2	11,00	1	147.661.250
		Leite pasteurizado	4.235.275	2	22,00	1	93.176.050
		Leite condensado	137.613	2	5,60	9	770.633
		Leite em pó	258.950	2	41,00	9	10.616.950
		Manteiga	61.738	2	29,40	9	1.815.097
		Queijos	226.938	2	28,80	9	6.535.814
	Açúcar	2.048.538	2	200,00	1	409.707.600	
	Café solúvel	128.325	2	156,00	1	20.018.700	
	Óleo e gordura vegetal	1.492.800	2	12,90	1	19.257.120	
	Peixe em conservas	271.500	2	7,90	1	2.144.850	
	Refrigerantes	4.548.925	2	2,50	1	11.372.313	
Papel e celulose	Celulose	4.876.904	4	55,00	1	268.229.720	
	Papel	4.915.379	4	8,00	1	39.323.032	
Petróleo / Refinaria petroquímica		69.376.058	4	3,40	1	235.878.597	
Têxtil	Algodão	574.400	6	155,00	1	89.032.000	
	Lã	27.050	6	711,00	1	19.232.550	
	Nylon	66.900	6	45,00	1	3.010.500	
Borracha		272.525	3	1,90	1	517.798	
Química	Acetato de vinila	42.070	3	0,35	1	14.725	
	Acetona	57.045	3	0,35	1	19.966	
	Ácido acético	104.301	3	63,00	1	6.570.963	
	Ácido fosfórico	487.162	-	n.d	-	n.d	
	Ácido nítrico 99%	398.608	3	0,25	1	99.652	
	Ácido tereftálico	83.345	3	63,00	1	5.250.735	
	Acrilatos	9.985	3	47,00	1	469.295	
	Metanol	204.447	3	0,49	1	100.179	
	Amônia	1.038.436	3	0,20	1	207.687	
	Benzeno, tolueno e xileno	1.017.602	3	0,10	1	101.760	
	Bifenol A	9.627	3	63,00	1	606.501	
	Butadieno	203.243	3	0,63	1	128.043	
	Caprolactona	41.699	3	63,00	1	2.627.037	
	Ciclohexano	45.106	3	0,11	1	4.962	
	Dimetiltereftalato	56.934	3	63,00	1	3.586.842	
	Estireno monômero	253.605	3	1,00	1	253.605	
	Etilbenzeno	286.812	3	0,13	1	37.286	
	Etilenoglicóis	99.224	3	63,00	1	6.251.112	
	Fenol	91.345	3	63,00	1	5.754.735	
	Formaldeído	206.421	3	0,35	1	72.247	
	Metilaminas (mono, di e tri)	8.298	3	0,35	1	2.904	
	Nitrocelulose	16.783	3	0,21	1	3.524	
	Pigmentos	2.396	3	136,00	5	325.856	
	PVC	488.940	3	10,00	1	4.889.400	
Curtume		502.212	10	135,00	1	67.798.620	
Total						1.803.886.649	
Álcool		11.764.870	8	54,00	1	635.302.980	

