

*Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da USP*

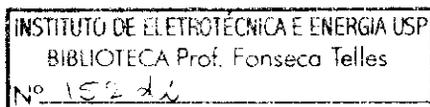
Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Escola Politécnica  
Faculdade de Economia e Administração  
Instituto de Física

João Wagner Silva Alves

***Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos***

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica, Instituto de Física, Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Eletrotécnica e Energia) para obtenção do título de Mestre em Energia.

São Paulo  
2.000



*Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da USP*

Instituto de Eletrotécnica e Energia  
Escola Politécnica  
Faculdade de Economia e Administração  
Instituto de Física

João Wagner Silva Alves

***Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos***

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica, Instituto de Física, Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Eletrotécnica e Energia) para obtenção do título de Mestre em Energia.

Banca examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ildo Luis Sauer

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Sonia Maria Manso Vieira

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Roberto Moreira

Orientador: Professor Doutor Ildo Luis Sauer

São Paulo  
2.000

ALVES, João Wagner Silva

Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos, São Paulo, [São Paulo], 2.000.

142 p, 29,7cm (PIPGE/USP, M. Sc., Energia, 2.000)

Tese - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

1. Biogás
2. Resíduo
3. Energia renovável
4. Efeito estufa
5. Meio ambiente

I. PIPGE/IEE/USP

II. Título série

## **Agradecimentos**

Foram muitas as contribuições recebidas durante estes anos e muito eu espero ainda receber e retribuir a estas pessoas. Minha gratidão a Oswaldo Lucon, Sonia Vieira, Prof. Ildo Sauer, Sônia Seger, Suely Carvalho, Fernando Rei, André Ferreira, Roberto Peixoto, Prof. Boris, José Miguês, Newton Paciornick, Tibor Kesler, Eng. Zung Chu, Wagner Alves, Álvaro Sanches, Prof. Fagá, Prof. Moreira, Prof. Guilherme, Prof. Martins, Eng. Aldo Vagner, Prof. Robert Amway, Prof. Goldemberg, Débora Goldemberg, Prof. Kartha, Prof. Lazarus, Prof. Cornetti, Prof. Vanna, Prof. Menezes, Ligth, Geraldo, Shu, Fernando Wolmer, Marilda Soares, Roberta Ventura, Nadia Paterno, Lajollo, Marilyn, Eng. Sérgio Sertório, Robinson Gomes, Cibelle Pedrosa, Cleber Covas, Ricardo Abade, Adriano Akutsu, Renato, Carlinhos, Arnaldo Augusto, Neuza Maciel e a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## **Dedico**

À minha mãe, dona Matilde e à Sarinha

## Índice

Lista de tabelas.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Lista de equações.....	ix
Acrônimos .....	ix
Resumo .....	xii
Abstract.....	xiii
<b>CAPÍTULO I INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 OBJETIVO .....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 METODOLOGIA.....	2
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
1.4.1 Fator energético.....	4
1.4.2 Fator ambiental.....	4
1.4.3 Fator econômico e social.....	6
1.5 AS QUESTÕES GLOBAIS .....	7
1.5.1 O esgotamento dos recursos naturais.....	9
1.5.2 As mudanças climáticas.....	14
1.5.3 O Inventário nacional de emissões de metano pelos resíduos .....	22
1.5.4 O banco de dados de geração de metano pelos resíduos no Brasil .....	25
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	25
<b>CAPÍTULO II GERAÇÃO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL.....</b>	<b>28</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	28
2.2 MANEJO DE RESÍDUOS NO BRASIL .....	29
2.3 MANEJO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	35
2.4 LOCAL DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS -LDRS .....	36
2.5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES - ETAE .....	44
2.6 CONCLUSÕES.....	49
<b>CAPÍTULO III TECNOLOGIA DE RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS.....</b>	<b>51</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	51
3.2 OS MERCADOS DE GÁS NATURAL COMBUSTÍVEL E BIOGÁS NO BRASIL .....	51
3.3 A PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS.....	53
3.4 MÁQUINAS TÉRMICAS ALIMENTADAS COM BIOGÁS .....	59
3.4.1 Motor de ciclo Otto ou Diesel .....	61
3.4.2 Turbinas a gás .....	63
3.4.3 Cogeração .....	63
3.4.4 Caldeiras e queima direta.....	64
3.4.5 Outros aproveitamentos .....	64
3.5 EMISSÃO DE POLUENTES .....	65
3.6 ANÁLISE ECONÔMICA .....	67
3.6.1 Análise microeconômica.....	67
3.6.2 Análise macroeconômica .....	78
3.7 CONCLUSÕES.....	79
<b>CAPÍTULO IV FATORES FACILITADORES E BARREIRAS À RECUPERAÇÃO DE BIOGÁS.....</b>	<b>81</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	81
4.2 BREVE HISTÓRICO DA RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS .....	82
4.3 MERCADO FORNECEDOR DE EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIA .....	83
4.4 RISCO DE ACIDENTE DAS INSTALAÇÕES .....	84
4.5 EXPERIÊNCIA NOS LDRS .....	87

4.6	EXPERIÊNCIA NAS ETAE .....	92
4.7	RECURSOS FINANCEIROS PARA RECUPERAÇÃO E USO DE BIOGÁS .....	97
4.7.1	Programa de Controle de Poluição - PROCOP .....	101
4.7.2	Banco Nacional de Desenvolvimento e Social - BNDES .....	103
4.7.3	Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA.....	104
4.7.4	Fundo Mundial para o Meio Ambiente (Global Environment Facility- GEF).....	105
4.7.5	O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism - CDM)....	106
4.8	CONCLUSÕES.....	109
<b>CAPÍTULO V RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>		<b>111</b>
5.1	RESUMO .....	111
5.2	CONCLUSÕES.....	113
5.3	RECOMENDAÇÕES .....	114
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>117</b>
Bibliografia.....		117
Notas .....		123
CD-ROM.....		124
Sites de Internet .....		125
 <b>Anexos</b>		
Anexo 1 - Textos relacionados ao tema.....		127
Anexo 2 - LDRS .....		131
Anexo 3 - ETAE .....		138
Anexo 4 - ETAE no Estado de São Paulo (I).....		144
Anexo 5- ETAE no Estado de São Paulo (II) .....		147
 <b>Lista de tabelas</b>		
Tabela 1 - Principais GEE: .....		16
Tabela 2 - Compromisso estabelecido no Protocolo de Quioto .....		19
Tabela 3 - Emissão de metano por resíduos no período de 1.990 a 1.994 .....		23
Tabela 4 - Emissão média de metano <i>per capita</i> gerado por resíduos no Brasil .....		24
Tabela 5 - Municípios com tratamento de esgotos no Brasil .....		31
Tabela 6 - População urbana de 1.980, 1.991 e 1.996. ....		32
Tabela 7 - Geração média de resíduos por habitante ao dia.....		32
Tabela 8 - Geração de resíduos na RMSP. ....		33
Tabela 9 - Geração de carga orgânica pelas atividades indústrias.....		35
Tabela 10 - Índice de qualidade de resíduos - IQR .....		36
Tabela 11 - Valores de DOC padrão .....		43
Tabela 12 - Composição média do lixo domiciliar .....		44
Tabela 13 - Poder calorífico de combustíveis .....		54
Tabela 14 - Especificações do GNC:.....		55
Tabela 15 - Técnicas de remoção de impurezas do biogás. ....		59
Tabela 16 - Eficiência energética típica de máquinas térmicas.....		61
Tabela 17 - Emissão de poluentes pelo uso de GNC em veículos.....		66
Tabela 18 - Emissão de poluentes pelo uso de biogás em veículos.....		66
Tabela 19 - Emissões de CO <sub>2</sub> devidas à produção de energia.....		67
Tabela 20 - Preço de combustíveis.....		68
Tabela 21 - Preço do GNC.....		68
Tabela 22 - Estimativa de custo de geração de energia elétrica no Brasil .....		69
Tabela 23 - Tarifas de energia elétrica para autoprodutores .....		69
Tabela 24 - Preço de equipamento para geração de energia elétrica com biogás .....		71
Tabela 25 - Considerações preliminares para avaliação econômica da ETAE.....		72
Tabela 26 - Geração de 500kW/380V .....		72
Tabela 27- Geração de 500kW/380V (mais dados).....		73
Tabela 28 - Composição do investimento.....		74
Tabela 29 - Balanço de emissões de GEE .....		75
Tabela 30 - Fluxo de caixa do projeto .....		76

Tabela 31 - Custo de recuperação em instalações já em operação .....	80
Tabela 32 - Parâmetros para estimativa de geração de metano.....	91
Tabela 33 - LDRS da RMSP.....	91
Tabela 34 - Companhias cervejeiras no Brasil.....	93
Tabela 35 - Despejos da cervejaria e carga poluidora .....	94
Tabela 36 - Atitudes de controle da poluição e produção mais limpa .....	98
Tabela 37 - Instrumentos econômicos com fins preservacionistas.....	100
Tabela 38 - Condições de financiamento de acordo com o porte da empresa.....	102
Tabela 39 - Compromisso de redução de emissões de GEE .....	107
Tabela 40 - Possíveis linhas de crédito para projetos de recuperação de biogás.....	110
Tabela 41 - Companhias cervejeiras no Brasil.....	116

## Lista de figuras

Figura 1 - Balanço de energia solar.....	8
Figura 2 - IDH x consumo de energia [tEP <i>per capita</i> ].....	10
Figura 3 - Indicadores ambientais em diferentes níveis de rendimento nacionais - 1.....	11
Figura 4 - Indicadores ambientais em diferentes níveis de rendimento nacionais - 2.....	12
Figura 5 - Consumo de energia no mundo.....	13
Figura 6 - Previsão de crescimento populacional (bilhões de habitantes).....	13
Figura 7 - A atmosfera da Terra.....	14
Figura 8 - Absorção da radiação pelos gases na atmosfera.....	15
Figura 9 - Concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico.....	17
Figura 10 - Ciclo do carbono: os principais reservatórios e fluxos.....	18
Figura 12 - Balanço anual de emissões e sumidouros de C 1.989 - 1.990 (GtC/ano).....	20
Figura 13 - Estimativa das emissões anuais de CH <sub>4</sub> por fontes (TgCH <sub>4</sub> /ano).....	21
Figura 14 - Setor da economia responsável pela emissão de CO <sub>2</sub> (1.990).....	22
Figura 15 - Projeção tendencial das emissões de metano pelos resíduos no Brasil.....	24
Figura 16 - Emissões de carga orgânica de cada setor industrial (%).....	28
Figura 17 - Alternativas de destino aos resíduos sólidos.....	30
Figura 18 - Alternativas de destino dos efluentes .....	31
Figura 19 - Situação da disposição final de resíduos sólidos domiciliares no Estado de São Paulo.....	36
Figura 20 - Esquema de retenção e coleta de fluidos de um LDRS.....	38
Figura 21 - Emissões de biogás gerado pelos resíduos.....	41
Figura 22 - Soma das emissões de biogás gerado pelos resíduos.....	41
Figura 23 - Número mínimo de habitantes para exploração de um LDRS .....	42
Figura 24 - Tratamento convencional de efluentes .....	45
Figura 25 - Reator anaeróbio de fluxo ascendente - RAFA.....	46
Figura 26 - Comparação entre áreas de algumas opções de tratamento de esgotos.....	47
Figura 27 - Geração de biogás por efluentes.....	48
Figura 28 - Geração de biogás (m <sup>3</sup> ) por efluentes (m <sup>3</sup> ) - histórico.....	49
Figura 29 - Composição do consumo de energia no Brasil.....	52
Figura 30 - Utilização de GNC no Brasil, por setores, média de 1.998 (mil m <sup>3</sup> /dia).....	53
Figura 31 - Poder calorífico do biogás (kcal/m <sup>3</sup> ).....	56
Figura 32 - Esquema de uma estação de biogás automotivo.....	58
Figura 33 - Sistema energético genérico.....	60
Figura 34 - Grupo gerador acionado por biogás.....	62
Figura 35 - Geração de eletricidade com turbina a gás empregando biogás purificado.....	63
Figura 36 - Sistema de cogeração .....	64
Figura 37 - Uso de biogás em caldeiras e queima direta .....	64
Figura 38 - VPL e TIR de um projeto de 500kW em ETAE pela variação do CER.....	77
Figura 39 - VPL e TIR de um projeto de 500kW em ETAE pela variação do preço da energia.....	77
Figura 40 - VPL e TIR pela variação do CH <sub>4</sub> no biogás.....	78
Figura 41 - Telas do software e-plus (USEPA 3, 1997) .....	80
Figura 42 - O aproveitamento do biogás .....	81
Figura 43 - Desenvolvimento de um estudo de análise de risco.....	86
Figura 44 - Tipo de estudo a ser elaborado na instalação industrial.....	87
Figura 45 - LDRS no Brasil.....	89
Figura 46 - Estimativa de geração de metano por um LDRS (m <sup>3</sup> /dia) .....	90
Figura 47 - Principais LDRS no Brasil.....	91

Figura 48 - Fluxograma de uma ETAE de uma cervejaria .....	94
Figura 49 - Fator de produção de biogás em função do TRH e do tempo de fermentação .....	95
Figura 50 - Vazão de biogás na ETE Barueri (m <sup>3</sup> /dia) .....	97
Figura 51 - Cooperação internacional. ....	100
Figura 52 - Estimativa do perfil das emissões de GEE no Brasil .....	103
Figura 53 - Análise das propostas de projetos pelo FNMA .....	105
Figura 54 - Funcionamento do CDM. ....	108
Figura 55 - LDRS no Brasil.....	115

## Lista de equações

Equação 1 - Projeção tendencial das emissões de metano no Brasil .....	24
Equação 2 - Estimativa de geração de metano.....	39
Equação 3 - Estimativa de geração de metano pelos resíduos sólidos.....	39
Equação 4 - Estimativa de geração de metano no LDRS.....	40
Equação 5 - Estimativa de geração de metano pelo LDRS.....	41
Equação 6 - Geração de metano em um aterro.....	43
Equação 7 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes domésticos .....	47
Equação 8 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes industriais.....	47
Equação 9 - Eficiência energética .....	60
Equação 10 - Eficiência térmica de geradores de vapor .....	61
Equação 11 - Energia para secagem.....	61
Equação 12 - Estimativa de vazão de biogás no LDRS.....	90
Equação 13 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 1.....	95
Equação 14 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 2.....	95
Equação 15 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 3.....	96

## Acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	Agência americana de Padrões e Métodos de Ensaio ( <i>American Standard Test Method</i> )
BANESPA	Banco do Estado de São Paulo SA
CDM	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ( <i>Clean Development Mechanism</i> )
CER	Certificados de Redução de Emissão ( <i>Certified Emissions Reduction</i> )
CESP	Companhia Energética do Estado de São Paulo
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CIDA	Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional ( <i>Canadian International Development Agency</i> )
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
COP	Convenção das Partes ( <i>Convention of the Parties</i> )
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CSPE	Comissão de Serviços Públicos de Energia
BOD	Demanda Bioquímica de Oxigênio ( <i>Biochemical Oxygen Demand</i> )
DOC	Carbono Orgânico Degradável ( <i>Degradable Organic Carbon</i> )
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio ( <i>Degradable Chemical Carbon</i> )
ELETROPAULO	Eletricidade de São Paulo SA.
EXIMBANK	Banco de exportações e importações do Japão ( <i>Export Import Bank of Japan</i> )
ETAE	Estação de tratamento anaeróbio de efluentes
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FNMA	Fundo Nacional do Meio Ambiente
GEF	Fundo Mundial para o Meio Ambiente ( <i>Global Environment Facility</i> )
GESP	Governo do Estado de São Paulo
GEE	Gás de efeito estufa ( <i>Greenhouse gas</i> )
GLP	Gás liquefeito de petróleo

GNC	Gás natural combustível
GNP	Produto Interno Bruto ( <i>Gross National Product</i> )
GTZ	Agência alemã de apoio a projetos de cooperação técnica ( <i>Deutsche gesellschaft für technische zusammenarbeit</i> )
GWP	Potencial de Aquecimento Global ( <i>Global Warming Power</i> )
HDI	Índice de Desenvolvimento Humano ( <i>Human Development Index</i> )
IBD	Banco Interamericano de Desenvolvimento ( <i>Interamerican Development Bank</i> )
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEE	Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQR	Índice de Qualidade de Resíduos
IRDB	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento ( <i>International Bank for Reconstruction and Development</i> )
ISO	Organização Internacional de Padrões ( <i>International Standard Organization</i> )
JI	Implementação conjunta ( <i>Joint Implementation</i> )
JICA	Agência de Cooperação técnica Internacional do Japão ( <i>Japan International Cooperation Agency</i> )
KP	Protocolo de Quioto ( <i>Kyoto Protocol</i> )
KFW	( <i>Kreditanstalt Für Wiederaufbau</i> )
LDRS	Local de disposição de resíduos sólidos
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MSWDS	Local de disposição de resíduos sólidos ( <i>Municipal Solid Waste Disposal Sites</i> )
NBR	Norma Brasileira
ODA	Administração para o Desenvolvimento Ultramarino ( <i>Overseas Development Agency</i> )
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico ( <i>Organization for Economic Co-operation and Development</i> )
ORSTOM	Instituto Francês de Pesquisa para o Desenvolvimento em Cooperação ( <i>L'institut Français de Recherche Scientifique pour le Developpement en Coopération</i> )
PCF	Fundo Protótipo de Carbono ( <i>Prototype Carbon Fund</i> )
PCI	Poder calorífico inferior
PFC	Programa de Financiamento ao Controle
PIB	Produto Interno Bruto (ou GNP)
PIPGE-USP	Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da USP
ppmv	partes por milhão em volume (1/1.000 = 0,1%)
ppbv	partes por bilhão em volume (1/1.000 000 = 0,000.1%)
PROÁLCOOL	Programa Brasileiro do Alcool
PROBIO	Programa do Governo do Estado de São Paulo de Preservação da Biodiversidade
PROCLIMA	Programa do Governo do Estado de São Paulo sobre Mudanças Climáticas Globais
PROCONVE	Programa Nacional de Controle da Poluição da Ar por Veículos Automotores
PROCOP	Programa de Controle de Poluição
PROZONESP	Programa do Governo de São Paulo de Proteção da Camada de Ozônio
RAFA	Reator anaeróbico de fluxo ascendente
RMSP	Região metropolitana da cidade de São Paulo
SABESP	Companhia de serviços de água e esgotos do Estado de São Paulo
SVMA-SP	Secretaria do Verde e do Meio ambiente da Prefeitura do Município de São Paulo
SMA	Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo
SSV	Sólidos em suspensão voláteis
SUDAM	Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia
SUDENE	Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste
tEP	Tonelada equivalente de petróleo

TJLP	Taxa de juros de longo prazo
TRH	Tempo de retenção hidráulica
UN	Organização das Nações Unidas ( <i>United Nations</i> )
UNCED	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente ( <i>United Nations Conference about Environment and Development</i> ), também chamada Rio 92 ou Cúpula da Terra ( <i>Earth's Summit</i> )
UNDP	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento ( <i>United Nations Development Program</i> )
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente ( <i>United Nations Environment Program</i> )
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ( <i>United Nations Industrial Development Organization</i> )
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas ( <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> )
US\$	Dólares Americanos
USEPA	Agência americana de proteção ambiental ( <i>United States Environment Protection Agency</i> )
USP	Universidade de São Paulo
WB	Banco Mundial ( <i>World Bank</i> )

### Substâncias

CFC	Clorofluorcarbonos
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DDT	Diclorodifeniltricloroetano (C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub> )
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NMHC	Hidrocarbonetos não metânicos ( <i>non methane hydrocarbon</i> )
NMVOC	Compostos orgânicos voláteis não metânicos ( <i>non-methane volatile organic compounds</i> )
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfídrico, gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre

### **Abreviações usadas nas unidades de medida**

k	quilo	=	10 <sup>3</sup>
M	mega	=	10 <sup>6</sup>
G	giga	=	10 <sup>9</sup>
T	tera	=	10 <sup>12</sup>
P	peta	=	10 <sup>15</sup>
E	exa	=	10 <sup>18</sup>
t	tonelada	=	10 <sup>3</sup> kg
Gg	giga grama	=	1.000t

## Resumo

O objetivo deste trabalho é discutir as principais ações para que iniciativas de recuperação e uso de biogás gerado por resíduos sejam bem sucedidas.

A discussão se inicia com informações a respeito do aumento do efeito estufa e da escassez de recursos naturais. O Brasil, um país em desenvolvimento, deve promover melhorias sanitárias em todos os níveis: coleta e disposição de resíduos sólidos, esgotamento e tratamento dos esgotos domésticos e comerciais e contenção e tratamento de efluentes industriais. O país deve também otimizar o uso de seus recursos energéticos preservando a qualidade ambiental.

Ao final da Rio 92, o Governo Brasileiro assumiu o compromisso de realizar inventários de emissões dos GEE. Nestes se inclui o inventário de emissões de metano gerado pela degradação anaeróbia de resíduos. Sabe-se que, pela degradação anaeróbia dos resíduos, em 1.990, o Brasil emitia cerca de 800Gg de metano ao ano e estima-se 900Gg para o ano de 2.000. Nesse total não se identifica nenhuma iniciativa de recuperação energética bem sucedida em andamento.

A maior parte do biogás é gerada pela degradação dos resíduos sólidos. Para que se promova a recuperação do biogás nos locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS) deve-se, em primeiro lugar, promover a correta disposição dos resíduos sólidos. Deve-se fazer ainda com que o correto manejo do aterro inclua a recuperação do biogás gerado. Lembrando que esta atividade, na maioria dos casos, é responsabilidade do poder público, deve-se incluir ao processo a garantia de continuidade da atividade de uma gestão administrativa para outra.

Cerca de 11% do metano gerado pela degradação anaeróbia de resíduos vem de efluentes industriais. O processo anaeróbio tem uma intensidade energética bastante inferior à do processo convencional. Para que uma indústria opte pela tecnologia anaeróbia, esta deve ter um eficiente controle do processo industrial impedindo que o efluente seja contaminado por substâncias tóxicas aos organismos anaeróbios.