n.d: não disponível

A fração de esgotos tratada anaerobiamente, indicada pelo IPCC para os países em

Módulo		Resíduos líquidos industriais					
Submódulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais					
Planilha 6.3		Produção (t/ano)	Ref	Fator de emissão (kgDBO ₅ /t.)	Ref	Emissão (kgDBO ₅ /ano)	
Folha 1/4							
Indústria Metalúrgica		49.189.000	4	0,10	5	4.918.900	
Automóveis		1.391.376	4	1,93	5	2.685.356	
Alimentos e bebidas	Cervejas	4.145.000	2	62,10	1	257.404.500	
	Enlatados	243.605	2	12,50	1	3.045.063	
	Vinho	261.107	11	0,26	1	67.888	
	Abatedouro						
		Bovinos	3.123.781	4	7,00	7	21.866.467
		Suínos	885.142	4	30,00	1	26.554.260
		Aves	2.074.395	4	7,07	1	14.665.973
		Eqüinos	21.191	4	6,40	1	135.622
		Ovinos	12.839	4	6,40	1	82.170
		Caprinos	11.388	4	6,40	1	72.883
	Produtos lácteos	Leite cru	13.616.000	2	11,00	1	149.776.000
		Leite pasteurizado	4.351.100	2	22,00	1	95.724.200
		Leite condensado	148.700	2	5,60	9	832.720
		Leite em pó	273.500	2	41,00	9	11.213.500
		Manteiga	62.600	2	29,40	9	1.840.440
		Queijos	236.800	2	28,80	9	6.819.840
	Açúcar	1.986.700	2	200,00	1	397.340.000	
	Café solúvel	133.200	2	156,00	1	20.779.200	
	Óleo e gordura vegetal	1.485.800	2	12,90	1	19.166.820	
	Peixe em conservas	277.800	2	7,90	1	2.194.620	
	Refrigerantes	4.702.300	2	2,50	1	11.755.750	
Papel e celulose	Celulose	5.010.188	4	55,00	1	275.560.340	
	Papel	5.301.040	4	8,00	1	42.408.320	
Petróleo / Refinaria petroquímica		69.116.448	4	3,40	1	234.995.923	
Têxtil	Algodão	528.750	6	155,00	1	81.956.250	
	Lã	26.025	6	711,00	1	18.503.775	
	Nylon	68.700	6	45,00	1	3.091.500	
Borracha		279.366	3	1,90	1	530.795	
Química	Acetato de vinila	43.261	3	0,35	1	15.141	
	Acetona	64.430	3	0,35	1	22.551	
	Ácido acético	99.517	3	63,00	1	6.269.571	
	Ácido fosfórico	600.639	-	n.d	-	n.d	
	Ácido nítrico 99%	416.789	3	0,25	1	104.197	
	Ácido tereftálico	103.322	3	63,00	1	6.509.286	
	Acrilatos	7.909	3	47,00	1	371.723	
	Metanol	223.496	3	0,49	1	109.513	
	Amônia	1.153.336	3	0,20	1	230.667	
	Benzeno, tolueno e xileno	1.048.636	3	0,10	1	104.864	
	Bifenol A	13.674	3	63,00	1	861.462	
	Butadieno	229.880	3	0,63	1	144.824	
	Caprolactona	50.824	3	63,00	1	3.201.912	
	Ciclohexano	55.308	3	0,11	1	6.084	
	Dimetiltereftalato	60.557	3	63,00	1	3.815.091	
	Estireno monômero	223.413	3	1,00	1	223.413	
	Etilbenzeno	237.793	3	0,13	1	30.913	
	Etilenoglicóis	111.455	3	63,00	1	7.021.665	
	Fenol	105.259	3	63,00	1	6.631.317	
	Formaldeído	244.942	3	0,35	1	85.730	
	Metilaminas (mono, di e tri)	7.243	3	0,35	1	2.535	
	Nitrocelulose	18.141	3	0,21	1	3.810	
	Pigmentos	2.891	3	136,00	5	393.176	
	PVC	510.794	3	10,00	1	5.107.940	
Curtume		493.152	10	135,00	1	66.575.520	
Total						1.813.831.979	
Álcool		10.762.719	8	54,00	1	581.186.826	

n.d: não disponível

desenvolvimento é de 20%.

Módulo	Resíduos líquidos industriais						
Submódulo	Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais						
Planilha 6.3		Produção (t/ano)	Ref	Fator de emissão (kgDBO ₅ /t.)	Ref	Emissão (kgDBO ₅ /ano)	
Folha 1/4							
Indústria Metalúrgica		50.924.000	4	0,09	5	4.583.160	
Automóveis		1.581.389	4	1,93	5	3.052.081	
Alimentos e bebidas	Cervejas	4.276.950	2	62,10	1	265.598.595	
	Enlatados	284.840	2	12,50	1	3.560.500	
	Vinho	245.158	11	0,26	1	63.741	
	Abatedouro						
		Bovinos	3.333.479	4	7,00	7	23.334.353
		Suínos	976.874	4	30,00	1	29.306.220
		Aves	2.459.307	4	7,00	1	17.215.149
		Eqüinos	18.337	4	6,40	1	117.357
		Ovinos	11.015	4	6,40	1	70.496
		Caprinos	10.202	4	6,40	1	65.293
	Produtos lácteos	Leite cru	13.808.250	2	11,00	1	151.890.750
		Leite pasteurizado	4.466.925	2	22,00	1	98.272.350
		Leite condensado	159.788	2	5,60	9	894.813
		Leite em pó	288.050	2	41,00	9	11.810.050
		Manteiga	63.463	2	29,40	9	1.865.812
		Queijos	246.663	2	28,80	9	7.103.894
	Açúcar	1.924.863	2	200	1	384.972.600	
	Café solúvel	138.075	2	156,00	1	21.539.700	
	Óleo e gordura vegetal	1.478.800	2	12,90	1	19.076.520	
	Peixe em conservas	284.100	2	7,90	1	2.244.390	
	Refrigerantes	4.855.675	2	2,50	1	12.139.188	
Papel e celulose	Celulose	5.376.271	4	55,00	1	295.694.905	
	Papel	5.653.597	4	8,00	1	45.228.776	
Petróleo / Refinaria petroquímica		71.845.506	4	3,40	1	244.274.720	
Têxtil	Algodão	483.100	6	155,00	1	74.880.500	
	Lã	25.000	6	711,00	1	17.775.000	
	Nylon	70.500	6	45,00	1	3.172.500	
Borracha		310.701	3	1,90	1	590.332	
Química	Acetato de vinila	49.813	3	0,35	1	17.435	
	Acetona	65.653	3	0,35	1	22.979	
	Ácido acético	71.159	3	63,0	1	4.483.017	
	Ácido fosfórico	688.571	-	n.d	-	n.d	
	Ácido nítrico 99%	554.265	3	0,25	1	138.566	
	Ácido tereftálico	118.214	3	63,00	1	7.447.482	
	Acrilatos	9.351	3	47,00	1	439.497	
	Metanol	220.310	3	0,49	1	107.952	
	Amônia	1.156.830	3	0,20	1	231.366	
	Benzeno, tolueno e xileno	1.213.585	3	0,10	1	121.359	
	Bifenol A	17.670	3	63,00	1	1.113.210	
	Butadieno	267.149	3	0,63	1	168.304	
	Caprolactona	50.838	3	63,00	1	3.202.794	
	Ciclohexano	60.824	3	0,11	1	6.691	
	Dimetiltereftalato	64.959	3	63,00	1	4.092.417	
	Estireno monômero	261.613	3	1,00	1	261.613	
	Etilbenzeno	345.514	3	0,13	1	44.917	
	Etilenoglicóis	114.084	3	63,0	1	7.187.292	
	Fenol	112.799	3	63,00	1	7.106.337	
	Formaldeido	261.775	3	0,35	1	91.621	
	Metilaminas (mono, di e tri)	8.835	3	0,35	1	3.092	
	Nitrocelulose	19.087	3	0,21	1	4.008	
	Pigmentos	3.566	3	136,00	5	484.976	
	PVC	593.413	3	10,00	1	5.934.130	
Curtume		483.689	10	135,00	1	65.298.015	
Total						1.848.402.814	
Álcool		9.760.567	8	54,00	1	527.070.618	

n.d: não disponível

1 SALVADOR, 1991	5 CETESB, sem data	9 GARCIA, 1997
2 ABIA, 1994	6 SINDITEXTIL/ABIT, 1996	10 FUNDAÇÃO IBGE, 1997
3 ABIQUIM, 1991	7 DERISIO, 1996	11 UVIBRA, 1997
4 FUNDAÇÃO IBGE, 1993	8 OMETTO, 1992	

O fator de conversão de metano (FCM), indicado pelo IPCC é de 90%.