A iniciativa privada, diante de uma oportunidade de negócio lucrativo, naturalmente cria iniciativas replicáveis. Há vários países desenvolvendo projetos de recuperação de biogás. No Brasil são identificados vestígios dessa atividade, ocorrida nas décadas de 1.970 e 1.980. O encolhimento da economia nacional, a diminuição dos preços internacionais de combustíveis fósseis e a falta de incentivos ambientais e tributários podem ser responsabilizados pelo fim dos projetos.

Hoje, a possibilidade de obtenção de ganhos econômicos pela emissão evitada de GEE através dos certificados de redução de emissões (CER) associada a incentivos ambientais e fiscais pode criar expectativas favoráveis para essa atividade.

## **Abstract**

The objective of this thesis is to discuss the main actions to achieve the success of the recovery and use of biogas generated by wastes initiatives.

The discussion begins with information regarding the increase of the greenhouse effect and the shortage of natural resources. Brazil, a developing country, should promote sanitary improvements in all levels: collection and disposal of solid wastes, domestic and commercial wastewater sewage and treatment, as well as industrial wastewater treatment. The country must also optimize the use of its energy resources preserving the environmental quality.

At end of Rio 92, the Brazilian Government has assumed the commitment to conducting emission inventories of greenhouse gases. Among these is included the inventory of methane emissions generated by the anaerobic degradation of wastes. It is known that in 1.990 Brazil emitted approximately 800Gg of methane (CH<sub>4</sub>) and it is estimated that in the year 2.000 more or less 900Gg will be emitted. From this total there are not any identified initiative of energy recovery ongoing well succeeded.

The majority of biogas emitted by wastes comes from solid waste degradation. To promote the biogas recovery in municipal solid waste disposal sites (MSWDS) it is necessary, first of all, to promote the correct solid waste disposal. It should also that the correct landfill management includes the recovery of the generated biogas. Reminding that this activity, in most of the cases, is duty of the public sector, should be included to the process the guaranteed continuity of the activity from an administration to the next.

About 11% of the methane generated by anaerobic degradation of wastes come from industrial wastewater. The anaerobic process has energy intensity much lower than the conventional process. To an industry chose the anaerobic technology, it should have an efficient control of industrial process avoiding the effluent contamination by substances toxic to the anaerobic organisms.

The private initiative, facing an opportunity of profitable business, naturally creates replicable initiatives.

Internationally, there are several countries developing projects of biogas recovery. In Brazil are identified vestiges of this activity, occurred in the 1.970's and 1.980's. The contraction of the national economy, the decrease of international fossil fuel prices and the lack of environmental and tax incentives can be responsible for the end of such projects.

Today, the possibility of obtaining economic gains for greenhouse gases emission reductions incentives through CER associated to environmental and fiscal incentives can create favorable expectations for this activity.

## Capítulo I INTRODUÇÃO

É notório o problema ambiental causado pela precariedade no gerenciamento de resíduos no Brasil. Sabe-se que há muito por ser feito na área de saneamento. Em determinados Estados da região Nordeste do país há frações inferiores a 30% da população servida por serviços de coleta de resíduos (FUNDAÇÃO IBGE, 1.996). Apesar de haver serviços de coleta de esgotos atendendo a grande maioria da população urbana do país, muito pouco destes esgoto é tratado antes de ser lançado nos corpos d'água. Mesmo os efluentes industriais tratados a uma taxa mínima de eficiência de 85%, causam poluição.

Portanto a primeira observação que deve ser feita é que pouco dos resíduos gerados têm um destino final adequado.

Desse modo a recuperação do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos encontra uma série de problemas que nem sempre são relativos à prática da recuperação e sim à tecnologia empregada no manejo ou às dificuldades para se desenvolver uma ação que sucede ao saneamento.

Esta recuperação deve ser praticada reduzindo-se ao mínimo os fatores que influenciam negativamente no seu desenvolvimento. Discutir as barreiras e os fatores facilitadores para tal é a contribuição deste trabalho.

### 1.1 Apresentação

As políticas ambientais do Governo do Estado de São Paulo têm referência nos princípios da Agenda 21. O PROZONESP (Programa de proteção à camada de Ozônio), o PROBIO (Programa de conservação da biodiversidade), o Programa de Gestão Sustentável de Recursos Hídricos são exemplo disso o Programa Estadual de Mudanças Climáticas Globais - PROCLIMA contribui para cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo Governo Federal na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC), realizada no Rio de Janeiro em 1.992, promovendo formas de redução das emissões de GEE.

Estando concluído o Inventário Nacional de Emissões de Metano Gerado pelo Manejo de Resíduos dos anos de 1.990 a 1.994 (ALVES & VIEIRA, 1.998), passa-se a procurar formas de redução de emissões de GEE, seja pela preservação/recuperação de áreas florestais, pelo uso eficiente de energia ou pela substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, como energia solar, eólica ou biomassa.

O uso energético do biogás gerado pelos resíduos é um dos princípios de desenvolvimento sustentável aplicável à indústria e governo, aumentando qualidade operacional e ambiental.

Na legislação ambiental são encontradas restrições para emissões de poluentes como são Monóxido de Carbono (CO), o Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e os Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Todavia os GEE, cujos principais são o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) e outros 25 além do vapor d'água não têm as características dos poluentes tradicionais. Porém as atividades humanas que os emitem

estão provocando aumento de sua concentração atmosférica e este está diretamente relacionado ao aumento do efeito estufa e às mudanças climáticas.

## **1.2 Objetivo**

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é realizar um diagnóstico das emissões do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos no Brasil e das perspectivas para recuperação e uso energético do metano contido neste biogás.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Visando alcançar o objetivo geral, são objetivos específicos deste trabalho:

Revisar os principais conceitos ambientais e sanitários relevantes para a análise das questões.

Caracterizar as principais tecnologias de manejo de resíduos empregadas no Brasil dedicando especial atenção àquelas com geração de biogás devida a degradação anaeróbia.

Identificar as diferentes tecnologias para recuperação de biogás.

Avaliar a viabilidade técnico-econômica de recuperação de biogás.

Avaliar geográfica, qualitativa e quantitativamente a estimativa de emissões de metano pela digestão anaeróbia de resíduos no Brasil.

Discutir fatores de incentivo e barreiras à recuperação de biogás.

## **1.3 Metodologia**

Este trabalho será desenvolvido da seguinte maneira:

1. Revisão bibliográfica. Os acervos mais consultados são os das bibliotecas da CETESB, do IEE e do IPT, são ainda utilizadas informações disponíveis na Internet.
2. Análise do banco de dados sobre locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS) e estações de tratamento anaeróbio de esgotos domésticos e industriais (ETAIE) da CETESB.
3. Análise das condições de saneamento e energia focando possíveis aproveitamentos, definindo a tecnologia disponível no mercado e respectivos custos.

Uma das barreiras para o desenvolvimento da recuperação do biogás é o próprio mercado fornecedor de equipamentos ou projetos. Portanto este trabalho identifica

possíveis executores de projetos, locais onde estes projetos podem ser desenvolvidos e recursos que podem facilitar seu desenvolvimento no Brasil.

4. Visitas técnicas e entrevistas com responsáveis pela operação de locais de disposição de resíduos com digestão anaeróbia.

A Região Metropolitana de São Paulo conta com vários LDRS, bem como ETAE com geração de biogás. A elaboração do inventário de emissões de GEE por resíduos (ALVES & VIEIRA, 1.998) demonstrou que algumas tentativas de recuperação fracassaram e que apesar de haver locais com geração de metano, nenhum caso bem sucedido de recuperação é conhecido.

Deve-se, portanto, resgatar a experiência de projetos anteriores definindo os principais motivos para o seu insucesso.

5. Análise dos instrumentos de financiamento de projetos energéticos e ambientais visando o estabelecimento de projetos demonstrativos em escala real.

Considerando o fato de não haver uma experiência de recuperação de biogás em andamento no Brasil e que tal recuperação pode gerar inúmeros benefícios, acredita-se que mecanismos de financiamento devam auxiliar a formação de um mercado para projetos desse tipo.

#### **1.4 Justificativa**

No ano de 1.997 a CETESB iniciou, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, a execução do Inventário Nacional de Emissões de Metano Gerado pelo Manejo de Resíduos, feito de acordo com a metodologia estabelecida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC).

Concluído ao final de 1.998, este inventário inclui um banco de dados com ETAE e LDRS em todo o Brasil. Esse banco de dados armazena informações de LDRS e ETAE, essas informações são objeto de atualização permanente e traçam o retrato da situação no Brasil.

O IPCC estima que dentre as emissões antropogênicas de metano, as geradas pela decomposição anaeróbia dos resíduos contribuem com aproximadamente 13 a 31% da estimativa de 375Tg ( $10^6$ t) de Metano lançadas anualmente em todo o planeta (IPCC, 1.996).

A partir da conclusão do inventário de emissões de metano e das informações disponíveis nesse banco de dados sabe-se que, no país, as emissões de metano pela digestão anaeróbia de resíduos sólidos são dez vezes superiores às emissões pela digestão de efluentes industriais e vinte vezes superiores às emissões de metano pela digestão dos esgotos domésticos.

Apesar de ser amplamente divulgada, a recuperação do Metano contido no biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos não é praticada no Brasil.

A precariedade do sistema sanitário nacional é uma barreira para a viabilização da recuperação do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos, uma vez que, tanto administradores públicos quanto privados dão-se por satisfeitos em ter os resíduos, sob sua responsabilidade, esgotados e tratados ou coletados e aterrados, sendo secundária a recuperação do biogás gerado no processo.

No Brasil a grande maioria dos resíduos sólidos é destinada a lixões enquanto que os esgotos domésticos, quando coletados, são lançados sem tratamento, poluindo o solo e os corpos d'água próximos aos centros urbanos.

O referido inventário conclui que não estão disponíveis informações sobre a composição dos resíduos, sobre a situação dos sistemas de tratamento de resíduos, quer sejam resíduos sólidos ou líquidos e ainda, que não há recuperação do biogás.

Comparadas às emissões de metano pelos ruminantes, pelos reservatórios de hidrelétricas, ou pelos arrozais, as emissões de biogás pelo manejo de resíduos apresenta elevada concentração de metano o que tende a tornar mais viável a sua recuperação.

A seguir são destacados fatores energéticos, ambientais e econômicos motivadores deste estudo.

#### 1.4.1 Fator energético

O inventário de emissões de metano gerado pela digestão anaeróbia de resíduos concluiu que naquele ano de 1.994, 806Gg de CH<sub>4</sub> (ALVES & VIEIRA, 1.998) foram emitidas para a atmosfera. Esta quantidade equivale a 10<sup>6</sup>tEP, neste mesmo ano foram importadas 57,7 10<sup>6</sup>tEP (MME, 1.996) entre importações de petróleo, carvão e eletricidade. O que equivale dizer que um amplo programa de recuperação de biogás em seu estágio maduro não deve superar a 1% do total de importações de energia.

Com data de início de operação prevista para o início de 1.998, o gasoduto Brasil - Bolívia, que tem capacidade para 16 expansível até 32 milhões de metros cúbicos ao dia (OGUNLESI, 1.996), elevando a participação do gás natural combustível - GNC na matriz energética nacional dos atuais 2% para algo em torno de 10% (DUTEMPLE, 1.996) é um fator facilitador ao uso do biogás.

Como o GNC, o biogás, pode ser utilizado em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. Seu uso residencial e comercial pode ser para cocção de alimentos e aquecimento de água, na indústria, seu uso pode ser como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, na área de transportes, pode ser utilizado em ônibus e automóveis, substituindo o Diesel, ou a gasolina.

#### 1.4.2 Fator ambiental

As medidas da concentração do metano atmosférico analisado a partir de amostras de gelo escavado em profundidades que chegam a 2 km (BODEN et al., 1.990) passaram de algo em torno de 0,5 partes por milhão em volume (ppmv) no período pré industrial para atuais 1,7ppmv.

A participação do metano no aumento do efeito estufa, entre o período pré industrial até 1.980, passou de 15 para 18% nos anos 80 (KELLY, 1.992).

Dentre as fontes de emissão antropogênicas de metano, a digestão anaeróbia de resíduos é responsável por 13 a 31% por cento as emissões antropogênicas de metano no planeta (IPCC, 1.992, *apud* IPCC, 1.995).

Tanto a produção de resíduos sólidos, quanto a geração de esgotos domésticos, são proporcionais à população. Fatores como renda média *per capita*, índice de desenvolvimento humano e política nacional de redução de emissão de resíduos domésticos podem influenciar na quantidade média de resíduos gerados por habitante em uma determinada região ou país.

Tomando a renda *per capita* como um parâmetro de comparação, pode-se supor que uma maior renda *per capita*, até um nível de saturação, corresponde a um mais elevado nível de consumo de energia *per capita*, um mais elevado padrão de consumo, enfim a um mais elevado padrão de vida.

A geração de esgotos domésticos, é uma característica que não sofre grandes mudanças com o aumento da renda *per capita* da população.

Todavia considerando a geração de resíduos sólidos por uma população A, esta é proporcional ao seu consumo de alimentos, roupas e energia, uma população B com mesmo número de habitantes e renda *per capita* inferior à população A, terá um consumo menor, portanto gerará uma quantidade inferior de resíduos.

Da mesma forma, uma população C com número de habitantes igual à população A e mesma renda *per capita*, mas com uma política de redução de geração de resíduos, mesmo sem que se observe redução no consumo, esta gerará uma quantidade inferior de resíduos.

O que se conclui é que a elevação do padrão de vida da população induz a uma elevação na geração de resíduos, mas que políticas de incentivo à redução de geração de resíduos devem ser criadas.

Recursos remediativos são o emprego de tecnologias alternativas, como reciclagem, compostagem, incineração e disposição em LDRS.

Considerando que a disposição dos resíduos em LDRS deveria ser um recurso alternativo à reciclagem ou compostagem, a realidade mostra que está é concretamente a única alternativa praticada. Deve-se lembrar que, com respeito às alternativas de disposição em LDRS, reciclagem ou mesmo compostagem no Brasil a responsabilidade pela coleta e disposição final dos resíduos é das administrações municipais.

É nos planos diretores de cada município onde são definidas as características de ocupação e uso do solo, a possibilidade ou não de instalação de indústrias e os resíduos que estas irão gerar. Portanto o município deve ter condições garantidas as condições para gerir, os seus efluentes e seus resíduos sólidos.

Ao contrário do esperado, por não haver uma política nacional de gerenciamento de resíduos, o que sai da indústria na forma de produto não está subordinado ao controle de geração de resíduos do município e este, de uma forma ou de outra, deve dar àquele produto, quando transformado em resíduo, um destino final.

A responsabilização do fabricante pelo resíduo gerado após o consumo do produto, definida no projeto de lei de gerenciamento de resíduos do Estado de São Paulo (GESP 6, 1.998) levaria a indústria a preocupar-se em empregar materiais recicláveis e que estes tenham um mercado consumidor que arque com, pelo menos, uma parte do custo de reciclagem.

Não se deve esquecer que a incineração é um processo que exige o emprego de alta tecnologia para que não sejam emitidos poluentes ainda mais danosos que os primeiros. E além disso a incineração de resíduos, grosseiramente consiste na mudança de estado do resíduo, que incinerado passa a ter sua disposição final na atmosfera em lugar do solo.

Empregar um combustível gerado a partir da digestão do resíduo implica em obter-se um recurso que contribui para o custeio do saneamento. Além disso, seu uso implica em se evitar o lançamento de um GEE à atmosfera e ainda se evita o uso de um combustível fóssil que emite CO<sub>2</sub>, outro GEE que contribui para o aumento do efeito estufa.

#### 1.4.3 Fator econômico e social

Dentre as alternativas para redução de emissão de GEE, a recuperação do metano gerado pelos resíduos deve ser uma das de menor custo. Estudos recentes indicam que a mitigação de GEE é mais barata quando são mitigados GEE "não-CO<sub>2</sub>", ou seja, mitigação de metano, óxido nítrico, ozônio ou outro GEE de maior GWP que o CO<sub>2</sub>.

A recuperação do metano emitido pelos LDRS e ETAE é uma atividade econômica geradora de empregos que pode ser praticada em todo o país com amplos benefícios sociais, econômicos e ambientais.

O que se observa hoje é uma tendência de especialização nas atividades das indústrias: determinada empresa alimentícia produz, por exemplo: chocolate, terceirizando as atividades de contabilidade, limpeza, manutenção das máquinas e tudo o que não for diretamente ligado ao processo produtivo. O tratamento dos efluentes industriais, como as demais atividades das empresas, tem sido terceirizado.

A recuperação do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos efluentes ou pela digestão anaeróbia dos resíduos sólidos não é a atividade fim da empresa que produz o alimento, da cervejaria ou do LDRS, não é, nem mesmo a atividade fim da empresa terceirizada encarregada de tratar os efluentes industriais.

Esta é uma atividade de geração energética especializada que implica benefícios econômicos e sociais. Alguns desses benefícios são: geração local de empregos, desenvolvimento tecnológico de empresas de saneamento e energéticas e otimização

da utilização local de recursos reduzindo assim a necessidade da procura por novos recursos naturais.

### 1.5 As questões globais

A discussão a respeito de temas ambientais tem se transformado à medida que o ser humano modifica seu entendimento sobre este tema.

Em 1870 observaram-se problemas de saúde associados à poluição causada pela exploração de minas de carvão (JETRO, não datado). Na década de 60 foi proibido pela United States Environment Protection Agency (USEPA) o uso do DDT responsável ao mesmo tempo pela proteção de colheitas e pelo extermínio de pássaros e insetos na lavoura dos Estados Unidos.

Nas décadas de 70 e 80 houve contaminação ambiental da Baía de Minamata no Japão com um total de 50 mortes e 2.200 vítimas de envenenamento; o acidente com o petroleiro Exxon Valdez no Alasca gerou prejuízos para a companhia de petróleo Exxon que ultrapassam 10 bilhões de dólares (MOURA, 1.998); o acidente em Bhopal provocando 2.500 mortes foi consequência de um vazamento de resíduos tóxicos da companhia Union Carbide.

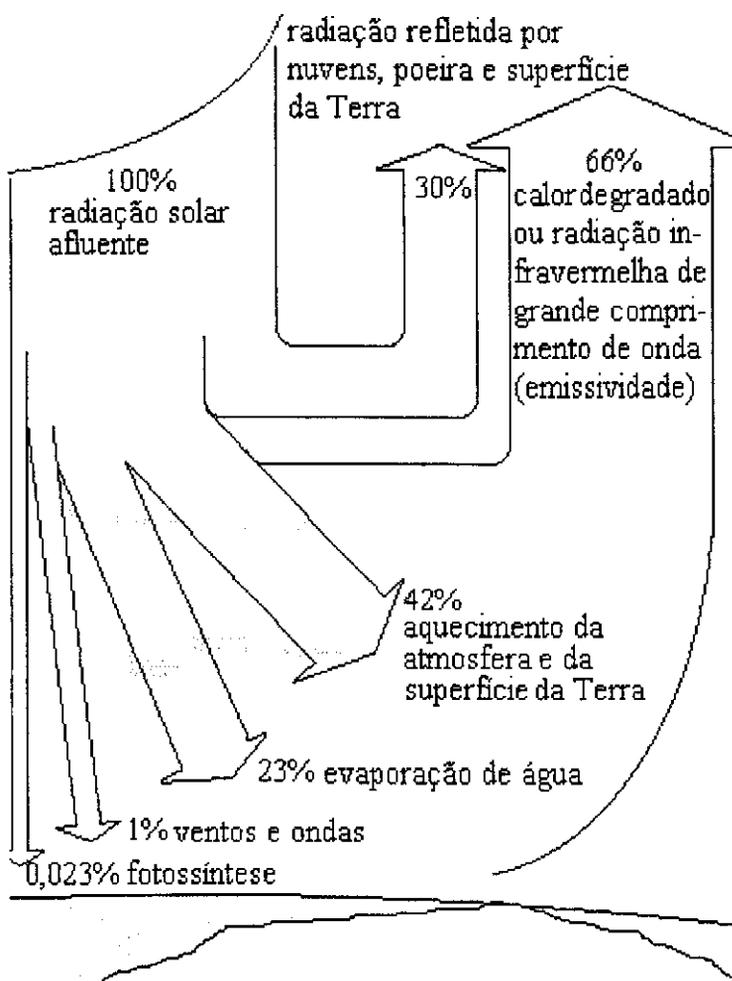
Em 1976, houve o acidente de Seveso, na Itália. Uma explosão em uma indústria química da região produziu uma nuvem de contendo dioxinas nesta área, expondo a população e matando centenas de animais. O acidente de Chernobil na União Soviética, hoje Ucrânia, provocou a evacuação de mais de 100.000 pessoas e hoje 270.000 pessoas vivem em área contaminadas com Césio-137.

A conscientização ambiental aliada ao esgotamento naturais resultou, na década de 90 em uma série de acordos e tratados internacionais que têm como principal marco a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (United Nations Conference about Environment and Development - UNCED). As empresas passam a procurar meios de produção menos agressivos ao meio ambiente.

WEINER, (1.992) utiliza um sistema composto por sete esferas para interpretar o planeta: Gelo, Mar, Vida, Ar, Sol, Litosfera e Inteligência. Segundo WEINER, estas esferas interagem entre si e a ação sofrida por uma delas repercute nas demais.

A ação das esferas gelo, mar, ar e Sol resulta na condição climática do planeta e da influência que estas exerce na vida, como por exemplo a disponibilidade de água para a sobrevivência humana o que inclui a geração energética, o cultivo e a criação de animais.

Como ilustra a Figura 1, das emissões solares, 30% delas são refletidas pelas nuvens, poeira e superfície da Terra, 42% são responsáveis pelo aquecimento da atmosfera e da superfície da Terra e 23% provocam a evaporação de água. Apenas 0,023% da energia solar é consumida pelo processo de fotossíntese das plantas produzindo alimentos, energia e bens derivados de biomassa.



**Figura 1 - Balanço de energia solar**

Fonte: MILLER, 1.985 *apud* BRAGA J<sup>R</sup>, 1.994

As riquezas da litosfera definem a viabilidade, ou não do florescimento de uma civilização. Por meio de erupções, podem ser lançadas à atmosfera, nuvens de poeira vulcânica que influenciam no clima causando um efeito inverso ao dos GEE (WEINER, 1.992).

A inteligência, segundo WEINER é representada pela civilização e a influência que esta exerce na vida do planeta. São destaques desta ação o represamento de rios, o favorecimento e disseminação em escala global de determinadas espécies vegetais ou animais como gado e soja e, mais recentemente, danos ambientais como desmatamento e desertificação devidos ao uso predatório do solo.

A crescente conscientização ambiental dos povos tem levado os países a firmar acordos internacionais para redução da poluição ou preservação da fauna e flora em todo o globo. Podem ser citados pelo menos 59 tratados internacionais firmados desde 1959 até 1.994 (GESp 7, 1.997).

Dentro deste contexto, realizou-se no Brasil em 1.992 a Cúpula da Terra, onde foram firmados tratados que visam influenciar o padrão de consumo de mais de cento e cinquenta países, como por exemplo, a proibição de importação de substâncias

consideradas poluentes persistentes ou a proibição de produção de outras igualmente perigosas ao meio ambiente.

A UNFCCC, firmada pelo Brasil durante a Cúpula da Terra, definiu que todos os países, seus signatários, deveriam elaborar inventários de emissão de GEE.

As Convenções das Partes (COP) até 1.999 totalizam quatro (UNFCCC, 1.999): Em Berlim, 1.995 ocorreu a COP1, em Genebra, 1.996 a COP2, em Quioto, 1.997 a COP3 e em Buenos Aires, 1.998 a COP4.

Considerando que a discussão mundial sobre as mudanças climáticas teve início em 1.972 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference about Human Environment - UNCHE), deve-se destacar o pouco tempo decorrido para que a comunidade científica internacional estabeleça um consenso a respeito deste assunto.

A UNFCCC ocorreu em 1.992, reunindo os principais países causadores do aumento do efeito estufa, teve como resultado o texto da Convenção que foi firmado por 166 países.

Resultante do COP3, o Protocolo de Quioto estabelece os compromissos assumidos pelos países desenvolvidos definindo em suas metas quantidades a serem mitigadas e prazos para que isso se verifique.

### 1.5.1 O esgotamento dos recursos naturais

Existem grandes diferenças entre os padrões de consumo dos povos de países desenvolvidos e em desenvolvimento. A renda *per capita* em um país desenvolvido que é sempre superior a US\$20.000 ao ano, como nos Estados Unidos é de US\$24.700, em países em desenvolvimento quando cai para valores inferiores a US\$5.000 como é no Brasil igual a US\$3.170 (WRI, 1.996).

De acordo com a USAID (não datado), dois bilhões de pessoas no mundo ainda não desfrutam dos benefícios disponíveis através do emprego de recursos energéticos como instalações de conforto térmico, iluminação, comunicação, saúde, alimentação, educação, produção industrial e transporte.

Como pode ser observado na Figura 2, a qualidade de vida, até um certo ponto de saturação, está diretamente relacionada ao consumo de energia. Enquanto os países cuja economia fundamentada em atividades agrícolas, com baixo uso de energia *per capita* e baixo índice de desenvolvimento humano (IDH); situam-se na extremidade inferior esquerda, os países industrializados situam-se na extremidade superior direita do gráfico.

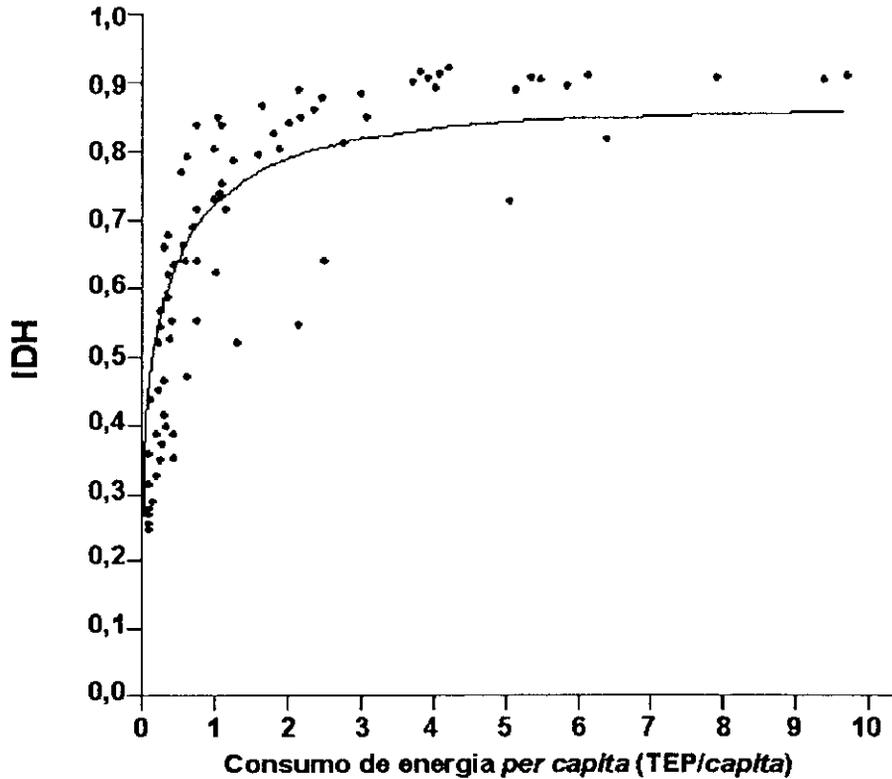


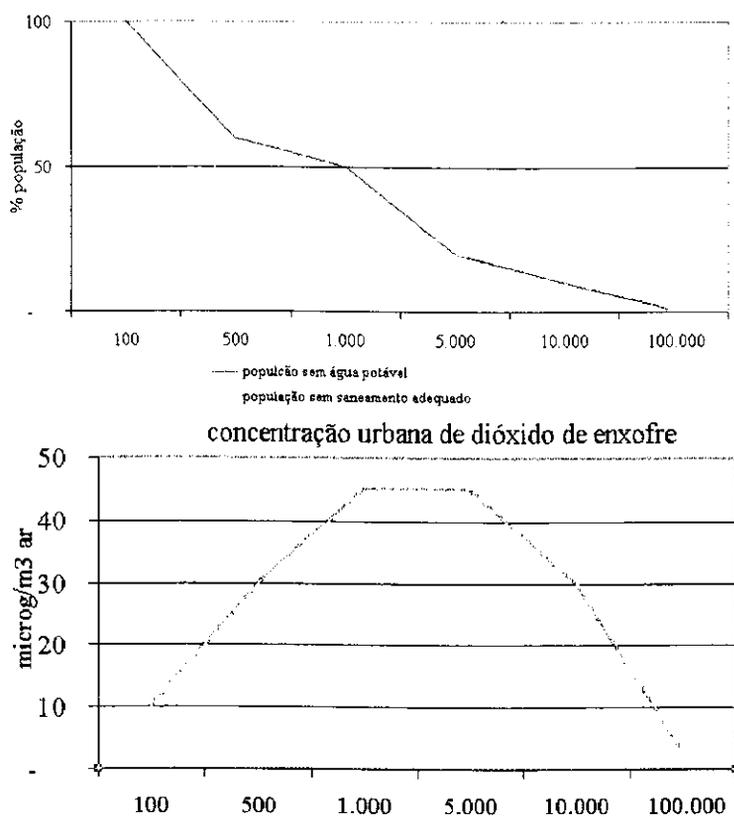
Figura 2 - IDH x consumo de energia [tEP *per capita*]

Fonte: GOLDEMBERG et al., 1.988.

A medida em que se observa o aumento da renda *per capita* observa-se melhora das condições ambientais. Em países onde esta renda é extremamente baixa a poluição atmosférica é menor, isso devido à menor quantidade de máquinas e motores em funcionamento, responsáveis pela emissão destes poluentes.

Outro estudo, considerando o índice de desenvolvimento humano (Human Development Index – HDI) e a renda *per capita* (WRI, 1.996), apresentando indicadores sociais em função da renda *per capita*. Neste estudo, da mesma forma, observa-se que as populações dos países com baixa renda e baixo IDH a geração de resíduos, refletindo o padrão de consumo, é reduzida quando comparada à geração de resíduos dos povos dos países desenvolvidos.

Tomando como referência a renda *per capita* nacional de diferentes países, na Figura 3, observa-se que indicadores ambientais como: disponibilidade de água potável, saneamento, concentração atmosférica poluentes em área urbana são melhorados quando ocorre aumento da renda *per capita*,



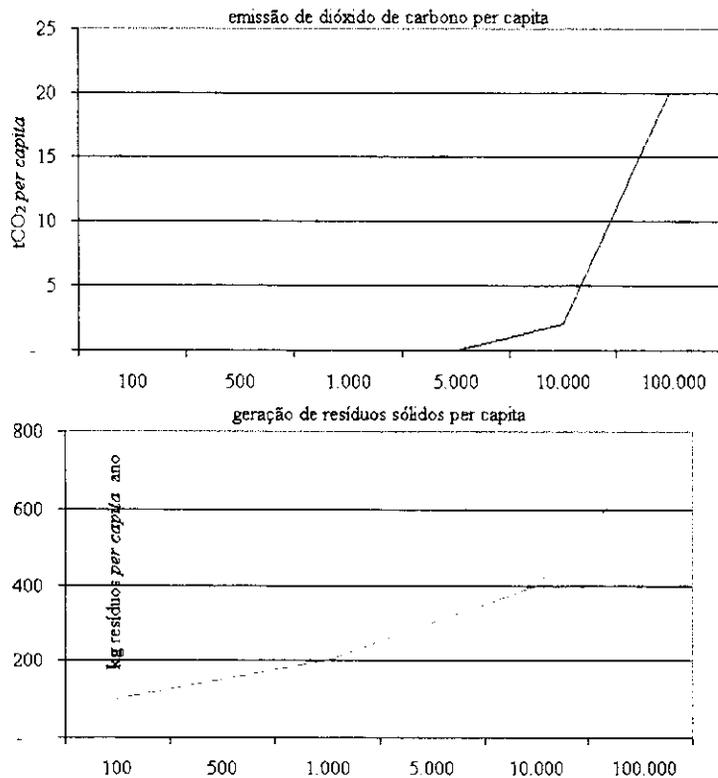
**Figura 3 - Indicadores ambientais em diferentes níveis de rendimento nacionais - 1.**

a medida de população sem água ou saneamento é dada em percentual  
a concentração urbana de dióxido de enxofre é expressa em microgramas por metro cúbico de ar.

A renda *per capita* é expressa em US\$/ano.

Fonte: WB, 1.992 *apud* WRI, 1.996.

Enquanto que outros indicadores como geração de resíduos *per capita* e emissões de dióxido de carbono *per capita* pioram.



**Figura 4 - Indicadores ambientais em diferentes níveis de rendimento nacionais - 2.**

a emissão de dióxido de carbono é expressa em toneladas *per capita* ao ano.

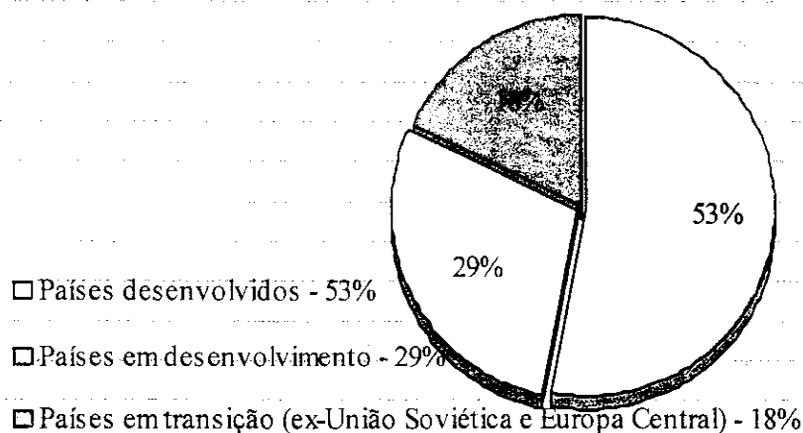
A geração de resíduos sólidos é expressa em kg resíduos sólidos ao ano.

a renda *per capita* é expressa em US\$/ano.

Fonte: WB, 1.992 *apud* WRI, 1.996.

Esta informação leva a crer que a melhoria das condições médias de vida, de acordo com o modelo de desenvolvimento estabelecido, implica no aumento da geração de resíduos e no crescimento das atuais taxas de aumento da concentração de GEE na atmosfera.

Como se observa na Figura 6, outra observação feita a partir do estudo do WRI, (1.996) é que mais da metade da energia consumida no mundo é consumida pelos países da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (Organization for Economic Co-operation and Development-OECD).

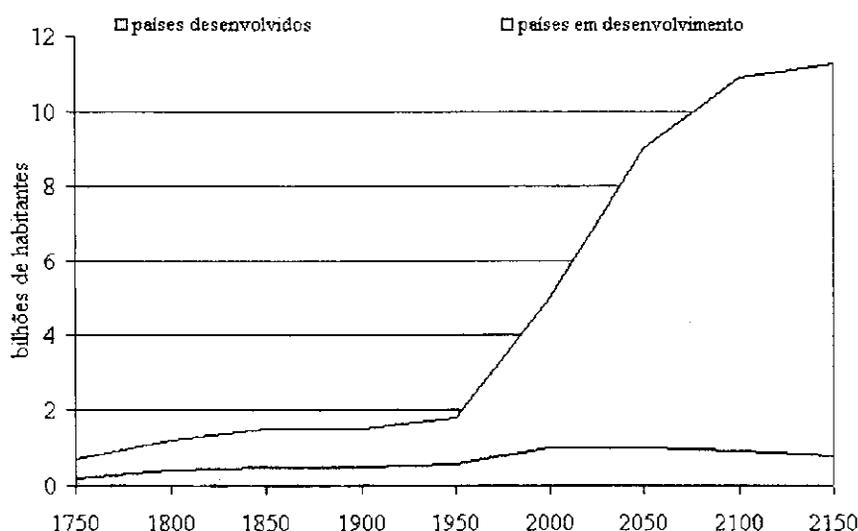


**Figura 5 - Consumo de energia no mundo**

Fonte: WRI, 1.996

O consumo de energia *per capita* em um país da OECD é superior a 100GJ, chegando a 317 nos Estados Unidos, enquanto que o consumo de energia *per capita* em um país em desenvolvimento esta na ordem de 24GJ, como é no Brasil ou 1GJ em Uganda e muitos países da África (WRI, 1.996).

As previsões para as próximas décadas indicam ainda a manutenção do crescimento populacional nos países em desenvolvimento, enquanto que o número de habitantes de países da OECD permanecerá estável resultando na elevação da população mundial dos atuais 6 bilhões de habitantes para 10 bilhões em 2050 (WRI, 1.996), sendo que deste total cerca de 80% da população estará em países em desenvolvimento, como se vê na Figura 6.



**Figura 6 - Previsão de crescimento populacional (bilhões de habitantes)**

Fonte: WRI, 1.996

Concluindo, é preciso que se façam duas considerações: a primeira é a de que são esperados elevado crescimento populacional e desenvolvimento dos países em desenvolvimento. A segunda consideração é a de que esses povos dos países em

desenvolvimento almejam e necessitam elevar os seus padrões de vida, elevando em consequência o nível de renda, consumo de energia e recursos naturais.

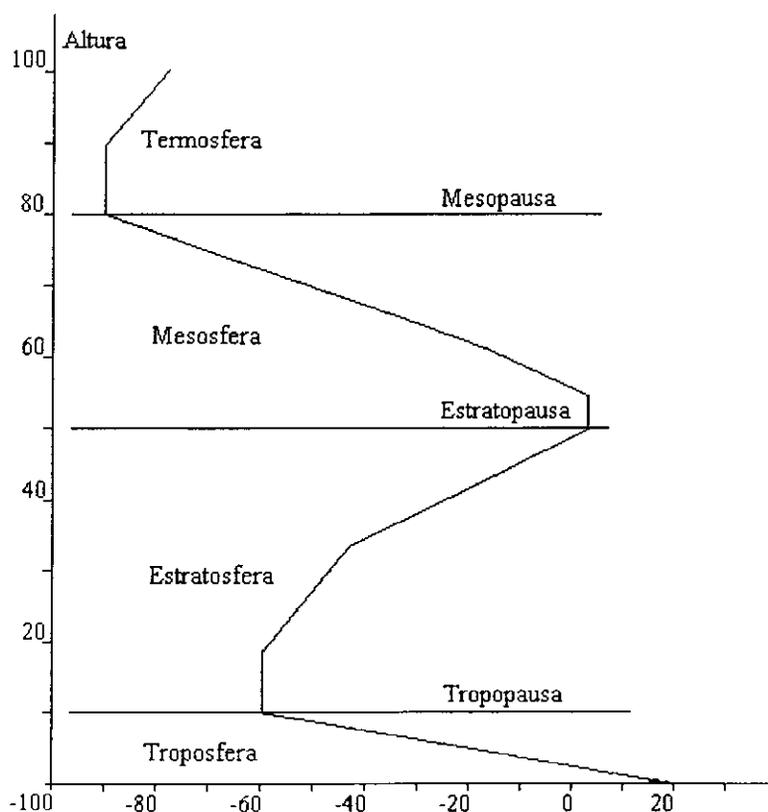
Esta combinação elevará a demanda por recursos naturais a quantidades superiores àquela existente no planeta, bem como, os resíduos que passarão a ser gerados serão em quantidade superior à capacidade que a natureza teria para absorvê-los.

É necessário, então, que se desenvolvam tecnologias não baseadas no consumo de recursos esgotáveis, como são os combustíveis fósseis. Fontes de energia renovável, produtos recicláveis, que além de não necessitar a exploração de novas matérias primas não são convertidos em resíduos após o seu uso, ou seja, o estabelecimento de um novo modelo de desenvolvimento.

### 1.5.2 As mudanças climáticas

A atmosfera terrestre tem, ao todo, 500km de altura, é composta por 78% de Nitrogênio, 21% de Oxigênio e 1% de outros gases, como, Dióxido de carbono, Hélio, Hidrogênio e outros. Aproximadamente 95% desses gases estão na troposfera.

Toda a atmosfera terrestre está sujeita a alterações climáticas, todavia é na troposfera onde ocorrem as mudanças sensíveis ao ser humano, a Figura 7 apresenta as camadas da atmosfera e as diferentes temperaturas encontradas ao longo dela.



**Figura 7 - A atmosfera da Terra**

a temperatura é medida em °C

a altura é medida em km

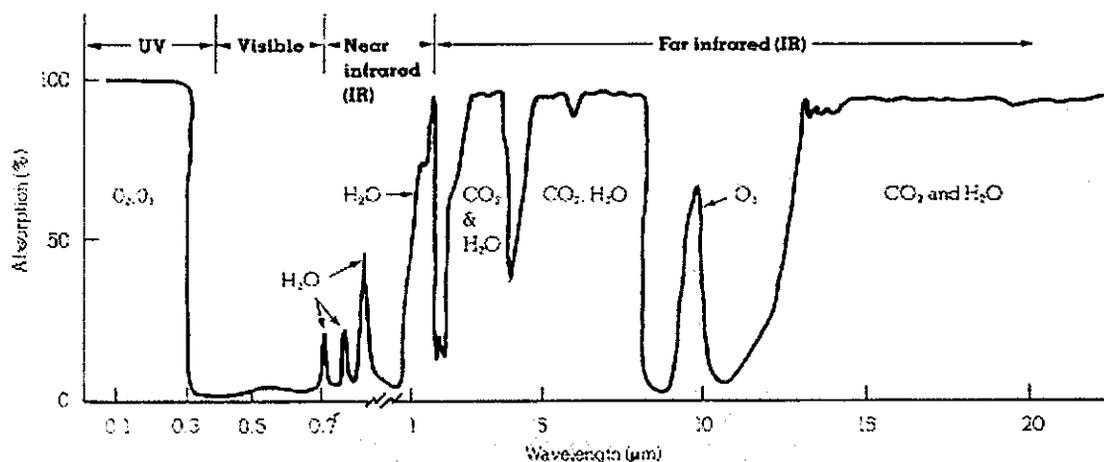
Fonte: BRAGA JR, 1.994

Grande parte da quantidade da radiação solar que atinge a superfície da Terra é reemitida na forma de radiação infravermelha.

Uma pequena fração dos gases da atmosfera têm a propriedade de reter a radiação infravermelha, agindo como uma estufa de vidro em torno do planeta. Estes são os GEE, além do vapor d'água GEE os mais importantes são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os CFCs.

O efeito estufa é a capacidade que tem a atmosfera terrestre de absorver radiação infravermelha. A energia solar chega à Terra na forma de radiação de ondas curtas. Parte desta radiação é refletida pela superfície terrestre e pela atmosfera. A maior parte dela, contudo passa diretamente pela atmosfera aquecendo a superfície terrestre. Em um ciclo contínuo a Terra emite esta energia na forma de irradiação infravermelha de ondas longas. A Figura 8 mostra os principais GEE e comprimentos de onda absorvidos por eles, deve-se destacar o vapor d'água - o mais importante GEE, e o  $\text{CO}_2$ , que do ponto de vista antropogênico, é o principal GEE, cuja alteração na concentração atmosférica vem sendo alterada pelo uso de combustíveis fósseis e pelo desmatamento.

**Figura 8 - Absorção da radiação pelos gases na atmosfera**



Fonte: STEWART, não datado

A maior parte da irradiação que a Terra emite é absorvida pelos GEE: vapor d'água, dióxido de carbono e outros. Esses gases impedem que essa energia passe diretamente da superfície terrestre para o espaço (MCT, 1.999). Se tal ocorresse o planeta teria variações de temperatura da ordem de  $100^\circ\text{C}$  a mais durante o dia e  $100^\circ\text{C}$  a menos durante a noite (GOLDEMBERG, 1.990).

O efeito estufa é, entre outros fatores, responsável pela vida no planeta como ela é. A ausência destes gases implicaria em que a temperatura média do planeta seria de  $15$  a  $20^\circ\text{C}$  abaixo de zero (GOLDEMBERG, 1.998).

Os raios solares atingem a Terra ininterruptamente e da mesma maneira parte desta energia é devolvida ao espaço. O planeta tem uma condição de equilíbrio, onde as condições climáticas permanecem constantes.