Módulo		Resíduos			
Submódulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais			
Planilha		6.3			
Folha		2 de 4 – Estimativa do fator de emissão por sistema de tratamento de esgotos			
Etapa 2					
a	b	c	d	e	f = d * e
Sistema de tratamento de esgotos	Fração de esgotos tratada pelo sistema (%)	Fator de conversão de metano (FCM) (%)	Produto	Capacidade máxima de produção de metano (kg CH ₄ / kgDBO ₅)	Fator de emissão de metano pela geração de efluentes industriais (kg CH ₄ / kgDBO ₅)
Não especificado			d = b * c		
	0,20	0,90	0,18	0,25	0,045
		FCM agregado: 0,90	0,18	0,25	0,045

5.2.2.2.4 Máximo fator de emissão de metano

O máximo fator de emissão de metano, assim como no caso dos esgotos domésticos, é

Módulo		Resíduos			
Submódulo		Emissões de metano pelo tratamento de efluentes e lodos industriais			
Planilha		6.3			
Folha		4 de 4 – Estimativa das emissão de metano pelo tratamento dos efluentes industriais			
Ano	a	b	c	d	e
	Emissão de carga orgânica (kgDBO ₅ / ano)	Fator de emissão (kg CH ₄ / kgDBO ₅)	Emissões de metano sem recuperação ou queima (c = a * b)	Metano recuperado ou queimado (kg CH ₄)	Emissões líquidas de metano (Gg CH ₄ / ano) (e = (c - d) * 10 ⁻⁶)
	Planilha 6.3 Folha 1	Planilha 6.3 Folhas 2 e 3			
1990	1.761.755.743	0,045	79.279.008	0	79,28
1991	1.761.557.965	0,045	79.270.108	0	79,27
1992	1.803.886.649	0,045	81.174.899	0	81,17
1993	1.813.831.979	0,045	81.622.439	0	81,62
1994	1.848.402.814	0,045	83.178.127	0	83,18

assumido igual ao valor sugerido pelo IPCC, de $0,25 \text{ gCH}_4/\text{gDBO}_5$.

5.2.2.3 Método de cálculo e resultados

Pela metodologia do IPCC (1996), foram obtidos como estimativa para as emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem industrial os valores respectivos de 79,28; 79,27; 81,17; 81,62 e 83,18 Gg CH_4 / ano, para 1990; 1991; 1992; 1993 e 1994.

Tabela 45 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990

Tabela 46 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1991

Tabela 47 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1992

Tabela 48 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1993

Tabela 49 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1994

Tabela 50 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.3, folha 2 de 4, do IPCC)

Tabela 51 – Emissões de metano pelo tratamento de efluentes industriais no Brasil - 1990 a 1994 (planilha 6.3, folha 4 de 4, do IPCC)

6 Incertezas

As estimativas dos erros de cada um dos termos utilizados no cálculo dos fatores de emissão de metano foram avaliados através da experiência adquirida pela CETESB em trabalhos desse tipo.

Assim para se avaliar a emissão de metano por resíduos sólidos foram utilizadas a expressão e as estimativas de erro seguintes:

$$(Pop_{urb} \cdot \text{taxa RSD} \cdot RSD_F \cdot FCM \cdot COD \cdot COD_F \cdot F_{16/12 - R}) \cdot (1 - OX)$$

RSD	10% erro
RSD _F	10% erro
FCM	15% erro
COD	35% erro
COD _F	35% erro

Combinando de acordo com a equação:

$U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$, em que U_1, U_2, \dots, U_n representam os erros dos vários fatores, tem-se:

Porcentagem de erro para resíduos sólidos = 54%

Já para águas residuárias domésticas, foi utilizada a seguinte expressão:

$$Pop_{urb} \cdot \text{taxa DBO}_5 \cdot FET \cdot FCM \cdot MFEM - R$$

taxa DBO ₅	10% erro
FET x FCM	20% erro

Ano	Emissões de metano (Gg CH ₄ /ano)			
	Resíduos sólidos	Esgotos domésticos e comerciais	Efluentes industriais	Total
1990	618,01	39,34	79,28	736,63
1991	636,34	40,51	79,27	756,12
1992	649,68	41,36	81,17	772,21
1993	663,28	42,23	81,62	787,13
1994	677,18	43,11	83,18	803,47

MFEM	25% erro
------	----------

Porcentagem de erro para águas residuárias domésticas = 34%

Para águas residuárias industriais, teremos a seguinte expressão:

$$Prod_{ind} \cdot FE_{c\ org} \cdot FET \cdot FCM \cdot MFEM - R$$

$FE_{c.org}$ 25% erro

FET x FCM 20% erro

MFEM 25% erro

Porcentagem de erro de emissão = 41%

Na falta de informações sobre o erro cometido nas avaliações de produções industriais foi utilizado para esse fator um erro equivalente à metade do erro do fator de emissão, conforme (IPCC,1994). Assim:

Porcentagem de erro de $Prod_{ind}$ = 20%

Portanto, resulta a porcentagem de erro para águas residuárias industriais de 45%.