O IPCC, (1.995) enumera 24 GEE, na Tabela 1 são apresentados 5 deles. Esses são responsáveis por 90% (KELLY, 1.992) do aumento da concentração de GEE observado. Além dos GEE, outros fatores influenciam o clima do planeta. Como já foi mencionado a quantidade de energia solar que incide sobre a Terra deve ser o principal fator a ser considerado. Todavia há outros como a composição da atmosfera, aerossóis resultantes de emissões vulcânicas que pode causar esfriamento ou nuvens que, em consequência do aumento da temperatura, podem ter um aumento de ocorrência causando esfriamento (LEGGETT, 1.992).

Dentre os GEE indiretos estão o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio, NO<sub>x</sub>, e compostos orgânicos voláteis não metânicos (non-methane volatile organic compounds (NMVOCs)).

O IPCC, (1.995) mostra que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> nos últimos mil anos permaneceu estável e que sofreu um aumento a partir do início do século XIX, quando teve início a revolução industrial. Neste mesmo período também sofreram elevação as emissões. Portanto este o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> acarreta no aumento da sua concentração atmosférica, uma vez que não houve correspondente aumento dos sumidouros naturais.

Na Tabela 1, estão enumerados alguns GEE, suas fórmulas químicas, seus tempos médios de vida na atmosfera, as contribuições percentuais para o aumento do efeito estufa desde a revolução industrial e os potenciais de aquecimento global (global warming power - GWP).

O GWP é a principal medida de comparação entre os diferentes GEE. Tomando-se como referência o CO<sub>2</sub>, os demais GEE são estimados, considerando-se diferentes intervalos de tempo.

O IPCC estima o GWP das substâncias para 20, 100 e 500 anos. Num horizonte de tempo de 20 anos cada tonelada de CH<sub>4</sub> tem GWP equivalente a 56t CO<sub>2</sub>, ou seja o GWP equivale a 56, este GWP cai para 21 vezes se forem considerados 100 anos e para 6,5 vezes em um horizonte de 500 anos.

**Tabela 1 - Principais Gases de efeito estufa (GEE)**

GEE	Fórmula	Tempo de vida (anos)	GWP*			Contribuição (%)
			20 anos	100 anos	500 anos	
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	Variável	1	1	1	55
Metano	CH <sub>4</sub>	12±3	56	21	6.5	15
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	120	280	310	170	6
Ozônio	O <sub>3</sub>	0,1 - 0,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CFCs	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17

- - GWP dado o horizonte de tempo  
n.d. - não disponível

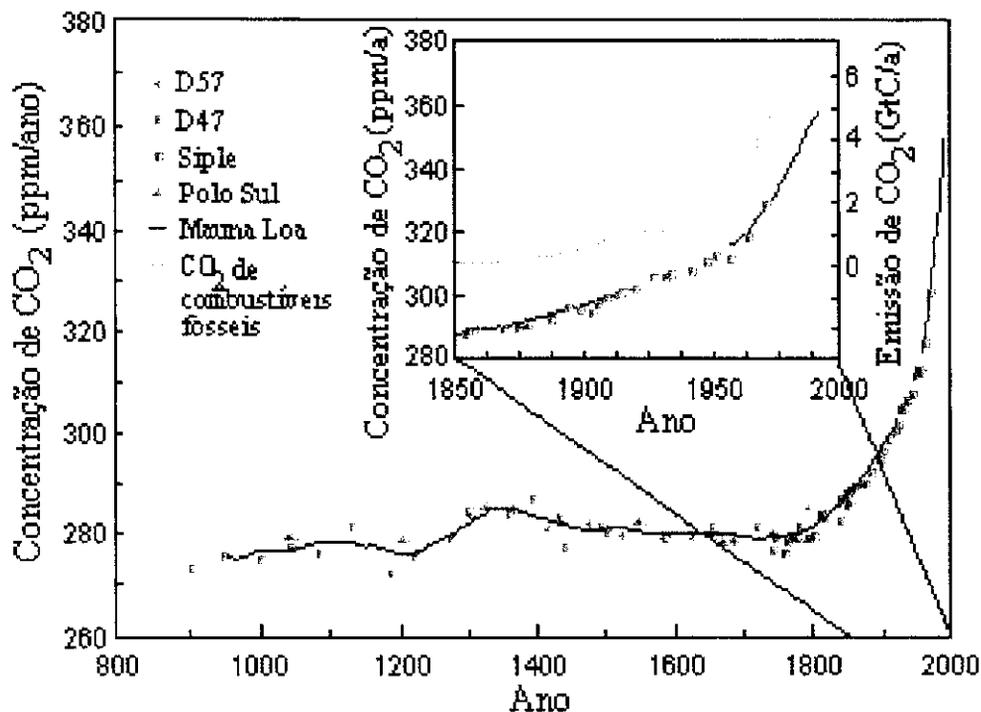
Fonte: IPCC, 1.995 e GOLDEMBERG, 1.998 para as frações de contribuição.

SCHNEIDER, (1.992) mostra que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e a temperatura têm correlação estreita nos últimos 160 mil anos. Esta correlação é feita por estudos arqueológicos, onde é analisada a composição do ar contido em rochas ou

gelo. O estudo do Oak Ridge National Laboratory dos Estados Unidos (BODEN et al., 1.990) apresenta, além das análises de ar atmosférico realizadas em estações espalhadas por todo o planeta, análises de amostras de ar contido no gelo.

Considerando que uma das formas de disposição do gelo na superfície é a precipitação, ou seja, deposição de neve num determinado local. À medida em que se passam os anos, novas camadas de gelo são depositadas umas sobre as outras. Portanto, uma perfuração onde a profundidade do gelo tem determinada a relação com sua idade permite que a análise do ar contido nas amostras indique a composição atmosférica do passado. Outros recursos também podem ser empregados como a análise da composição do ar retido no interior de rochas que têm sua idade definida por Carbono 14.

A Figura 9 (IPCC, 1.995) emprega uma coletânea de dados de concentração de CO<sub>2</sub> demonstrando a relação dessas com as emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis, que foi intensificada no século XIX pela revolução industrial.



**Figura 9 - Concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico.**

Fonte: IPCC, 1.995

O carbono atmosférico é produzido por fontes naturais e atividades humanas. Dentre as atividades humanas, a mais importante fonte de CO<sub>2</sub> é aquela resultante da queima de combustíveis fósseis. Desde a revolução industrial, as emissões de CO<sub>2</sub> devidas ao uso do carvão mineral, do petróleo e seus derivados como gasolina, óleo Diesel e óleos combustíveis e do GNC têm aumentado em função do aumento do número de máquinas térmicas e da intensificação do seu uso nas atividades diárias.

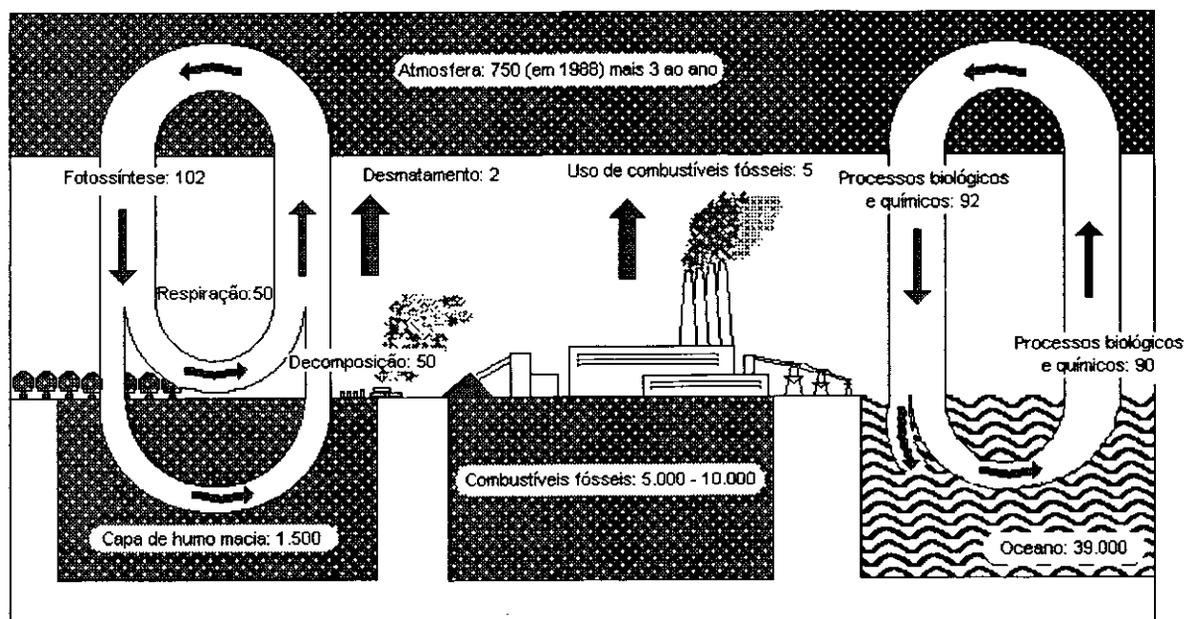
Resumidamente, Figura 10 destaca quatro grandes reservatórios de carbono: a atmosfera, a biosfera, o solo e os oceanos.

A biosfera terrestre compreende toda vida na superfície do planeta, sendo a fração vegetal a maior porcentagem em massa. Assim como a biosfera terrestre, os oceanos são outro grande reservatório de carbono, isso ocorre pelo crescimento de plantas e pela solução do carbono na água na forma de bicarbonato. Estes dois reservatórios estão em equilíbrio, a sua dinâmica de liberação e absorção de carbono resulta num balanço nulo. Estes reservatórios não estão crescendo nem diminuindo.

Os combustíveis fósseis são o produto final de lentos processos da natureza que convertem matéria orgânica, que pode ser compactada ou modificada quimicamente sob elevadas pressões e temperaturas, em carvão, petróleo ou GNC.

A gênese dos combustíveis fósseis é um processo de captura do carbono que ao longo de milhares de anos vem aumentando. É um processo lento que, a partir da revolução industrial, vem sendo revertido pelo ser humano.

As diferentes formas de florestas, através da fotossíntese são um sumidouro de carbono. O crescimento de um vegetal implica na incorporação do C atmosférico que passa a ter a forma de biomassa. Este reservatório, também vem sendo reduzido pelo desenvolvimento da humanidade, ocupando territórios pelo desmatamento para ocupação urbana, atividade agrícola ou pecuária.



**Figura 10 - Ciclo do carbono: os principais reservatórios e fluxos.**

OBS: As quantidades de carbono são dadas em Gt (reservatórios) e Gt por ano (fluxos).

Fonte: LEGGETT, 1.992.

Considerando as fontes de emissões de CO<sub>2</sub>, uma estimativa feita pelo IPCC indica que as emissões mundiais de GEE devem-se, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e às mudanças no uso da terra (IPCC, 1.995). Apesar de haver um sumidouro não explicado de 1,2GtC, sabe-se que grande parte das emissões são

absorvidos ou pelos oceanos ou pelos solos e que uma porção semelhante acumula-se na atmosfera.

Em 1.990, as emissões mundiais de CO<sub>2</sub> eram estimadas em 7,4 bilhões de toneladas ao ano (MCT, 1.999), já as emissões de GEE dadas em equivalente CO<sub>2</sub>, chegam a 13,7 bilhões de toneladas ao ano (UNEP *apud* MCT, não datado). Para 2.010 é previsto um aumento de 15%. A redução de 5% proposta pelo Protocolo de Quioto implica em uma redução em 2.010 da ordem de 17,5%, ou seja, 2,7 bilhões de toneladas ao ano deixariam de ser lançadas de acordo com os compromissos estabelecidos pelo Protocolo de Quioto.

**Tabela 2 - Compromisso estabelecido no Protocolo de Quioto**

País	Compromisso de mitigação %	Emissões totais de GHG e 1990 Gg ou 1000t
Alemanha	8	1.012.443
Austrália	-8	288.965
Áustria	8	59.200
Bélgica	8	113.405
Bulgária *	8	82.990
Canadá	6	457.441
Comunidade Européia	8	n.d.
Croácia	5	n.d.
Dinamarca	8	52.100
Eslováquia	8	58.278
Eslovênia	8	n.d.
Espanha	8	260.654
Estados Unidos da América	7	4.957.022
Estônia *	8	37.797
Federação Russa *	0	2.388.720
Finlândia	8	53.900
França	8	366.536
Grécia	8	82.100
Hungria *	6	71.673
Irlanda	8	30.719
Islândia	-10	2.172
Itália	8	428.941
Japão	6	1.173.360
Letônia *	8	22.976
Liechtenstein	8	208
Lituânia *	8	n.d.
Luxemburgo	8	11.343
Mônaco	8	71
Noruega	-1	35.533
Nova Zelândia	0	25.530
Países Baixos	8	167.600
Polônia *	6	414.930
Portugal	8	42.148
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte	8	584.078
República Tcheca	8	169.514
Romênia *	8	171.103
Suécia	8	61.256
Suiça	8	43.600
Ucrânia *	0	n.d.
Totais		13.728.306

OBS: n.d. - não disponível

\* países em transição para economia de mercado

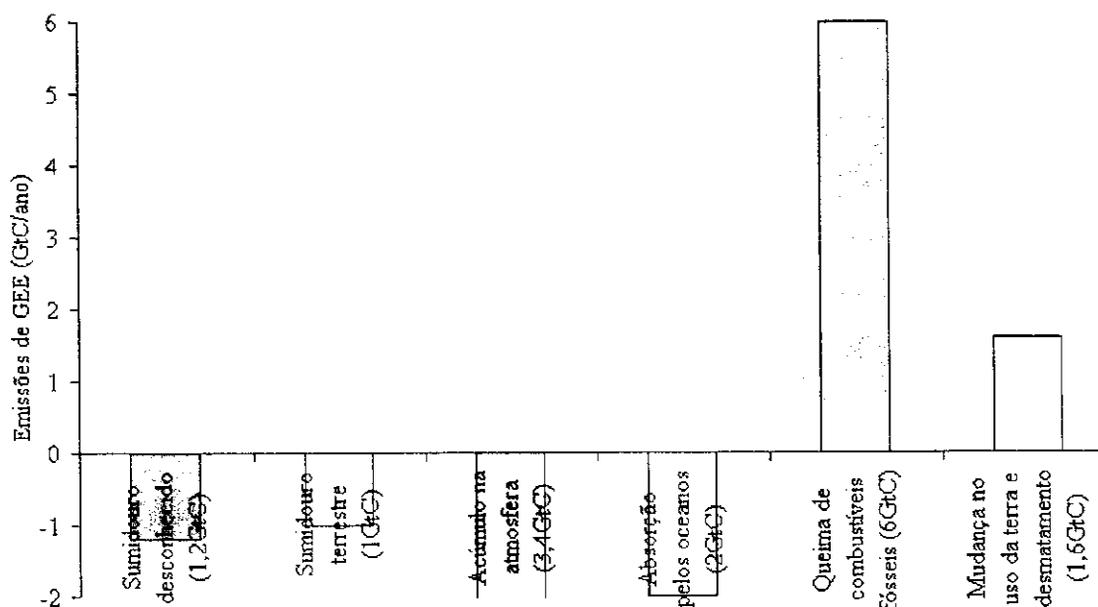
Fonte: MCT, não datado

O compromisso assumido pelos países do Anexo I no Protocolo de Quioto é que entre 2008 e 2012 estes reduziriam o total das suas emissões em, pelo menos, 5% em relação às de 1990. Alguns países como Islândia, Noruega e Austrália

comprometeram-se em atingir reduções negativas, ou seja, estes países podem aumentar suas emissões dentro do limite estabelecido pelo Protocolo.

A avaliação feita na Tabela 2 não leva em conta a variação das emissões ocorridas desde 1.990. Estima-se que em alguns países houve um aumento de 15% nas emissões de CO<sub>2</sub>, entre 1.990 e 2.000, o que implica que ao invés de 5% o esforço de redução de emissões deve ser de 20%.

Como se vê na Figura 11 as principais emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> são devidas à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, além disso as atividades agrícolas, o uso de CFCs, indústria e resíduos são grandes emissores de GEE.



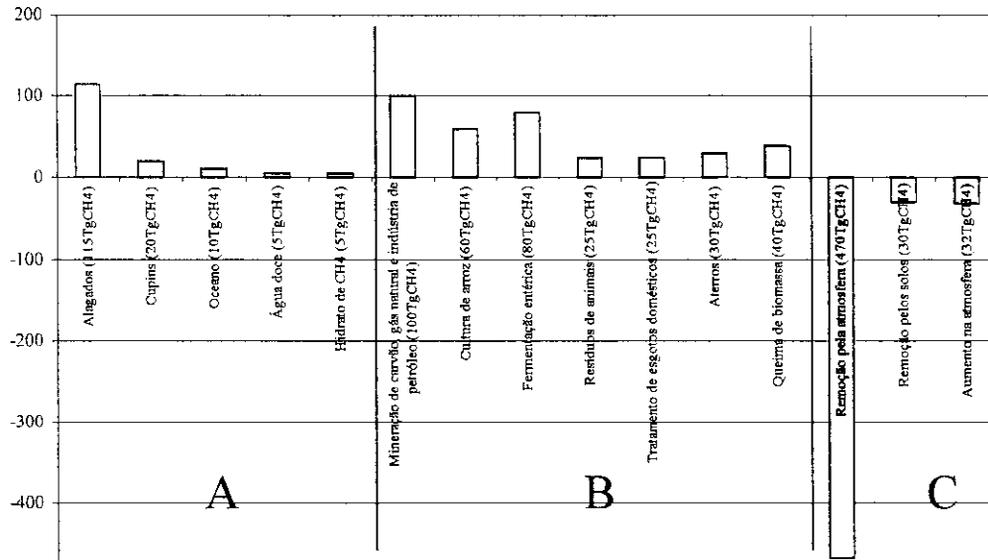
**Figura 11 - Balanço anual de emissões e sumidouros de C 1989 - 1990 (GtC/ano)**

Fonte: HOUGHTON et al., 1.990 & 1.992 *apud* IPCC, 1.995

Medidas de concentração de metano atmosférico podem ser obtidas por diferentes métodos. Perfurações no gelo da Antártica permitem a reconstrução da história da concentração do metano atmosférico durante os últimos 200 anos. Estas perfurações determinaram nas amostras de ar atmosférico aprisionadas no gelo as concentrações de metano no passado. Estas concentrações passaram de  $0,78 \pm 0,09$ ppmv em 1771 para  $1,30 \pm 0,07$ ppmv em 1955 (STAUFFER, et al., 1.990). E outras medições de KHALIL E RASMUSSEN, (1.990) indicam que a concentração do metano atmosférico global teve um crescimento anual médio de  $1,02 \pm 0,02\%$  nos anos de 1.981 a 1.988, sendo a concentração atmosférica de metano em 1.994 igual a 1,770 ppmv (IPCC, 1.995 *apud* USEPA, 1.998).

Uma estimativa do IPCC, ilustrada na Figura 12, mostra as fontes e sumidouros de metano. As principais fontes de emissão de metano pelo ser humano são as emissões fugitivas vindas da mineração de carvão, GNC e a indústria do petróleo, cultivo de arroz em alagadiços, as emissões dos ruminantes, as emissões dos restos de animais e as emissões devidas ao manejo dos resíduos domésticos, comerciais e industriais. Esta

parcela corresponde a 14% do total das emissões (IPCC, 1.995). Por outro lado os principais sumidouros são as remoções feitas pela atmosfera e pelo solo.

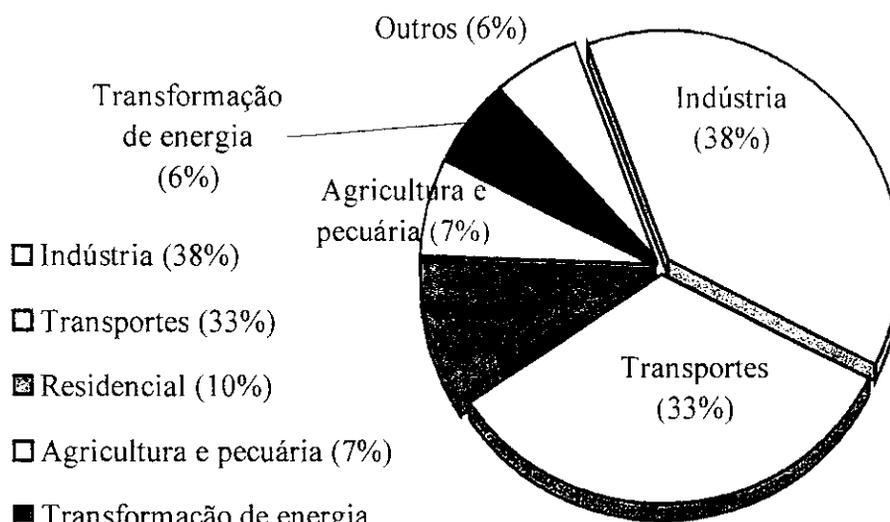


**Figura 12 - Estimativa das emissões anuais de CH<sub>4</sub> por fontes (TgCH<sub>4</sub>/ano)**

Legenda: A - emissões naturais  
B - emissões antropogênicas  
C - sumidouros

Fonte: HOUGHTON et al., 1.990 & 1.992 *apud* IPCC, 1.995

A matriz energética brasileira é fundamentada na exploração da energia hidrelétrica. O Brasil, ao contrário da grande maioria dos países não tem no setor de transformação de energia a sua maior fonte de emissão de GEE. Na Figura 13, a estimativa da situação das emissões nacionais de GEE em 1.990 aponta que os principais setores são a indústria e os transportes.



**Figura 13 - Setor da economia responsável pela emissão de CO<sub>2</sub> (1.990)**

Fonte: GOLDEMBERG *apud* MCT, 1.999

### 1.5.3 O Inventário nacional de emissões de metano pelos resíduos

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) definiu a metodologia que todos os países signatários da UNFCCC deveriam seguir para a estimativa das emissões nacionais de GEE.

Esta metodologia define que as emissões de GEE e seus principais sumidouros em seis principais classes:

- energia,
- indústria,
- uso de solventes,
- agricultura,
- mudança de uso do solo e
- resíduos.

Segundo esta metodologia (IPCC, 1.995) o inventário de resíduos classifica estes em sólidos e líquidos, sendo que os resíduos líquidos são divididos quanto à origem em efluentes industriais e esgotos domésticos.

No Brasil a coordenação nacional da execução do inventário é do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, que, em cumprimento ao compromisso assumido pelo Brasil no UNFCCC em 1.992, designou especialistas em todo o país para sua execução. O MCT também é o responsável pela "Comunicação Nacional" instrumento definido pela UNFCCC para que cada país divulgue os resultados de seus inventários nacionais e todas as informações relativas às mudanças climáticas.

De acordo com MCT (1.999) o compromisso assumido pelo Brasil frente à UNFCCC é a elaboração da Comunicação Nacional, com data de conclusão definida para agosto de 1.999. E como a própria Comunicação Nacional informa esta deve conter dois

capítulos principais: o inventário de emissões de GEE e as providências tomadas ou previstas para implantar a Convenção no país.

O governo do Estado de São Paulo através da CETESB, desenvolve o Programa Estadual de Mudanças Climáticas Globais - PROCLIMA, que foi criado pela resolução SMA-21 a 30, de 08 de junho de 1.995 e publicadas no Diário Oficial de 27 de junho de 1.995, com o objetivo de implementar as ações ambientais de acordo com a Agenda 21, pelo governo estadual, com destaque para as seguintes atividades:

- Elaboração de um inventário de emissões de metano pelo manejo de resíduos.
- Elaboração de um inventário estadual de emissões de dióxido de carbono associadas ao uso de combustíveis fósseis.
- Elaboração de programas e medidas de ação que visem ao controle de emissões de GEE no Estado focalizando os setores de energia, transporte, indústria, agricultura, pecuária, silvicultura e gerenciamento de resíduos.

Desta forma, com financiamento do UNDP e do U.S. Country Studies Program, o MCT designou a CETESB para executar o inventário de emissões de metano pelo manejo de resíduos.

A metodologia definida pelo IPCC permite que países de todo o mundo tenham um ponto de partida para estimar e comparar suas emissões de GEE.

A principal conclusão a que chega este inventário, como mostrado na Tabela 3, é de que anualmente cerca de 800 mil toneladas de metano foram emitidas pela digestão anaeróbia de resíduos no período que compreende os anos de 1.990 a 1.994.

Emissão de metano por resíduos no período de 1.990 a 1.994

**Tabela 3 - Emissão de metano por resíduos no período de 1.990 a 1.994**

Ano	Emissões de metano (Gg CH <sub>4</sub> /ano)						
	Resíduos sólidos		Esgotos domésticos e comerciais		Efluentes industriais		Total
	Emissões	%	Emissões	%	Emissões	%	
1.990	618,01	84	39,34	5	80,00	11	737,35
1.991	636,34	84	40,51	5	79,82	11	756,67
1.992	649,68	84	41,36	5	82,01	11	773,05
1.993	663,28	84	42,23	5	82,71	11	788,22
1.994	677,18	84	43,11	5	84,41	11	804,70

1Gg = 1.000t

Conclui-se que a principal fonte de emissão de metano pelos resíduos provém dos sólidos, e que esta parcela corresponde a 84% das emissões dos resíduos, emissões pela digestão anaeróbia de efluentes domésticos e comerciais são as menos significativas correspondendo a 5% do total.

Tendo conhecimento da população urbana nacional neste período pode-se considerar o potencial de geração de metano no período, representado na Tabela 4:

**Tabela 4 - Emissão média de metano *per capita* gerado por resíduos no Brasil**

Ano	População urbana (habitantes)	Emissão (GgCH <sub>4</sub> )	Emissão média anual de metano <i>per capita</i> gerado por resíduos do Brasil (kgCH <sub>4</sub> /habitante.ano)
1.990	107.789.249	741,89	6,88
1.991	110.990.990	761,50	6,86
1.992	113.314.572	778,21	6,87
1.993	115.686.797	792,21	6,85
1.994	118.108.685	808,52	6,85

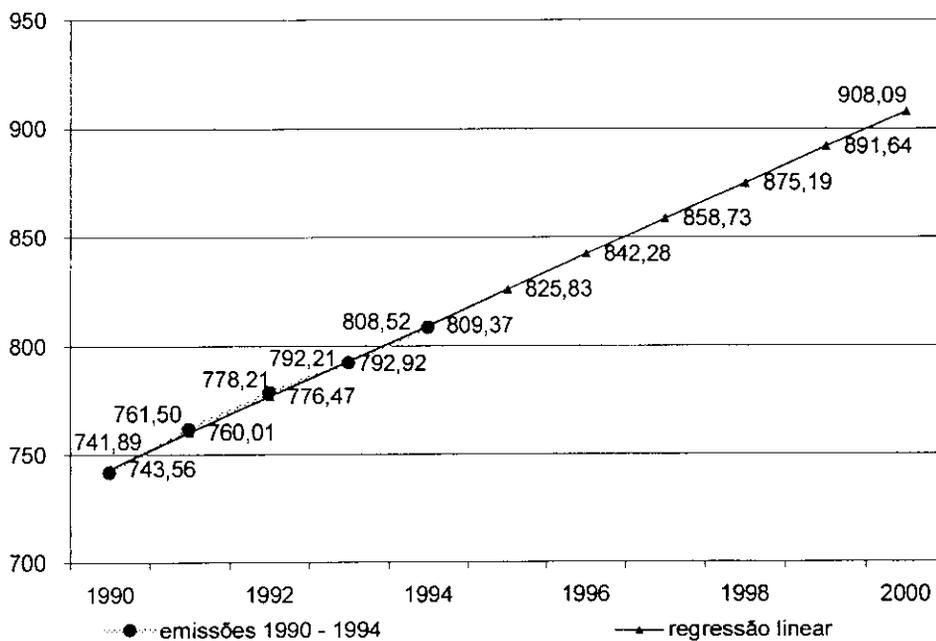
Fonte: FUNDAÇÃO IBGE (1.996) para a população urbana e ALVES & VIEIRA (1.998) para emissões.

A partir dos resultados do inventário pode-se, por regressão linear<sup>1</sup>, fazer uma estimativa da tendência de evolução das emissões de 1.990 a 2.000 em função do ano. Esta estimativa emprega a seguinte equação:

$$X(A) = 16,4528A - 31.997,53$$

**Equação 1 - Projeção tendencial das emissões de metano no Brasil**

onde: *X*: projeção tendencial de emissões de metano pela degradação anaeróbia de resíduos no Brasil em função do tempo [1.000t].  
*A*: ano, entre 1.995 e 2.000.



OBS: em 1.000tCH<sub>4</sub>

**Figura 14 - Projeção tendencial das emissões de metano pelos resíduos no Brasil.**

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

*a*<sub>0</sub>: Coeficiente linear  
*a*<sub>1</sub>: Coeficiente angular  
*N*: Número de pontos

Conclui-se que as emissões que no início da década de 90 eram de aproximadamente 800 mil toneladas passaram ao final da década para cerca de 900 mil.

Isto numa estimativa que considera inalteradas as condições de produção industrial e crescimento populacional, indica que esta estimativa é de valor mínimo.

#### 1.5.4 O banco de dados de geração de metano pelos resíduos no Brasil

O IPCC definiu duas metodologias: uma, dirigida a países em desenvolvimento, que emprega informações censitárias, tais como: população urbana, produção industrial, taxas de coleta de resíduos e efluentes; a outra metodologia, dirigida a países desenvolvidos, visa o emprego de informações de cada local de disposição de resíduos, com as melhores informações possíveis, tais como: medição direta da geração de metano, quantidades de resíduos depositada diariamente em LDRS e composição dos resíduos.

Esta segunda metodologia, não aplicável ao caso brasileiro, foi elemento motivador para a construção de um banco de dados de ETAE e LDRS (VIEIRA, 1.999).

A CETESB entrou em contato com grande número de Secretarias de Meio Ambiente Estaduais, empresas Estaduais e municipais de saneamento, empresas projetistas de equipamentos de saneamento e indústrias possuidoras de sistemas de tratamento anaeróbio de efluentes.

Este banco, em 2.000 reunia mais que 600 registros com as informações relativas à disposição de resíduos das principais cidades do Brasil, sendo dividido em dois: sistemas de disposição de resíduos sólidos e sistemas de tratamentos de efluentes líquidos.

Através do envio de correspondência, todas as capitais de Estados, cidades fora do Estado de São Paulo com população superior a 100.000 habitantes e cidades do Estado de São Paulo com mais que 50.000 habitantes, foram consultadas. Esta amostra corresponde a 62,9% da população urbana do país.

Este banco de dados tem sua atualização permanente, a taxa de retorno registrada até julho de 1.999 era de 56,4% dos dados pesquisados. No Estado de São Paulo, estão cadastradas 175 ETAE (em anexo), das quais vinte e oito apresentam informações a respeito de geração de biogás e característica do efluente.

### **1.6 Estrutura da dissertação**

A estrutura deste trabalho reflete o encadeamento de ações, desde a execução do inventário de emissões de metano pela digestão anaeróbia de resíduos no Brasil até a esperada viabilização de projetos de recuperação e uso deste gás.

Como se sabe, a discussão a respeito do aumento da concentração atmosférica dos GEE tem levado os governos dos países de todo o mundo a ações que resultarão na estabilização da concentração nos níveis verificados em 1.990.

Nesse sentido esta dissertação inicia-se pela discussão das questões globais. No Capítulo I, além dos objetivos e da metodologia são apresentados os fundamentos a respeito do esgotamento dos recursos naturais e das mudanças climáticas. Sem ampliar demasiadamente o horizonte de discussão são apresentadas informações a respeito do inventário nacional de emissões de metano pelos resíduos no Brasil e do banco de dados de geração de metano pelos resíduos no Brasil.

O Capítulo II aborda a condição sanitária brasileira, diante da escassez de informações a respeito do manejo de resíduos no Brasil, são considerados os dados oficiais. São consideradas também as condições de manejo de resíduos no Estado de São Paulo, por este contar com maior número de informações a este respeito.

Ainda no Capítulo II são abordadas as técnicas mais adequadas para a disposição de resíduos sólidos, coleta e tratamento de efluentes domésticos e comerciais e tratamento de águas residuárias industriais, sempre enfatizando-se os processos que tenham como subproduto o biogás.

No Capítulo III são estudadas as tecnologias de recuperação e uso do biogás gerado no processo anaeróbio de digestão de resíduos. O biogás é uma mistura de  $\text{CH}_4$  e outros gases como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Empregar esta alternativa energética deve levar em conta três opções:

- ou se beneficia o biogás tornando suas especificações tão próximas quanto possível às do GNC. Este beneficiamento implica em redução de contaminantes, desumidificação e pressurização;
- ou se alteram as especificações das máquinas térmicas que, ao invés de queimar um combustível semelhante ao GNC, estariam queimando um combustível ácido, úmido, à baixa pressão e de poder calorífico mais baixo devido à presença de gases na mistura que além de não participarem da queima roubam calor dela;
- ou um meio termo das opções anteriores, procurando com isso, otimizar os investimentos necessários para esta aplicação energética.

No Capítulo IV são explorados casos de recuperação e uso de biogás que foram desenvolvidos na década de 80 até o início dos anos 90 e projetos que aguardam por serem desenvolvidos. Projetos de recuperação de biogás gerado em ETAE são diferentes daqueles de biogás gerado em LDRS.

As quantidades de biogás geradas nos LDRS são maiores que nas ETAE, o biogás gerado nas ETAE é mais rico em metano. O total de biogás no LDRS é definido pela quantidade de matéria orgânica depositada, seu fluxo inicialmente é alto e em alguns anos se reduz chegando a zero ao final.

Enquanto o resíduo sólido é disposto permanentemente no LDRS, o efluente tem uma permanência média de algumas horas na ETAE, sendo em seguida lançado num corpo d'água, isso faz com que o LDRS tenha um ciclo de vida definido e com o final do período de geração econômica do biogás previamente conhecido enquanto que a

recuperação do biogás existirá enquanto perdurar aquela atividade industrial responsável pela geração de efluentes.

Ainda no Capítulo IV , são discutidos os elementos facilitadores e as barreiras à recuperação do biogás, o que implica em discutir, desde o mercado fornecedor de equipamentos e tecnologia até as condições de financiamento destes projetos.

Nas Resumo, Conclusões e recomendações, destacam-se projetos que acredita-se possam ser desenvolvidos prioritariamente. Deve-se estabelecer um mercado fornecedor de equipamentos, experiências bem sucedidas de recuperação energética de biogás que possam ser facilmente repetidas são identificadas. Projetos inviáveis também devem ser identificados, um projeto fracassado tem o potencial de impedir que outros viáveis sejam desenvolvidos.

## Capítulo II GERAÇÃO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL

### 2.1 Introdução

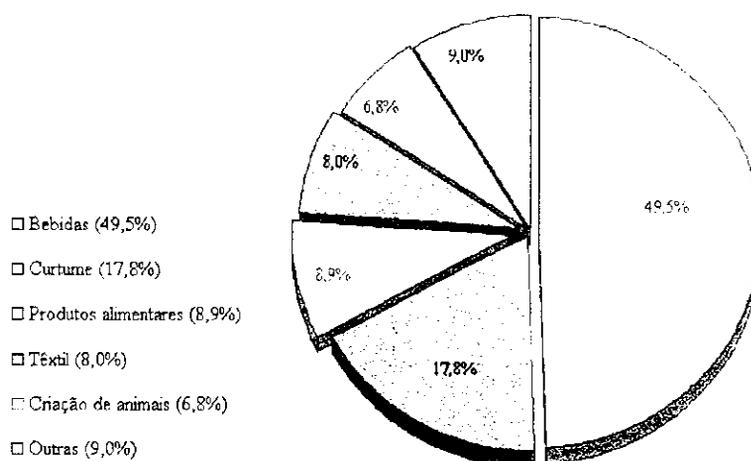
Neste capítulo é discutida a condição sanitária brasileira em função da geração e coleta de resíduos. A geração de resíduos sólidos e efluentes domésticos e comerciais está diretamente relacionada com a população urbana, seu padrão de vida e hábitos de consumo. A coleta e tratamento e disposição adequada destes resíduos refletem a qualidade de vida da população, na qualidade das águas dos rios e águas subterrâneas, atividade pesqueira e vetores patogênicos.

O Brasil, um país de dimensões continentais, como é sabido vive diferentes realidades econômicas e sociais, igualmente as condições sanitárias variam em diferentes estratos da sociedade. Não se identifica uma política nacional de gerenciamento de resíduos. Dados oficiais a esse respeito, além de escassos são imprecisos, o que impede a identificação de um mercado consumidor na área de saneamento.

O Estado de São Paulo, que concentra 34% do PIB da União, conta com dados, relativamente, em maior quantidade e com melhor qualidade a respeito dos LDRS e ETAE.

Tomando como referência o que existe e o que deve ser feito, são discutidas as técnicas mais adequadas de gestão de resíduos, coleta e tratamento de esgotos domésticos e comerciais e tratamento de efluentes industriais

O conhecimento do parque industrial nacional pode ser construído pela associação de diferentes informações estatísticas. A emissão da carga orgânica dos efluentes devida às atividades industriais pode indicar os potenciais responsáveis pela degradação de corpos d'água. A Figura 15, mostra que a produção de bebidas, curtume e alimentos são as três principais atividades geradoras de carga orgânica nos efluentes industriais estudados em 11 Estados Brasileiros totalizando 76% das emissões de carga orgânica dos efluentes.



**Figura 15 - Emissões de carga orgânica de cada setor industrial (%)**

OBS: Este estudo teve a ausência dos dados dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Fonte: CETESB & PRONACOP (1.988/89)

## **2.2 Manejo de resíduos no Brasil**

Os resíduos domésticos, são gerados no dia a dia. As sobras de alimentos, as embalagens, as bebidas e os utensílios, tudo aquilo que deixa de ser útil, passa a ser encarado como resíduo e deve ser eliminado. Não só individualmente são gerados resíduos, a varrição de locais públicos como vias públicas serviços de poda em praças ou demolições também geram resíduos.

Ao mesmo tempo, a água, indispensável para saciar a sede, preparar alimentos e limpeza, ao cumprir seu papel deve ser descartada.

Desse modo os resíduos classificam-se em sólidos e líquidos.

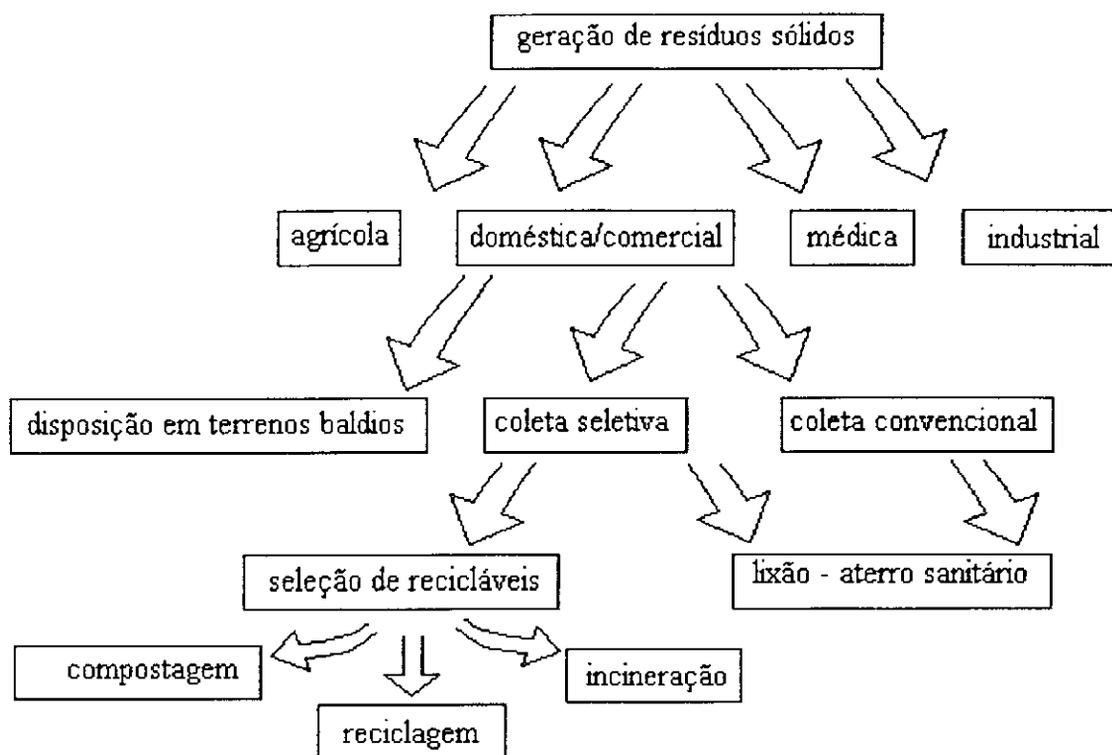
### Os resíduos sólidos

A origem dos resíduos sólidos não é apenas doméstica ou urbana, há outras fontes de geração com diferentes tipos de resíduos. Resíduos hospitalares, são objeto de atenção especial devido à elevada presença de organismos patogênicos e resíduos industriais podem conter elevada toxicidade.

Dos resíduos gerados, uma parte é coletada, a razão entre o gerado e o coletado reflete parte das condições sanitárias em que vive a população. A coleta pode ser feita de diferentes maneiras, um critério de diferenciação é se é praticada seleção do resíduo na sua origem.

Normalmente, no Brasil, a coleta restringe-se a retirar o resíduo da área urbana conduzindo-o ao LDRS onde este é depositado. Por sua vez a coleta seletiva, antes de conduzir o resíduo ao LDRS prevê a separação de materiais recicláveis. Ela pode simplesmente separar materiais secos (vidros, papéis e metais) dos orgânicos (restos de alimentos), ou materiais específicos como papel jornal, óleo de cozinha, alumínio, vidros e metais ferrosos.

A Figura 16 resume estas alternativas.



**Figura 16 - Alternativas de destino aos resíduos sólidos**

### Os efluentes

Assim como ocorre com a coleta de resíduos sólidos, os serviços públicos de esgotamento de efluentes só são oferecidos nas áreas urbanas dos municípios. Esses destinam-se a coletar os efluentes domésticos e comerciais levando-os às Estações de tratamento de efluentes (ETEs) ou aos corpos d'água.

As indústrias, normalmente, têm incluídas em suas instalações estações de tratamento de água e esgotos (ETEs e ETAs).

Observa-se que o esgotamento restringe-se à coleta de esgotos e águas pluviais e que esses são lançados sem tratamento nos corpos d'água. A Tabela 5 mostra que dos 4.425 municípios do país em 1.992, menos da metade deles ofereciam serviços de coleta de esgotos e menos de 1% contavam com algum tipo de tratamento de esgotos doméstico.

**Tabela 5 - Municípios com tratamento de esgotos no Brasil**

Região	Municípios		Municípios com tratamento de esgotos de acordo com o tipo							
	Total	Com coleta de esgotos	Total	ETE (1)	Tratamento preliminar (2)	Unidade de tratamento primário (3)	Lagoa de estabilização	Lagoa aerada	Valo de oxidação	Outros
Norte	298	25	7	2	1	1	3	3	1	2
Nordeste	1461	381	53	5	3	5	44	5	6	6
Sudeste	1430	1301	214	25	10	11	129	4	8	49
Sul	857	335	57	16	3	7	18	1	2	18
Centro-Oeste	379	49	14	3	0	1	11	3	1	1
Brasil	4425	2091	345	51	17	25	205	16	18	76

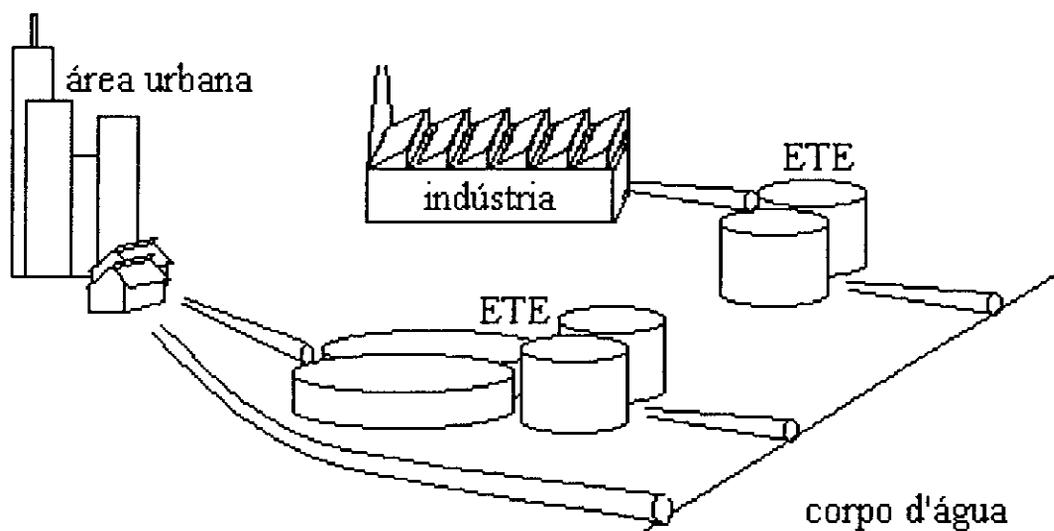
OBS:

Por "Total de municípios com tratamento de esgotos", deve-se entender com pelo menos um tratamento de esgotos

- 1- ETE - gradeamento, caixa de areia, decantador primário, lodos ativados e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem de lodo.
- 2- Unidade de Tratamento Preliminar: - grade e caixa de remoção de areia.
- 3- Unidade de Tratamento Primário: - grade, caixa de areia, decantador e secagem de lodo.