7 Conclusão

A partir dos dados estatísticos de população e da produção industrial no país, e utilizando-se fatores estimados de geração e degradação de resíduos e produção de metano, foi elaborado o inventário de metano gerado pelo tratamento e disposição de resíduos, resumido a seguir.

Tabela 52 – Resumo das emissões de metano

A elaboração deste relatório comprovou a importância do levantamento de dados sobre as estações de tratamento ou disposição de resíduos.

O levantamento desses dados, sua organização e armazenamento facilitarão a elaboração de programas visando a minimização de emissão de poluentes, além de permitir a melhoria no gerenciamento de resíduos, a racionalização dos sistemas de tratamento, a redução da emissão de gases de efeito estufa e o aumento da eficiência do uso de energia.

O conjunto dessas ações levaria à melhoria das condições ambientais.

Dessa forma, recomenda-se, com muita ênfase, o levantamento, a organização e o armazenamento de mais informações sobre tratamentos de resíduos.

8 Perspectivas Futuras do Aproveitamento Energético do Metano

8.1 Resíduos sólidos

O reaproveitamento econômico do metano gerado por resíduos poderá colaborar na redução da emissão de gases de efeito estufa. Este, contudo, só é viável em determinadas situações, onde haja alta taxa de produção, determinada pelas condições citadas anteriormente, aliada a uma demanda por esta energia produzida, justificada em termos de custo-benefício.

O uso de área pode ser melhorado através do manejo integrado de resíduos como, por exemplo:

- separação junto à fonte;
- reciclagem;
- aterramento por diferentes categorias (orgânicos, inertes, perigosos); e
- combustão controlada (incineração ou pirólise).

O inevitável esgotamento nas reservas de combustíveis fósseis no futuro e a crescente procura por combustíveis alternativos e ambientalmente sustentáveis leva ao desenvolvimento das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos.

Além de incentivar a racionalização do uso dos recursos naturais, minimizando o consumo de matérias primas e desenvolvendo mecanismos de redução da geração de resíduos, seu aproveitamento visa otimizar a matriz energética, utilizando um combustível renovável e abundante.

Aliado ao reaproveitamento energético dos resíduos já gerados, deve ser paralelamente incentivada a eliminação junto à fonte, através do estabelecimento de legislação específica para embalagens e incentivo à educação ambiental.

Os fatores que dificultam a implementação de sistemas alternativos para o gerenciamento de resíduos sólidos são os problemas com a obtenção de financiamento e a execução de mecanismos regionais integrados, com diferentes esferas de governo. A opinião pública

também é um dos fatores determinantes na escolha entre alternativas de tratamento de resíduos sólidos.

8.2 Efluentes líquidos

Assim como para os resíduos sólidos, os efluentes líquidos também oferecem um atrativo potencial de recuperação energética do metano produzido anaerobiamente.

Em 1994, mais de 197 mil metros cúbicos de efluentes eram tratados por reatores anaeróbios no país. Esta é a forma mais recomendável para a recuperação de gás, por ser compacta e eficiente.

Há um enorme potencial de demanda no Brasil que poderia ser suprido por esta tecnologia, projetada primeiramente com a finalidade de saneamento ambiental.

Por questões de segurança e desconhecimento de técnicas de recuperação de gás, algumas indústrias, que já dispõem de sistemas anaeróbios, preferem a queima direta ao uso.

Parte da energia recuperada poderia ser reaplicada no processo de tratamento dos resíduos (principalmente em locais de clima mais frio). Poder-se-ia, ainda, no caso de indústrias, aplicar esta energia no processo, substituindo o uso de combustíveis fósseis.

Recomenda-se, assim:

- reunir informações sobre os sistemas existentes no país e aprimorar o seu desempenho, enfatizando a recuperação de gás, e
- divulgar o conceito de sistemas integrados de tratamento de efluentes, beneficiando-se de uma primeira etapa anaeróbia ao invés de se propor diretamente um sistema aeróbio (que necessita de energia, ao invés de produzi-la).