Fonte: IBGE, 1.992

A Figura 17 ilustra as alternativas de destino dos efluentes domésticos e industriais. O corpo d'água pode ser um rio, lago ou mar.

**Figura 17 - Alternativas de destino dos efluentes**

Diferenciando-se a população brasileira em urbana e rural, pode-se afirmar que o gerenciamento de resíduos leva em conta apenas a primeira. Entre o Censo nacional de 1.980 e o de 1.991 a taxa de urbanização passou de 67,6 para 75,6%, o que implica que além do crescimento demográfico de quase 2% ao ano houve também um deslocamento da população no sentido dos centros urbanos.

A geração de resíduos pela população ocorre, sendo ela rural ou urbana. A quantidade e composição do resíduo gerado varia significativamente entre uma e outra. Da mesma forma as populações rurais não são servidas por serviços de coleta e tratamento de resíduos.

Para os fins de estimativa de geração de biogás, considera-se que os resíduos sólidos gerados no meio rural, regularmente são dispostos em condições aeróbias e que os efluentes domésticos que são lançados nos corpos d'água não são significativos na discussão do manejo de resíduos no Brasil. Da mesma forma o IPCC (1.996) recomenda que se considere apenas a população urbana para a elaboração dos inventários nacionais de emissões de metano pelo manejo de resíduos. A discussão deste tema está sempre relacionada apenas à populações urbanas.

Como pode ser observado na Tabela 6, no Brasil, a evolução do crescimento populacional é verificada nos Censos de 1.980, 1.991 e na contagem populacional de 1.996.

**Tabela 6 - População urbana de 1.980, 1.991 e 1.996.**

População urbana em			<i>i</i>	
1.980	1.991	1.996	80 a 91	91 a 96
80.436.409	110.990.990	123.105.628	0,0297	0,0209

OBS: *i* :Taxa de crescimento populacional urbano anual no período

Fonte: IBGE, 1.996

A estimativa da geração de resíduos sólidos da população urbana é feita levando-se em consideração a prática da CETESB, que independente de considerações como poder aquisitivo da população, hábitos de consumo ou práticas de reciclagem. A Tabela 7 apresenta uma estimativa de produção média de 0,4 a 0,7kg de resíduos sólidos por habitante ao dia de acordo com a população da cidade (CETESB, 1.992).

**Tabela 7 - Geração média de resíduos por habitante ao dia.**

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

Fonte: CETESB, 1.992

A partir desta estimativa, considera-se a população urbana de cada município do país e a correspondente geração de resíduos de cada um deles. A soma destas gerações de resíduos de cada município dá o total de resíduos gerados no país ( $59,1 \cdot 10^6$ kg/dia) que dividido pela população urbana ( $118,1 \cdot 10^6$ hab) dá 0,5kg por habitante ao dia que é, portanto, uma taxa média de geração urbana de resíduos por habitante no Brasil (ALVES & VIEIRA, 1998).

As taxas médias de geração de resíduos apresentadas na Tabela 7, encontram suporte no estudo comparativo resumido na Tabela 8, feito em 38 municípios da Região Metropolitana da Grande São Paulo - RMSP. Observa-se um desvio para mais, tanto na avaliação da população feita pela prefeitura, quanto na avaliação da quantidade de resíduos coletados. Supõe-se que isso se deva à relação de proporcionalidade entre a população atendida e o repasse de recursos do Estado para as administrações municipais.

**Tabela 8 - Geração de resíduos na RMSP excluindo São Paulo.**

Município da RMSP #	População do Censo de 1991 em habitantes (IBGE) a	População estimada pelas prefeituras em 1991 em habitantes b	Resíduos coletados em toneladas ao dia (CETESB) c	Resíduos coletados em toneladas ao dia (Prefeitura) D	Resíduos por habitante ao dia (CETESB) e=c/a*1000	Resíduos por habitante ao dia (Prefeitura) f=d/b*1000
1	776.404	1.000.000	465	500	0,6	0,5
2	615.112	800.000	369	500	0,6	0,6
3	566.948	800.000	340	500	0,6	0,6
4	554.925	900.000	332	540	0,6	0,6
5	305.068	320.000	152	215	0,5	0,7
6	294.631	380.000	147	230	0,5	0,6
7	283.653	500.000	141	220	0,5	0,4
8	246.948	320.000	123	140	0,5	0,4
9	164.665	220.000	82	85	0,5	0,4
10	159.894	200.000	79	135	0,5	0,7
11	155.851	220.000	77	118	0,5	0,5
12	152.312	180.000	76	100	0,5	0,6
13	146.203	300.000	74	175	0,5	0,6
14	130.383	240.000	65	250	0,5	1,0
15	107.983	230.000	53	100	0,5	0,4
16	106.822	130.000	53	70	0,5	0,5
17	94.772	130.000	37	50	0,4	0,4
18	85.035	120.000	34	50	0,4	0,4
19	83.511	100.000	33	38	0,4	0,4
20	83.361	180.000	33	45	0,4	0,3
21	79.534	100.000	31	60	0,4	0,6
22	75.587	120.000	30	45	0,4	0,4
23	62.573	120.000	25	85	0,4	0,7
24	37.731	70.000	15	22	0,4	0,3
25	37.582	60.000	15	40	0,4	0,7
26	35.010	60.000	14	24	0,4	0,4
27	34.264	70.000	13	50	0,4	0,7
28	33.931	60.000	13	35	0,4	0,6
29	31.969	55.000	12	25	0,4	0,5
30	29.848	35.000	11	15	0,4	0,4
31	28.248	60.000	11	33	0,4	0,6
32	19.866	25.000	7	11	0,4	0,4
33	15.840	35.000	6	25	0,4	0,7
34	14.752	30.000	5	15	0,4	0,5
35	14.210	20.000	5	6	0,4	0,3
38	7.966	14.000	3	5	0,4	0,4
37	7.319	12.000	2	5	0,4	0,4
38	6.708	22.000	2	5	0,4	0,2

Fonte: CETESB, 1997.

Não se identifica, na literatura nacional, um estudo que avalie o potencial de geração de resíduos da população levando-se em conta variáveis como: renda, consumo d'água, consumo de energia, hábitos de alimentação, número de elementos por unidade familiar e época do ano. Esta escassez de dados faz com que esta estimativa, descrita acima, mesmo que bastante simplificada, venha a ser aceita e regularmente aplicada.

Portanto pode-se afirmar que nas regiões urbanas do Brasil são gerados aproximadamente 59.100t de resíduos ao dia. Desse total, foi estimado pelo IBGE que 76% são jogados em locais de despejo dispersos e não autorizados, portanto ilegais, ou em leitos de água; 13%, em aterros controlados; 10% são despejados em aterros sanitários; 0,9% são usados para produção de adubo e 0,1% é incinerado (principalmente lixo hospitalar).

A geração de efluentes, por sua vez, é mais estreitamente relacionada as necessidades básicas do ser humano. A quantidade de efluentes gerados pela população corresponde a 80% da água consumida e varia em função do seu consumo. A carga orgânica dos efluentes domésticos é medida em termos de demanda bioquímica de oxigênio (biochemical oxygen demand - BOD) pode variar de um país para outro de acordo com a renda e hábitos de consumo, também pode variar devido ao uso de trituradores de alimentos, no Brasil a carga orgânica média é de 50gBOD/hab.dia (FEACHEM, 1.983).

A indústria é outra fonte de carga orgânica, no Brasil, as maiores cargas orgânicas são geradas pelas indústrias de bebidas, curtume e alimentos.

A lista de atividades industriais, da Tabela 9 foi proposta pelo IPCC (1.996) para a elaboração do inventário de emissões de GEE pelos resíduos. O inventário brasileiro, além das atividades sugeridas pelo IPCC inclui a indústrias de curtume e açúcar e álcool.

Os valores de geração de BOD contêm elevada incerteza, pois a opção tecnológica de cada indústria faz com que cada uma tenha suas características próprias de geração de efluentes e carga orgânica.

A BOD é a demanda bioquímica de oxigênio, em português DBO, medida em 5 dias e a 20°C. Segundo VON SPERLING, 1995, está associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos. A BOD corresponde ao oxigênio consumido após 5 dias, por microorganismos que estabilizam bioquimicamente a matéria orgânica presente nos efluentes.

**Tabela 9 - Geração de carga orgânica pelas atividades indústrias**

Atividade industrial	Fator de emissão (kgBOD <sub>5</sub> /t produzida)	Referência		
Indústria metalúrgica	0,10	2		
Automóveis	19,3	2		
Alimentos e bebidas	Cervejas	62,1	1	
	Enlatados	12,5	1	
	Vinho	0,3	1	
	Abatedouro	Abate de bovinos	7,0	3
		Abate de suínos	30,0	1
		Abate de aves	7,13	1
		Abate de eqüinos	6,4	1
		Abate de ovinos	6,4	1
		Abate de caprinos	6,4	1
		Produtos	Leite cru	11,0
	lácteos	Leite pasteurizado	22,0	1
		Leite condensado	5,6	4
		Leite em pó	41,0	4
		Manteiga	29,4	4
		Queijos	28,8	4
	Açúcar	200,0	1	
	Café solúvel	156,0	1	
	Óleo e gordura vegetal	12,9	1	
	Peixe em conservas	7,9	1	
	Refrigerante	2,5	1	
Papel e celulose	Celulose	55,0	1	
	Papel	8,0	1	
Petróleo / Refinaria petroquímica	3,4	1		
Têxtil	Algodão	155,0	1	
	Lã	711,0	1	
	Nylon	45,0	1	
Curtume	135,0	1		
Álcool	54,0	1		

Fontes: IPCC, 1996 (atividades industriais)  
 1 - SALVADOR, 1.991  
 2 - CETESB, sem data  
 3 - DERÍSIO, 1.992  
 4 - GARCIA, 1.997

### 2.3 Manejo de resíduos no Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo teve diagnosticada a situação da disposição final e tratamento dos resíduos sólidos domésticos no inventário de resíduos sólidos (GESP 5, 1.998) concluído em 1.998.

Neste inventário é usada a classificação da Tabela 10, para os LDRS dividindo-os em três categorias a saber: inadequados, controlados e adequados, conforme a pontuação obtida em um índice de qualidade de resíduos (IQR) em uma escala de 0 a 10.

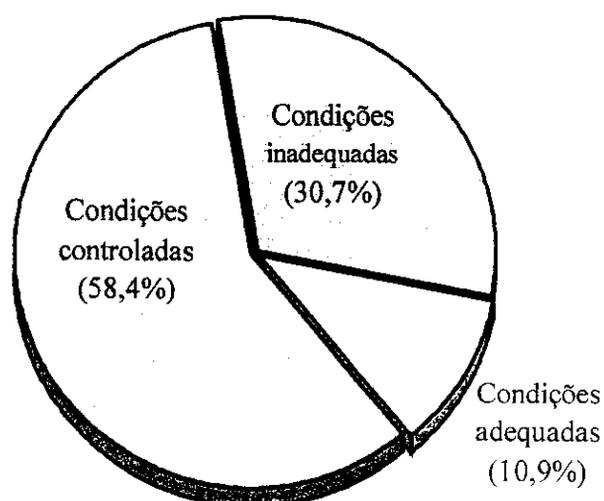
**Tabela 10 - Índice de qualidade de resíduos - IQR**

IQR	Classificação
$0,0 \leq \text{Índice} \leq 6,0$	Inadequado
$6,0 < \text{Índice} < 8,0$	Controlado
$8,0 \leq \text{Índice} \leq 10,0$	Adequado

Fonte: GESP (4), 1.998

Esta classificação leva em conta 41 itens de avaliação, divididos em 3 aspectos básicos: localização, infra-estrutura e condições operacionais.

No Estado de São Paulo, são geradas 18.322 toneladas diárias de resíduos sólido urbano. A Figura 18 mostra que apenas 10,9% desse total são dispostos em sistemas com condições adequadas; 58,4% são dispostos em sistemas controlados e 30,7%, em sistemas inadequados.



**Figura 18 - Situação da disposição final de resíduos sólidos domiciliares no Estado de São Paulo**

Fonte: GESP (4), 1.998

#### 2.4 Local de disposição de resíduos sólidos -LDRS

Um dos grandes problemas ambientais atuais é a geração e disposição final de resíduos sólidos urbanos. São gerados pelos domicílios, escolas, repartições públicas e estabelecimentos comerciais e coletados pelos serviços de limpeza urbana. Não se identifica uma estimativa satisfatória da composição média do resíduo sólido gerado no Brasil. As divergências no conceito de resíduo reduzem a confiabilidade dos dados encontrados em algumas estimativas.

O projeto de política do Estado de São Paulo de resíduos sólidos (GESP 6, 1.998) recomenda seis etapas na gestão dos resíduos:

*"prevenção da poluição ou redução da geração dos resíduos na fonte, minimização dos resíduos gerados, recuperação ambientalmente segura de materiais ou de energia dos resíduos ou produtos descartados, tratamento ambientalmente seguro dos resíduos, disposição ambientalmente segura dos resíduos remanescentes e recuperação das áreas degradadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos"* (GESP 6, 1.998).

O modelo de gerenciamento proposto acima considera todo o ciclo de vida daquilo que um dia foi recurso e passa a ser resíduo. Um dia, este material foi retirado da natureza e processado. Consumiu água, energia, mão de obra e insumos, atendeu a uma necessidade e, perdendo sua função, torna-se um problema.

O processo de fabricação de bens é poluidor. Minimizar a geração de resíduos implica em reduzir a demanda de recursos naturais, reduzir a geração de resíduos associados ao processo produtivo em muitos casos reduzir os custos de produção.

O projeto de um produto, segundo o projeto de lei descrito anteriormente, deve levar em conta o seu ciclo de vida completo, ou seja, deve considerar que ao final de sua vida útil este será descartado se não for viável a sua reciclagem. Seu custo deve prever os gastos para o seu acondicionamento final, responsabilizando o seu fabricante pelos resíduos gerados em consequência do seu descarte.

Uma vez descartado o resíduo, materiais e energia presentes nele devem ser recuperados, reduzindo-se mais uma vez a demanda de recursos e energia, sendo sua disposição final ambientalmente segura.

### Energia dos resíduos sólidos

O uso do resíduo sólido como combustível pode ser feito por: incineração com ou sem seleção prévia do resíduo, por produção de bolinhas combustíveis (*pellets*) ou por pirólise (EASTOP & CROFT, 1.990).

A incineração direta, ou seja, sem seleção prévia do resíduo é o meio mais direto de emprego do resíduo como combustível, uma grande instalação em Edmonton na região metropolitana de Londres, tem potência elétrica entre 18 e 25MW e geração anual de 175.000MWh, recebe diariamente 1.150 toneladas de resíduos e gera 345 toneladas de cinzas.

A pré seleção de resíduos permite que sejam operadas instalações menores. A seleção prévia do resíduo compreende a retirada de metais e materiais não combustíveis, o tamanho do resíduo também é importante, um tamanho médio máximo de 150mm é recomendado. O resíduo pré selecionado pode ser empregado como combustível complementar a um outro, gerando calor ou eletricidade.

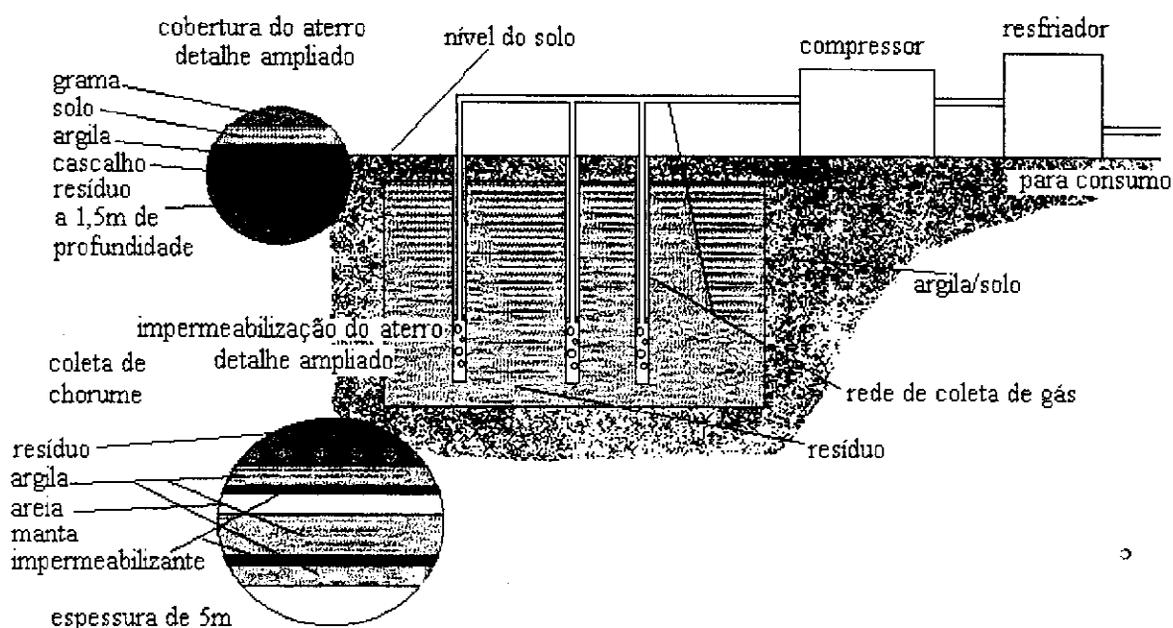
A produção de grânulos combustíveis é aplicada ao resíduo sólido livre de materiais não combustíveis e de tamanho reduzido e uniforme. O resíduo comprimido pode ser armazenado e manipulado mais eficientemente, seu emprego passa a ser semelhante ao de outros combustíveis sólidos.

A pirólise é um processo onde o resíduo é aquecido a uma temperatura média de 500°C na ausência de oxigênio. Nessa condição formam-se hidrogênio, monóxido de carbono, metano, carvão e dióxido de carbono.

A produção de biogás pela degradação anaeróbia inicia-se pela ação de bactérias produtoras de ácidos (acidogênicas) que quebram a matéria orgânica contida nos resíduos, estes ácidos resultantes são, em seguida, convertidos pelas bactérias produtoras de metano (metanogênicas). O ambiente onde ocorre esta geração é isolado da atmosfera, a umidade superior a 40% e acima do nível d'água. O biogás formado contém em média, de 40 a 60% de metano, 60 a 60% de gás carbônico, pequenas quantidades de nitrogênio e ácido sulfídrico também são observáveis.

A área do LDRS deve ser de aproximadamente 10ha (100.000m<sup>2</sup>) com profundidade de no mínimo 10m toda a superfície superior ou inferior ao LDRS deve ser composta por argila compactada evitando a percolação de chorume pela superfície inferior e o escape de gases pela superfície superior.

A Figura 19 mostra que a coleta dos gases é feita por tubos que os conduzirão a uma unidade de beneficiamento, adequando-o ao seu uso final.



**Figura 19 - Esquema de retenção e coleta de fluidos de um LDRS**

### Emissões de metano dos LDRS

Devido a decomposição natural de resíduos sólidos sob condições anaeróbias, os LDRS são fonte de emissões de metano. Estima-se que em todo o planeta essas emissões atinjam 20 a 70 milhões de toneladas de CH<sub>4</sub> ao ano.

Há diferentes metodologias de estimativa de emissões de metano pelos LDRS. Pode-se estimar as emissões de um país ou Estado empregando-se a metodologia do IPCC (1.996) ou, para um LDRS específico, empregando-se a metodologia da USEPA

(USEPA 2, 1.997). Ambas apresentam elevadas incertezas, isso ocorre devido à escassez de dados locais a respeito da geração, composição e disposição.

De acordo com a metodologia revisada (IPCC, 1.996), o total de metano emitido pela degradação anaeróbia dos resíduos gerados em um ano pode ser calculado pela Equação 2:

$$E = \text{Popurb} \times \text{taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_F \times F \times 16/12$$

### Equação 2 - Estimativa de geração de metano

onde:

<i>Popurb</i> :	População urbana [habitante]
<i>taxa RSD</i> :	Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos urbanos por habitante por ano. [kgRSD/habitante.ano]
<i>RSD<sub>f</sub></i> :	Fração de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [%]
<i>FCM</i> :	Fator de correção de metano [%]
<i>COD</i> :	Carbono orgânico degradável no resíduo sólido doméstico [gC/gRSD]
<i>COD<sub>F</sub></i> :	Fração de COD que realmente degrada [%]
<i>F</i> :	Fração de CH <sub>4</sub> no gás de LDRS [%]
<i>16/12</i>	Taxa de conversão de carbono em metano [adimensional]

Observando-se os dados nacionais do Brasil:

$$E_{\text{Brasil}} = 107.800.000 * 0,5 * 0,85 * 0,60 * 0,12 * 0,77 * 0,50 * 1,33 \\ = 617\text{GgdeCH}_4$$

Esta metodologia estima o biogás total gerado pelo resíduo. Não há considerações a respeito do seu tempo de degradação que pode levar anos.

Uma outra metodologia recomendada pelo IPCC, (1.996) para LDRS, reconhece que o metano é emitido a longo de um período. Uma aproximação da cinética de geração leva em conta os fatores que a influenciam. Esta metodologia aplica-se a estimativa de emissão LDRS individualmente ou para todo o país. É recomendado que sejam considerados fatores como: geração de resíduo *per capita*, total de geração de resíduo, umidade, acidez, temperatura e disponibilidade de nutrientes.

A degradação anaeróbia do resíduo gera grandes quantidades de metano logo após seu aterramento e esta geração se estende por anos, tornando-se cada vez mais reduzida. A Equação 3 representa este comportamento:

$$Q_{T,x} = kR_x L_0 e^{-k(T-x)} \quad (\text{IPCC, 1.996})$$

### Equação 3 - Estimativa de geração de metano pelos resíduos sólidos

onde

<i>Q<sub>T,x</sub></i>	vazão de biogás [t/ano]
<i>k</i>	constante de geração de metano [ano <sup>-1</sup> ]
<i>R<sub>x</sub></i>	quantidade de resíduo aterrado no ano [Mg]
<i>x</i>	ano de aterramento do resíduo [ano]
<i>L<sub>0</sub></i>	carbono orgânico degradável [m <sup>3</sup> /Mg de resíduo]

$T$  ano corrente [ano]

O IPCC, (1996) estima que:

$$\begin{aligned} k & 0,1 \\ R_x & 500 \text{ Mg} \\ L_0 & 0,8 \end{aligned}$$

Portanto estimativa de geração de biogás no aterro Bandeirantes em São Paulo no ano de 1971:

$$\begin{aligned} Q_{(1971,1970)} & = 0,1*500*0,8*e^{-0,1*(1971-1970)} \text{ [Mg]} \\ & = 36,19 \end{aligned}$$

O mesmo resíduo, considerado isoladamente, gera em 1975 a seguinte quantidade de biogás:

$$\begin{aligned} Q_{(1975,1970)} & = 0,1*500*0,8*e^{-0,1*(1975-1970)} \text{ [Mg]} \\ & = 24,26 \end{aligned}$$

E ao longo do tempo essa geração vai se reduzindo, sendo que em 1990 estima-se o seguinte:

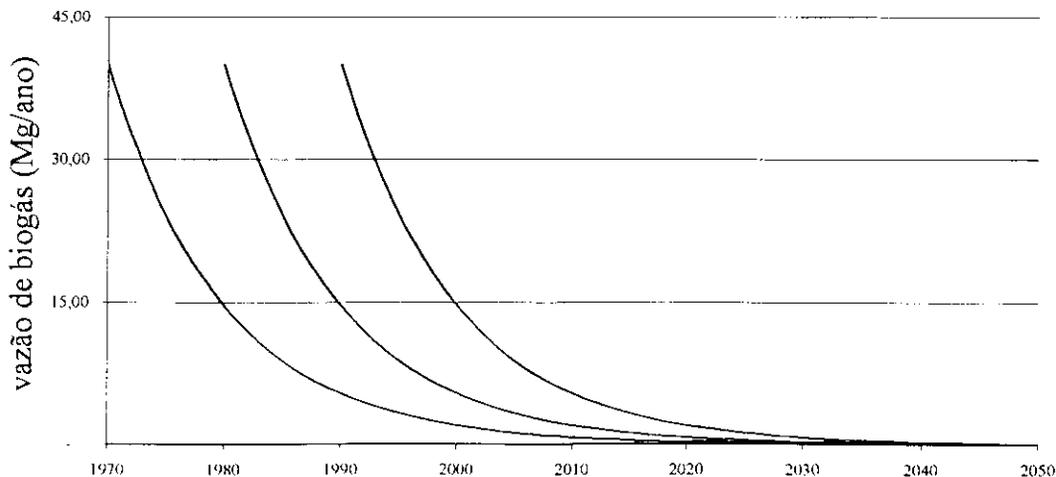
$$\begin{aligned} Q_{(1990,1970)} & = 0,1*500*0,8*e^{-0,1*(1990-1970)} \text{ [Mg]} \\ & = 5,41 \end{aligned}$$

A estimativa das emissões que ocorrem em vários anos é a soma das emissões anuais, que é representada pela Equação 4:

$$Q_T = \Sigma Q_{T,x} \text{ (IPCC, 1.996)}$$

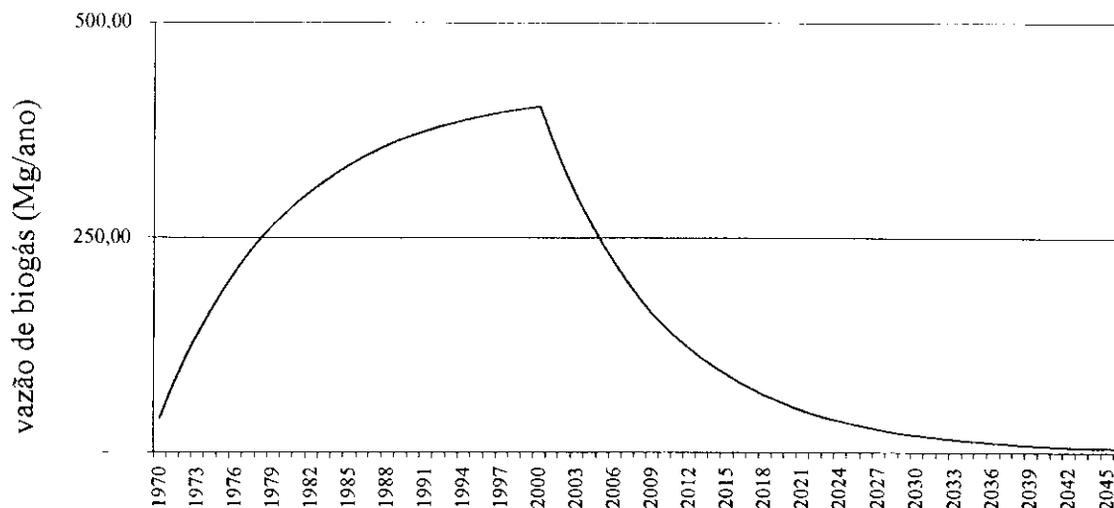
#### Equação 4 - Estimativa de geração de metano no LDRS

As considerações das Equação 3 e Equação 4 são exemplificadas nas Figura 20 e Figura 21, respectivamente, onde as emissões de metano de um LDRS fictício são estimadas. Em levantamentos realizados em LDRS de todo o Brasil, o IPCC, (1996) baseou-se nessas equações e em dados da literatura internacional devido à ausência de literatura contendo dados do Brasil.



as emissões são estimadas em t de biogás, e variam proporcionalmente ao volume de resíduos, de acordo com a Equação 3.

**Figura 20 - Emissões de biogás gerado pelos resíduos**



as emissões são estimadas em t de biogás, de acordo com a Equação 4.

**Figura 21 - Soma das emissões de biogás gerado pelos resíduos**

A USEPA (1.996) propõe uma metodologia de avaliação preliminar de viabilidade econômica de recuperação do biogás gerado pelos LDRS, onde é verificado um tamanho economicamente explorável do LDRS. Este tamanho pode ser estimado pela Equação 5:

$$T = Pop_{urb} \times \%coleta \times TaxaRSD \times Idade \times 0,001 \text{ (USEPA, 1.996)}$$

**Equação 5 - Estimativa de geração de metano pelo LDRS**

onde:

<i>T</i> :	tamanho do LDRS [t]
<i>0,001</i>	conversão de unidades [t/kg]
<i>Pop<sub>urb</sub></i> :	população urbana [habitantes]
<i>TaxaRSD</i> :	taxa de geração de resíduos sólidos urbanos [kg resíduos/hab.ano]
<i>%coleta</i>	taxa de coleta de resíduos [%]
<i>Idade</i> :	número de anos em que vem sendo depositado resíduo no LDRS [ano]

A experiência da USEPA (1.996) indica que LDRS que contenham pelo menos 1 milhão de toneladas de resíduos são aproveitáveis para coleta e utilização de metano. Porém, a quantidade de biogás gerada varia de LDRS para LDRS, sob a influência de fatores como:

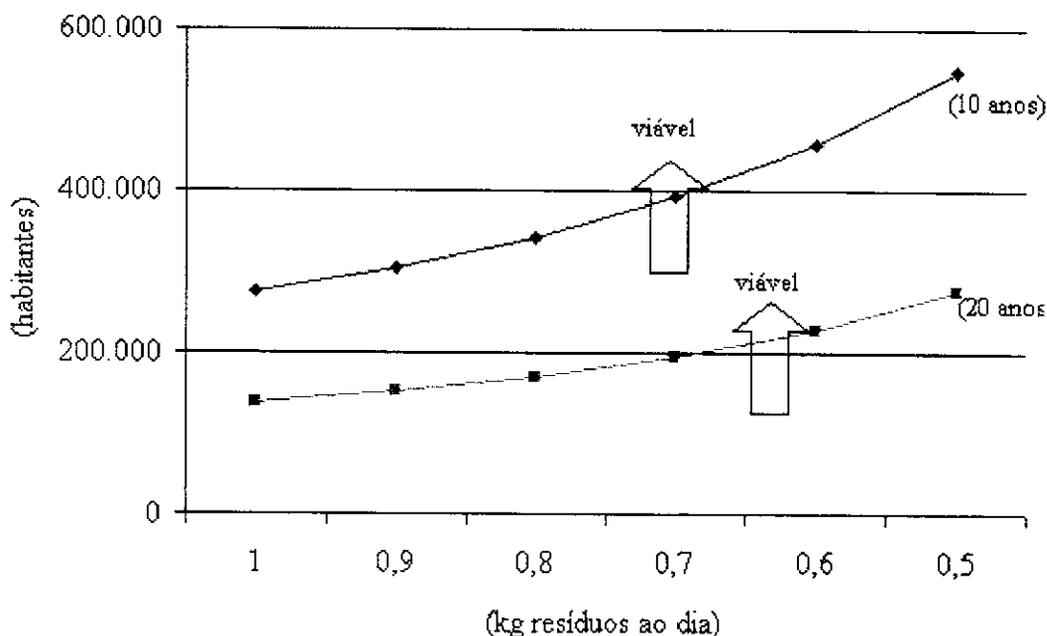
Composição dos resíduos - Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano.

Ambiente anaeróbio - Para que haja produção de metano, a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente sem oxigênio; para tanto, pode-se cobrir os resíduos com terra, ou com o próprio resíduo, criando condições anaeróbias nas camadas inferiores dos LDRS.

Umidade - A umidade é essencial à vida das bactérias decompositoras. Ela depende da umidade inicial do resíduo, da infiltração de água da superfície e do solo, e da água produzida na decomposição.

Acidez e temperatura - As bactérias metanogênicas atingem maior produtividade a pHs entre 6,8 e 7,2, e temperaturas entre 50 e 60°C. Tipicamente, a própria decomposição fornece calor suficiente para que ocorra a metanogênese, nos LDRS.

Portanto, considerando que são necessárias pelo menos 1 milhão de toneladas de resíduos para que o LDRS seja considerado viável do ponto de vista de geração de metano para fins energéticos, pode-se estimar o número mínimo de pessoas requeridas para que um LDRS seja economicamente viável. Esta estimativa é apresentada na Figura 22.



**Figura 22 - Número mínimo de habitantes para exploração de um LDRS**

OBS: supõe-se que 100% do resíduo gerado seja coletado e depositado no LDRS

Variar a taxa de geração de resíduos equivale a variar renda *per capita* da população, uma vez que a qualidade de vida e o poder aquisitivo da população estão diretamente relacionados à geração de resíduos.

A USEPA (1.996) também estima a quantidade de metano emitido por resíduos por habitante ao ano através das seguintes considerações:

Supondo que cada pessoa produz em média, no Brasil, 182 kg de lixo por ano. Desses, podemos estimar que 80% tenha como destino LDRS. Cada tonelada de lixo em

LDRS produz, até se decompor totalmente, de 400 a 500 m<sup>3</sup> de biogás com composição de aproximadamente 50% em metano (USEPA, 1.996).

$$\frac{182 \text{kg lixo}}{\text{pessoa} \cdot \text{ano}} \cdot 80\% \cdot \frac{1 \text{ton}}{1000 \text{kg}} \cdot \frac{400 \approx 500 \text{m}^3 \text{biogás}}{\text{ton}} \cdot \frac{50\% \text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{m}^3 \text{biogás}} \rightarrow 29,1 \approx 36,4 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{pessoa} \cdot \text{ano}}$$

ou seja:

$$Q(\text{Pop}) = 36,4 \cdot \text{Pop}_{\text{urb}}$$

### Equação 6 - Geração de metano em um aterro

onde:  $Q(\text{Pop})$ : Vazão de biogás do aterro [m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano]  
 $\text{Pop}_{\text{urb}}$ : População urbana atendida pelo aterro considerado [habitantes]

o que permite supor que hoje a cidade de São Paulo, que tem uma população em torno de 14 a 16 milhões de habitantes esteja emitindo de 500 a 600 milhões de m<sup>3</sup> ao ano de CH<sub>4</sub>.

### Caracterização dos resíduos sólidos

A caracterização do resíduo inclui a sua definição. Encontra-se na literatura brasileira dados que justificam supor que há diferentes conceitos de resíduo.

A NBR 10.004 (ABNT, 1.987) define resíduos sólidos incluindo neste conceito os de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, são incluídos também, lodos de sistemas de tratamento de esgotos, resíduos de equipamentos de controle de poluição e mesmo os líquidos que não possam ser lançados em corpos d'água.

A caracterização e quantificação permite que seja estabelecida ou aperfeiçoada a política de manejo do resíduo. Para que se possa estimar o potencial de geração de biogás de um LDRS deve-se conhecer a composição média do resíduo ali depositado. A principal característica desta composição é a quantidade de carbono orgânico degradável.

O IPCC estabeleceu uma metodologia que define valores padrão de fração de carbono orgânico degradável (Degradable Organic Carbon - DOC), representada na Tabela 11.

**Tabela 11 - Valores de DOC padrão**

Resíduo	Fração de DOC (em peso)
Papel e tecidos	0,40
Resíduos de poda, folhas, orgânicos	0,17
Perecíveis (exceto produtos alimentícios)	0,15
Restos de comida	0,15
Madeira	0,30

Fonte: IPCC, 1.996.

A soma dos diferentes tipos de resíduos, como mostra a Tabela 12, ponderada pelas frações de DOC de cada tipo define o DOC médio.

**Tabela 12 - Composição média do lixo domiciliar**

	São Paulo	Salvador	B. Horizonte	São Carlos	Saltinho	Guaratinguetá
Vidro	1,10	4,00	2,07	1,40	0,21	-
Metal	3,24	4,00	3,22	5,40	1,70	0,88
Plástico	12,08	11,00	1,90	8,50	0,42	5,24
Papel	14,43	19,00	16,77	21,30	3,05	33,38
Outros	69,15	62,00	76,04	63,40	92,62	60,50

Fonte: GESP (4), 1.997

A associação das Tabela 11 e Tabela 12, permite a determinação do DOC médio de uma região ou país.

Além de definir a composição do resíduo, é necessário que se garanta a homogeneidade da distribuição dos resíduos no LDRS, o que simplifica a distribuição dos poços coletores. Também é importante que se garanta a ausência de substâncias tóxicas, escoamento dos efluentes líquidos e contenção dos vapores.

A pouca quantidade de dados e o não estabelecimento de uma única metodologia na sua coleta sugere a necessidade de que sejam adotadas pelos órgãos ambientais de cada Estado medidas que permitam a caracterização e acompanhamento permanente das informações sobre o manejo de resíduos.

## 2.5 Estação de tratamento anaeróbio de efluentes - ETAE

A vida animal desenvolve-se em função da disponibilidade de água fresca. No meio animal, os grupos estabelecem-se ao redor de lagos, nascentes e rios, ali estão as condições mínimas para que a vida se desenvolva.

Comportamento semelhante se observa a respeito do ser humano, moradias isoladas, tribos ou cidades florescem em função da disponibilidade de água fresca. O ser humano consome a água utilizando-a para saciar a sede, para cocção, para limpeza, para irrigação e como fonte de energia ao mesmo tempo em que gera efluentes.

Em geral, ao devolver a água ao corpo d'água, seu usuário pode estar acrescentando a ela resíduos ou calor que irão diluir-se no corpo d'água principal. Em pequenas proporções resíduos orgânicos podem até ser entendidos como benéficos. Na água estão presentes organismos que podem se beneficiar da adição desta matéria orgânica.

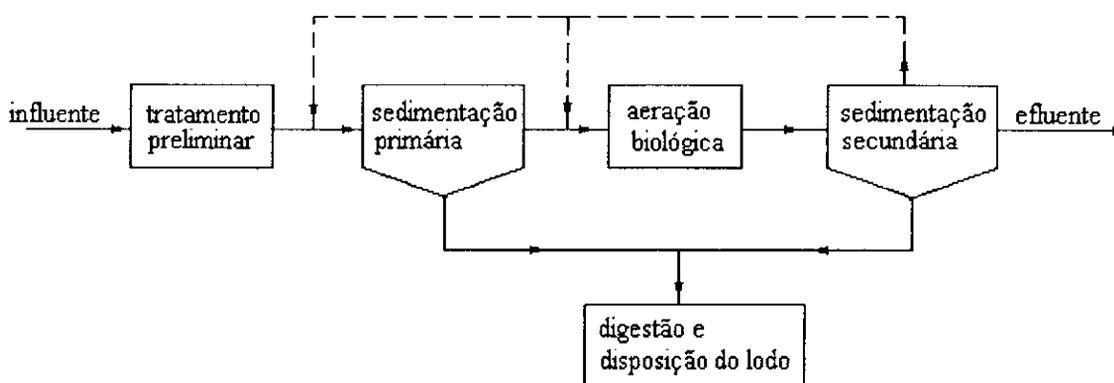
Mais recentemente tem aumentado em importância um novo indicador ambiental, o estresse por água (WRI, 1.996). O desenvolvimento industrial, agrícola e energético depende da disponibilidade de água fresca. A água é um recurso estratégico e sua contaminação pelo lançamento de esgotos cada vez menos tolerada.

De acordo com METCALF & EDDY, (1.991) os efluentes se originam da água usada pela população de uma cidade ou por uma indústria. Analisando a partir das fontes de geração, os efluentes podem ser definidos como uma combinação de resíduos carregados pela água gerados em residências e estabelecimentos comerciais ou

industriais, sendo que podem estar incluídas neste efluente águas subterrâneas, águas superficiais, e água de chuva.

Águas residuárias não tratadas podem causar, além do mau cheiro, doenças à população causadas pelos microorganismos nela contidos. Os efluentes também podem conter nutrientes que podem estimular o crescimento de plantas aquáticas ou ainda podem conter substâncias tóxicas. Dessa maneira a sua contenção, coleta, tratamento e correta disposição nos corpos d'água reflete a qualidade de vida da população.

Os processos convencionais de tratamento de efluentes domésticos, são compostos por unidade de tratamento preliminar, composto por grade e caixa de areia, pré-aeração e flotação. Em seguida vem um estágio de sedimentação e outro de digestão e deposição do lodo. Além disso, há uma estação biológica de decomposição da matéria orgânica e uma nova sedimentação. O processo completo, representado na Figura 23, tem um potencial de remoção de matéria orgânica da ordem de 90%.

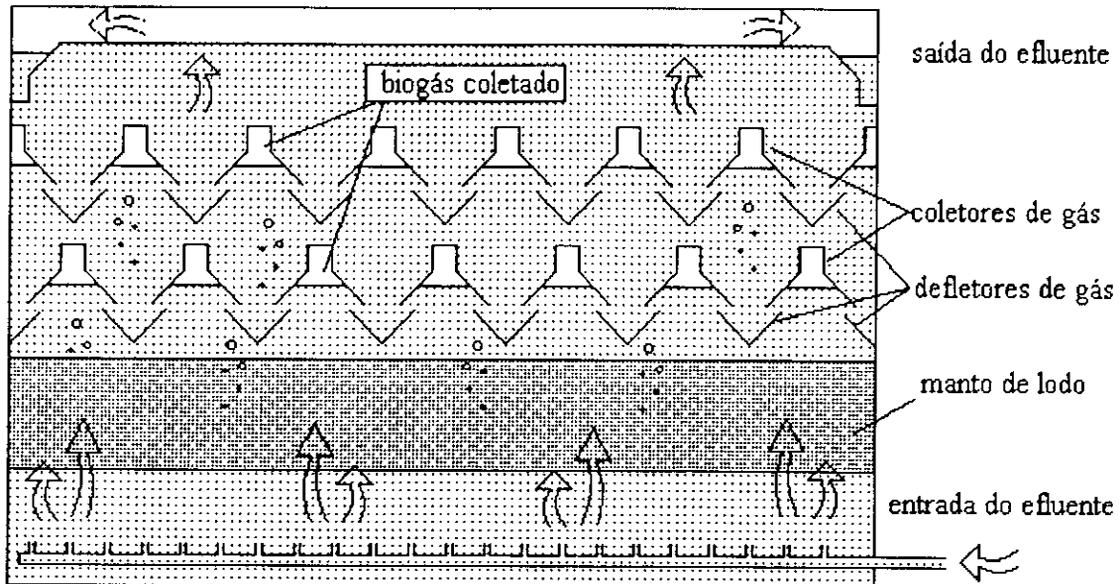


**Figura 23 - Tratamento convencional de efluentes**

Fonte: DERÍSIO, 1.992

Alternativos ou associados ao tratamento convencional de efluentes, os processos anaeróbios vem se tornando cada vez mais empregados em diferentes formas, como o processo anaeróbio de contato, o digestor anaeróbio de leito fluidizado, o filtro anaeróbio e o digestor anaeróbio de fluxo ascendente, apresentado na Figura 24.

A digestão anaeróbia do efluente, assim como ocorre com o resíduo sólido, é um processo fermentativo no qual espécies de bactérias transformam matéria orgânica em biogás. O biogás resultante é uma mistura gasosa composta basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sendo que usualmente, a concentração de metano oriundo dos efluentes é de 60 a 70% (CRAVEIRO et al., 1.985).