9 Bibliografia

ABIA - Associação Brasileira de Alimentos, 1995. *O Mercado Brasileiro de Alimentos Industrializados - Produção e Demanda: Situação Atual e Perspectiva*, Departamento Econômico da ABIA, São Paulo.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química, 1991. *Inventário nacional de produção da indústria química*, Edibra, São Paulo.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, setembro de 1997. *NBR- 13969 - Tanques Sépticos*

- *Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.*

ALMANÇA, R.A.,1994. *Avaliação do uso da vinhaça da cana de açúcar na geração de energia elétrica* (Estudo de caso), Dissertação mestrado, IEE - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP - Universidade de São Paulo.

ALVALÁ, P.C.,1995. *Observações do Metano atmosférico no Brasil*, tese de Doutorado em Ciência Espacial - INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Diretoria de Controle da Poluição do Interior, 1994. *Diagnóstico da poluição ambiental no interior do estado de São Paulo*, São Paulo.

_____, 1990. *Sistema de Licenças e Penalidades - SILP*, São Paulo.

_____, outubro de 1989. *Levantamento cadastral da Operação Fossa Séptica da Praia da Enseada (lado leste)* - Ubatuba, São Paulo.

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

_____, 1995. *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 1994*, São Paulo, Série Relatórios / Secretaria do Meio Ambiente.

Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente,1996 - *A Agenda 21*, Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, Brasília.

CONLURB - Companhia de Limpeza Urbana, 1985. *Recuperação de gases combustíveis no aterro do Caju e sua utilização em veículos da Conlurb*, Rio de Janeiro.

CRAVEIRO, A.M.,1991. *Biodigestão de efluentes industriais no Brasil: avaliação do uso e difusão da tecnologia*. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia.

CUNHA, L. S., 1979. *Seminário: Gases combustíveis como opção energética*, Instituto Brasileiro do Gás.

DOESP, março de 1998. *Diário Oficial do Estado de São Paulo, Inventário Estadual de resíduos sólidos domiciliares*, Imprensa Oficial do Estado.

ENERGY POLICY, 1996. *GHG mitigation in the transport sector, por Laurie Michaelis*, Elsevier science, UK.

_____,1996. *Sustainable energy for tomorrow's world the case for an optimistic view of the future*, por Nicholas Lensen, Elsevier science, UK.

EUROGAS, 1994. *Natural Gas, A cleaner energy for a greener Europe, The Eurogas offices, Brussels.*

FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELECK, H. e MARA, D. D., 1983. *Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, Pub. World Bank, John Wiley & Sons, USA.

FERREIRA A. L., 1997. *Custos ambientais*, notas de aula, no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais do Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica Universidade de São Paulo.

_____, 1997. *Mudanças climáticas globais*, notas de aula ministradas no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais, Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FGV - Fundação Getúlio Vargas, 1992. *Aquecimento Global, O relatório do Greenpeace*, editor responsável: Jeremy Legget; tradutores Alexandre Lissovsky et alli, Editora FGV, Rio de Janeiro.

_____, 1991. *Nosso Futuro Comum - Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, 2ª edição, Rio de Janeiro.

GARCIA, J.R.A., 1997. Entrevista concedida por telefone à CETESB pelo químico da Cia. Vigor S.A., São Paulo.

GOLDEMBERG, J., 1996. *Energy, Environment & Development*, Earthscan, Genebra.

_____, 1989. *S.O.S. Planeta Terra - O efeito estufa*, São Paulo, Editora Brasiliense.

_____, 1995. *Energy, Environment and Development*. Earthscan, Genebra.

Governo do Estado de São Paulo, 1997. *Inventário de Gases de Efeito Estufa*, São Paulo.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - 1989*, Rio de Janeiro.

_____, 1991. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1991*, Rio de Janeiro.

_____, 1992. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1992*, Rio de Janeiro.

_____, 1993. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1993*, Rio de Janeiro.

_____, 1994. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1994*, Rio de Janeiro.

_____, 1995. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1995*, Rio de Janeiro.

_____, 1996. *Anuário Estatístico Brasileiro - 1996*, Rio de Janeiro.

_____, 1997. *Brasil em números*, Rio de Janeiro.

_____, abril de 1997. *Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílio*, PNAD, 1993, Rio de Janeiro.

_____, abril de 1997. *Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílio*, PNAD, 1995, Rio de Janeiro,
(Home Page do IBGE na INTERNET <http://www.ibge.gov.br>)

_____, 1980. *Censo Nacional - 1980*, Rio de Janeiro.

_____, 1991. *Censo Nacional - 1991*, Rio de Janeiro.

_____, 1996. *Censo Nacional - 1996*, Rio de Janeiro.

_____, 1990. *Levantamento por Amostragem da Indústria Nacional*, Rio de Janeiro.

IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, 1986. *Seminário sobre gás natural - Avaliação de sistemas de conversão e estudos dos efeitos da utilização de gás natural comprimido em motores de ciclo Diesel*, Rio de Janeiro.

IEA - International Energy Agency, 1991. *Greenhouse gas emissions, the energy dimension*, Paris.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995. *The Science of Climate Change - Summary for Policymakers*, Office Graphics Studio, Madrid.

_____, OECD, IEA, 1996. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell, Reino Unido.

ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos, julho/agosto de 1973. *Boletim no. 36*.

JIONLINE, junho de 1997. Site da U. S. Initiative on Joint Implementation (<http://www.ji.org/>).

LEXMOND, M.J.; ZEEMAN, G., 1995. *Potential of controlled anaerobic wastewater treatment in order to reduce the global emissions of the greenhouse gases methane and carbon dioxide*, Relatório no. 95-I Wageningen, Países Baixos.

LICCO, E.A., 1997. *Gestão de tecnologias ambientais - notas de aula ministradas no curso de Gestão e Tecnologias Ambientais do Programa em Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*.

LIMA, L.M.Q. *Tratamento do Lixo*, Biblioteca da FEI.

LUQUEL, F.M., 1985. *O leite*, publicações Europa - América.

MADRID, A., CENZANO, I., VICENTE, J.M., 1996. *Manual de indústrias de alimentos*. Livraria Varela,

Brasil.

MCT, junho de 1997. Site do Ministério da Ciência e Tecnologia na Internet, onde estão as informações de mudanças climáticas preparadas pelo MCT (<http://www.mct.gov.br>).

_____, junho de 1997. Site do Ministério da Ciência e Tecnologia na Internet, onde está o trabalho da equipe da COPPE/UFRJ (<http://www.mct.gov.br>).

METCALF & EDDY, 1991. *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*. 3 ed. Nova York: McGraw-Hill.

MIGUEZ, J.D.G., 1995. *Preparation of the Brazilian national communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

MME - Ministério das Minas e Energia, 1995. *Balço Energético Nacional*, MME, Brasília.

_____, 1997. *Programa Decenal de Geração do Setor Elétrico Brasileiro* (<http://www.mme.gov.br>).

MOISÉS R., 25 de junho de 1997. *EUA contra nova meta para emissão de gases*. O ESTADO DE SÃO PAULO.

MOUTON, C., 1984. *Methane Production and Recovery from Household Waste Landfills in Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste* edited by G.L. Ferrera, M. P. Ferranti, H. Naveau, Elsevier Applied Science Publisher, Essex, Inglaterra.

NAVEAU, H.F e FERRANTI, M.P., 1984. *Anaerobic Digestion in the E.C.*, em *Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste*, editado por G.L., Elsevier Applied Science Publisher, Essex, Reino Unido.

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos, 1996. *Implementation strategies for environmental taxes*, Head of publications Service, OCDE, França.

OECD, IEA, 1996. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell: IPCC.

OMETTO, J.G.S., 1993. *Álcool, Energia da Biomassa: Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Produção*, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, COPERSUCAR.

PARKER, C. e ROBERTS, T., 1985. *Energy from Waste - An Evaluation of Conversion Technologies*, Elsevier Applied, São Paulo.

PIERRE, C.V. e QUEZADA, R.A., 1995. *Análise de Viabilidade Econômica do Aproveitamento de Biogás Gerado em um Reator Anaeróbio*, In: 18º Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, Anais.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 1993. *Informe sobre desarrollo humano*,

CIDEAL, Madrid, Espanha.

SACHS, I., 1986. *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*, Vértice, São Paulo.

SALVADOR, N.N., 1991. *Listagem de fatores de emissão para avaliação expedita de cargas poluidoras das águas*, In: 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, trabalhos livres, Tomo IV, Goiânia - GO, V.2.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, 1992. São Paulo.

_____, 1994. São Paulo.

SEPA - Swedish Environmental Protection Agency, 1991. *The greenhouse gases - emissions and counter measures in an international perspective*, SEPA.

SILVA, Salomão A. e MARA, David D., 1979. *Tratamento biológico de águas residuárias*, 1ª edição, Rio de Janeiro, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SINDITÊXTIL - Sindicato da Indústria Têxtil e ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil, 1996. *Produção do Setor Têxtil*, São Paulo.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente, 1997. *Convenção sobre Mudança do Clima*, série Entendendo o Meio Ambiente, SMA, São Paulo, Volume IV.

SOUZA, M.E., 6 a 17 de dezembro de 1982. *Problemática da Digestão Anaeróbia dos Resíduos Industriais*. Trabalho apresentado no I Simpósio Latino - Americano sobre Produção de Biogás a partir de Resíduos Orgânicos - São Paulo.

THORNELOE, S.A., 1995. *Landfill gas recovery/utilisation - options and economics*. Apresentado na 16ª Conferência Anual sobre Energia de Biomassa e Resíduos do Institute of Gas Technology. Orlando apud IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.

USAID - United States Agency for International Development, fevereiro de 1997. *Characterization of landfill sites in Brazil for landfill gas recovery*. Business Focus Series.

USEPA - United States Environmental Protection Agency, novembro de 1996. *A guide for methane mitigation projects, Gas-to-Energy at Landfills and Open Dumps. Air and Radiation (6202)*. Editores: Mark Orlic e Tom Kerr, versão preliminar 2.

_____, janeiro de 1997. *Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in São Paulo, Brasil*.

_____, novembro de 1997. *Guia Didático sobre o Lixo no Mar*, traduzido da versão em espanhol por Célia

10 Siglas

ABIA - Associação Brasileira de Alimentos

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CONLURB - Companhia de Limpeza Urbana

FGV - Fundação Getúlio Vargas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo

IEA - *International Energy Agency*

(Agência Internacional de Energia)

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

(Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)

ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

MME - Ministério de Minas e Energia

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SEPA - *Swedish Environmental Protection Agency*

(Agência Sueca de Proteção Ambiental)

SINDTEXTIL - Sindicato da Indústria Têxtil

SMA - Secretaria do Meio Ambiente

USAID - *U.S. Agency for International Development*

(Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional)

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

(Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

UVIBRA - União de Vitivinicultores do Brasil

WRI - *World Resources Institute*

(Instituto de Recursos Mundiais)

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Expressamos nossa mais profunda gratidão ao Prof. José Israel Vargas, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de 1992 a 1999, por compartilhar conosco seus conhecimentos e suas idéias sobre as questões da mudança do clima e por sua incessante orientação e incentivo. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Luiz Carlos Bresser Pereira, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia de janeiro a julho de 1999 e ao Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de agosto de 1999 a 2002. Agradecemos, ainda, ao Dr. Roberto Amaral, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de janeiro de 2003 a janeiro de 2004 e ao Dr. Eduardo Campos, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de janeiro de 2004 a julho de 2005. Nossos agradecimentos especiais a Fábio Feldman, ex-Deputado pelo Estado de São Paulo e ex-Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, nosso reconhecimento e gratidão por seu empenho em transformar idéias em realidade. Também agradecemos a Stela Goldenstein, ex-Vice-Secretária de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Nelson Nefussi, ex-Presidente da CETESB, e Fernando Cardozo Fernandes Rei, ex-Diretor de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da CETESB, e o ex-Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Ricardo Tripoli, por seu apoio contínuo ao projeto.

capa
Chivas Produções

projeto gráfico
Jorge Ribeiro