**Figura 24 - Reator anaeróbio de fluxo ascendente - RAFA.**

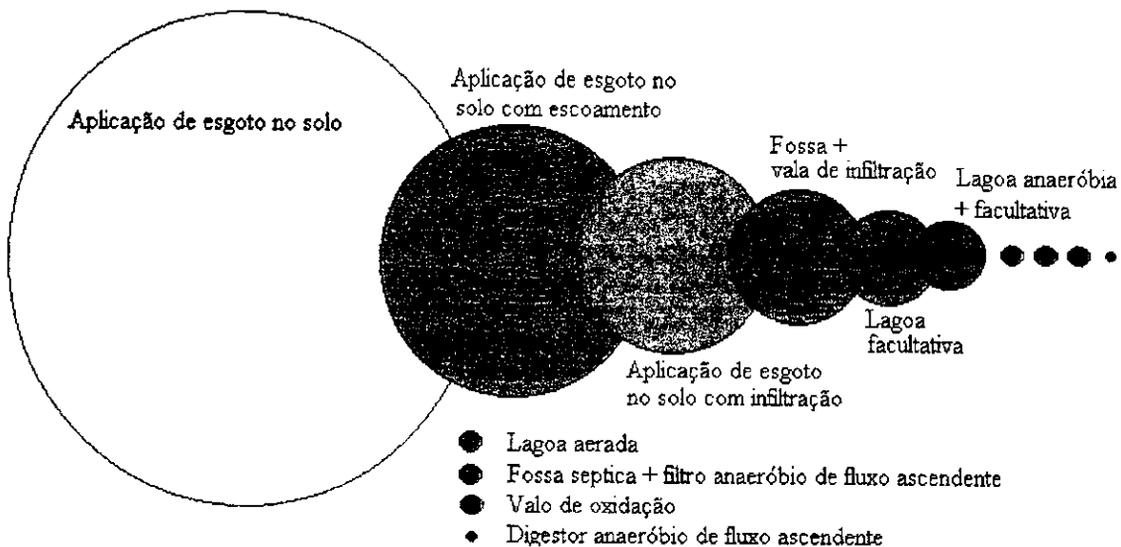
Fonte: VIEIRA, 1.996

De acordo com as informações de mercado, há três gerações identificadas dos digestores anaeróbios mais empregados nas indústrias brasileiras. A primeira geração, de construção mais simples, emprega estágio simples de coletores de gás ou um único coletor.

A segunda geração destes digestores, representada acima, implica em equipamentos compostos por vários estágios de coletores, implica também no aperfeiçoamento dos materiais componentes dos coletores, defletores e de revestimento da estrutura interna, além do aperfeiçoamento da distribuição, procurando eliminar possíveis caminhos preferenciais do efluente.

Finalmente a terceira geração, são digestores, que empregando o mesmo princípio, são montados no formato de colunas aumentando significativamente o número de estágios de coletores, a velocidade de ascensão do efluentes e a altura que este deve percorrer em contato com as bactérias anaeróbias, estes reatores também são projetados com materiais que visam prolongar ao máximo o intervalo entre paradas para manutenção.

As vantagens do processo anaeróbio em relação aos processos convencionais de degradação de resíduos são a pequena área ocupada, como mostra a Figura 25, o consumo de energia, uma vez que não são empregadas aeradores, que são equipamentos que injetam ar no efluente promovendo uma vigorosa agitação. Outra vantagem energética, deve-se ao fato de que enquanto a ETE convencional consome energia na alimentação de aeradores, a tecnologia anaeróbia gera biogás.



**Figura 25 - Comparação entre áreas de algumas opções de tratamento de esgotos**

Fonte: GASI *apud* VIEIRA, 1.987

As desvantagens do processo anaeróbio em relação ao processo aeróbio são: a instabilidade do processo, a necessidade de estágios posteriores de tratamento, necessidade de contenção de gases gerados e necessidade de um laboratório de controle dos principais parâmetros como: temperatura, acidez, nutrientes e substâncias tóxicas.

#### Emissões de metano pelo tratamento anaeróbio de águas residuárias

Uma metodologia bastante abrangente de estimativa de geração de metano pelo tratamento anaeróbio de efluentes é recomendada pelo IPCC (1.996). A redução na incerteza de estimativa é obtida se forem consideradas as particularidades de cada sistema anaeróbio estudado.

A respeito da metodologia recomendada pelo IPCC e dos dados que esta exige, é de se esperar que cada país ou grupo de países, desenvolva diferentes experiências, isto de acordo com a disponibilidade desses dados. Dessa maneira, painéis de especialistas são formados de forma a aperfeiçoá-la.

O IPCC (1.996) usa a Equação 7 para a estimar de geração de metano pela degradação anaeróbia de efluentes domésticos e comerciais.

$$E = Pop_{urb} \times taxa_{BOD_5} \times FET \times FCM \times MFEM - R$$

#### **Equação 7 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes domésticos**

e para águas residuárias industriais a Equação 8:

$$E = Prod_{ind} \times FE_{c\ org} \times FET \times FCM \times MFEM - R$$

#### **Equação 8 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes industriais**

onde:

- $E$ : Emissão de metano [ $GgCH_4/ano$ ].  
 $Pop_{urb}$ : População urbana do país [habitantes].  
 $taxaBOD_5$ : Taxa unitária de geração de Demanda Bioquímica de Oxigênio [no Brasil é de 18.250BOD<sub>5</sub>/habitante.ano].  
 $FET$ : Fração de esgotos tratada [entre 10% e 20%].  
 $FCM$ : Fator de correção de metano [entre 80% e 90%].  
 $MFEM$ : Máximo fator de emissão de metano [25%].  
 $R$ : Quantidade de metano recuperado [ $0GgCH_4/ano$ ].  
 $Prod_{ind}$ : Produção industrial [unidades de produção].  
 $Fec_{org}$ : Fator de emissão de carga orgânica por quantidade de produto [BOD<sub>5</sub>/unidade de produção].

Observando-se os dados nacionais do Brasil:

Para emissões de esgotos domésticos e comerciais:

$$E_{Brasil} = 107.800.000 * 18.250 * 0,1 * 0,8 * 0,25$$

$$= 43GgCH_4/ano$$

Para efluentes industriais

$$E_{Brasil} = 1.875.871.540 * 0,2 * 0,8 * 0,25$$

$$= 84GgCH_4/ano$$

Portanto a metodologia do IPCC pode ser aplicada a qualquer processo, desde que sejam avaliados  $FET$ ,  $FCM$ ,  $MFEM$  e  $Fec_{org}$ .

O estudo de BELLO-MENDOZA & SHARRATT, (1.998) mostra que o efluente varia sua geração de metano é como o resíduo sólido, ou seja, inicialmente é acelerada, decaindo com o tempo.

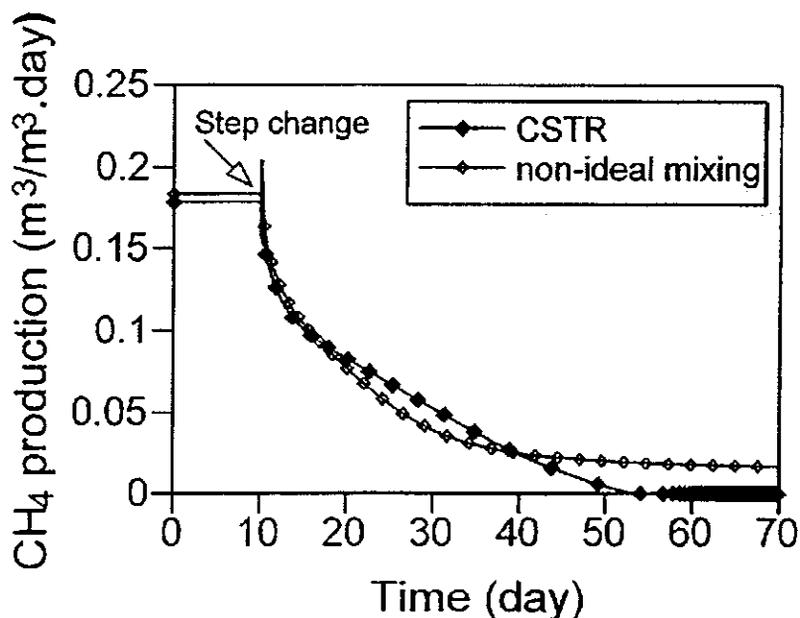
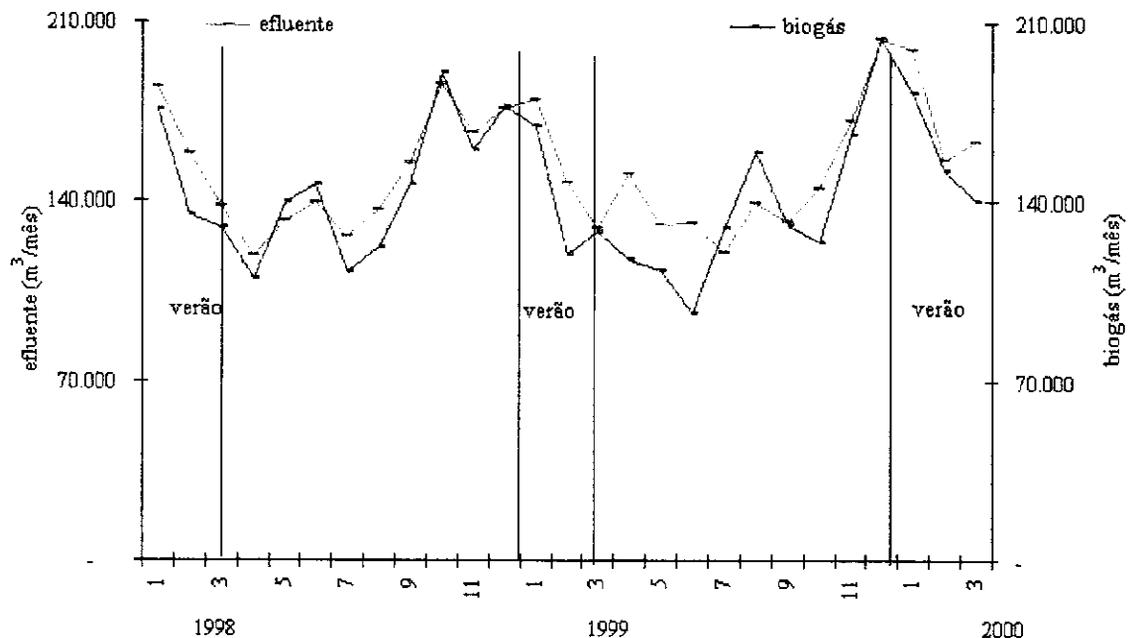


Figura 26 - Geração de biogás por efluentes

Fonte: BELLO-MENDOZA & SHARRATT, 1.998

Nesta discussão, a principal diferença entre a degradação do resíduo sólido e a digestão anaeróbia do efluente está na dinâmica do processo. O manejo de resíduos sólidos subentende que este permaneça estacionário no LDRS durante sua degradação, o tratamento de efluentes, ao contrário, é um processo onde o efluente entra no sistema e sai contendo uma quantidade menor de matéria orgânica e sólidos em suspensão. Uma vez tratado, o efluente é lançado de volta em um corpo d'água ou reciclado no processo industrial, com um tempo permanência no sistema de tratamento de alguns dias ou horas.

A operação da ETE é muito importante na definição da geração de biogás. A Figura 27 resume os registros de uma ETAE de cervejaria que opera com três reatores anaeróbios. Aparentemente a geração de metano acompanha a geração de efluentes pela indústria. Todavia, desde janeiro de 98 até março de 2.000 houve vinte meses de paralisação de reator, ou seja dos 27 meses de operação de cada um dos três reatores houve 20 meses onde havia um reator inoperante, o que significa que uma equipe de técnicos esteve permanentemente operando e executando serviços de manutenção de forma a manter esta relação.



**Figura 27 - Geração de biogás (m<sup>3</sup>) por efluentes (m<sup>3</sup>) - histórico**

Fonte: CETESB, 2.000

## 2.6 Conclusões

A qualidade de vida de uma população também é medida pela qualidade dos serviços sanitários que a servem. Seja na coleta de resíduos sólidos, no esgotamento e tratamento de efluentes ou nas condições ambientais (biota, solo, água e ar).

Faz parte da qualidade do produto de uma indústria o correto tratamento e disposição final dos seus resíduos. Informações como esta hoje influenciam na aceitação do produto e no seu desempenho de vendas.

Os indicadores socioeconômicos do Brasil apontam elevadas desigualdades inter-regionais e, em uma mesma região, elevadas desigualdades sociais. As regiões sul e sudeste do país são as que apresentam os mais elevados índices de população atendida por serviços de coleta de resíduos sólidos e esgotos. Nestas mesmas regiões são baixos os indicadores de tratamento dos esgotos domésticos e são impróprias as condições dos locais de disposição de resíduos sólidos. Ainda nestas regiões sul e sudeste as regiões metropolitanas apresentam grandes parcelas de população vivendo em favelas e áreas que, apesar de consideradas urbanas, são desprovidas dos benefícios da urbanização, reunindo num só local pobreza e poluição.

A atuação dos órgãos ambientais junto às indústrias faz com que estas tenham praticamente a totalidade dos seus esgotos tratados com uma eficiência mínima de remoção de carga orgânica de 85%. Por outro lado, o Estado continua lançando, sem tratamento, os esgotos domésticos e comerciais que coleta. Mesmo assim, é de se esperar que as indústrias aumentem seus investimentos ambientais. Isso porque, capacidade de absorver e reintegrar os resíduos que o meio ambiente têm esta esgotada.

A minimização do uso de recursos naturais como água, matérias primas e consumo de energia, assim como a minimização da geração de resíduos e desperdícios nos processos são impulsionados pela crescente conscientização ambiental dos consumidores e pela influência da opinião pública na formação de uma política ambiental pela direção da empresa. Principalmente aquelas ligadas de, alguma maneira, aos mercados internacionais.

A tecnologia de manejo de resíduos sólidos, a de tratamento de esgotos domésticos e comerciais e a de tratamento de efluentes industriais, têm na tecnologia anaeróbia uma alternativa que permite maximizar a relação custo-benefício dos investimentos em saneamento.

Outros mecanismos de otimização devem ser buscados, tais como, minimização da geração de resíduos, reciclagem, aperfeiçoamento do projeto e da operação de LDRS, maior disseminação da prática de compostagem e uso agrícola de lodos.

## Capítulo III TECNOLOGIA DE RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS

### 3.1 Introdução

Originado no processo de degradação anaeróbia de matéria orgânica, isto é, sem a presença de ar, o biogás é uma parte importante do ciclo do carbono. A geração de metano por bactérias, denominada metanogênese, é o último estágio de degradação da matéria orgânica, quando microorganismos devolvem os produtos dessa decomposição ao meio ambiente.

A cada ano são lançados aproximadamente 550 milhões de toneladas de metano na atmosfera do globo por atividade microbiana. Uma outra classificação das fontes de emissão pela origem do biogás indica que aproximadamente 90% do metano emitido deriva de fontes de biogênicas, ou seja, da decomposição de biomassa. O remanescente é de origem fóssil, por exemplo processos petroquímicos. (GTZ, 2.000).

Por outro lado, considerando-se as fontes de emissões antropogênicas como indústria petrolífera, mineração de carvão, cultivo de arroz, fermentação entérica, resíduos de animais, queima de biomassa e degradação anaeróbia de resíduos, ao todo as atividades humanas são responsáveis por dois terços das emissões de metano (GTZ, 2.000).

Pode-se afirmar que a recuperação do biogás gerado só é cogitada para a indústria de petróleo, mineração de carvão e degradação anaeróbia de resíduos, as demais fontes de emissão de metano só permitem que se desenvolvam alternativas que as reduzam.

As emissões devidas à mineração de carvão e indústria de petróleo, são devidas à exploração de combustíveis fósseis e, portanto, representam perdas de um processo cuja sustentabilidade ambiental vem sendo cada vez mais questionada.

O tratamento adequado dos resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, emprega a tecnologia de degradação anaeróbia. Como consequência ocorre a geração de biogás, que tem uma concentração entre 50 e 90% de metano. Esse fluxo de biogás é regular, controlado e relativamente concentrado quando comparado com outros como cultivo de arroz ou mineração de carvão, estima-se que as emissões das minas de carvão têm concentração aproximada de 30% de CH<sub>4</sub>.

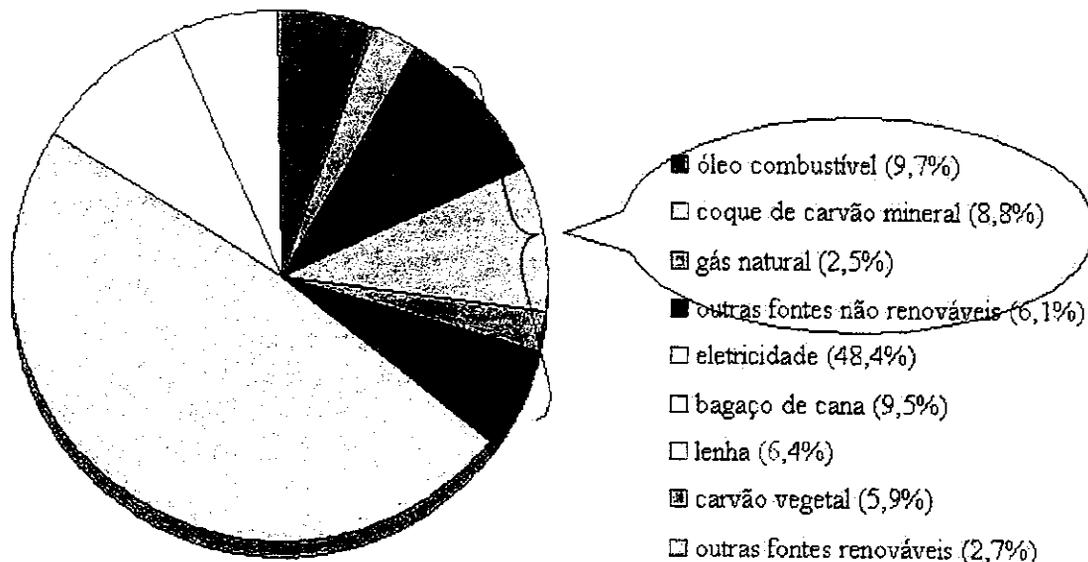
### 3.2 Os mercados de gás natural combustível e biogás no Brasil

Em 1.995, o consumo energético final do setor industrial no Brasil apresentava um aumento da ordem de 25% com relação ao ano de 1.986 (MME, 1.996), passando de 158,3MtEP em 1.986 para 198,4MtEP em 1.995.

Na Figura 28 o balanço energético nacional de 1.995 (MME, 1.996) reflete, antes de mais nada, a elevada importância da indústria sucro-alcooleira dentro do setor de alimentos e bebidas. O consumo de eletricidade é de 27%, enquanto que os consumos de GNC e carvão estão em torno de 1%.

Devido a pouca ocorrência de GNC no território nacional e ao alto custo do seu transporte, o desenvolvimento tecnológico de máquinas térmicas, historicamente, tem

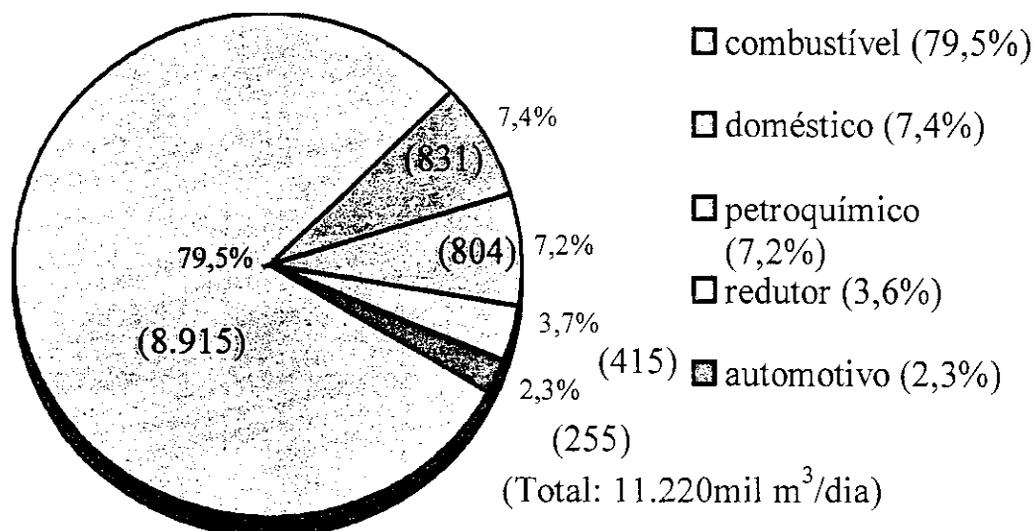
empregado outros combustíveis como, por exemplo, o petróleo e seus derivados. O Ministério das Minas e Energia - MME, (1.996) mostra a reduzida participação do GNC na matriz energética nacional, além disso observa a importante parcela de energia renovável consumida no setor industrial.



**Figura 28 - Composição do consumo de energia do setor industrial no Brasil**

Fonte: MME, 1.996

De acordo com a PETROBRÁS (1.999), o GNC é utilizado em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. Nos países de clima frio, seu uso residencial é voltado para o aquecimento ambiental. Já no Brasil, seu uso residencial é voltado para a cocção. Na indústria, o GNC é utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz; também é empregado como matéria-prima nos setores químico, petroquímico e de fertilizantes e como redutor siderúrgico na fabricação de aço. Na área de transportes o GNC é utilizado em ônibus e automóveis, podendo substituir o óleo Diesel, a gasolina e o álcool. A Figura 29 dá uma idéia de como se distribui este consumo.



**Figura 29 - Utilização de GNC no Brasil, por setores, média de 1.998 (mil m<sup>3</sup>/dia).**

OBS.: Não está incluído o gás consumido internamente na Petrobrás para produção e refino de petróleo.

Fonte: PETROBRÁS, 1.999

Na próxima década o uso do GNC no Brasil tende a aumentar. Em 1.996 o governo federal brasileiro autorizou o uso de GNC como combustível veicular em carros de passeio e está prevista, no plano emergencial do governo, a entrada em operação de 23 novas termelétricas em 2003 (GM 2, 2.000), com potência total de 9.400MW (GM 1, 2.000) e consumo de GNC superior a 26 milhões de m<sup>3</sup> ao dia (GM 2, 2.000). A indústria, buscando economia, garantia de fornecimento energético e redução de emissão de poluentes atmosféricos também opta pelo uso de GNC (FSP, 2.000).

Considerando que o biogás pode ser considerado um combustível semelhante ao GNC, o mercado consumidor de GNC também pode consumir biogás. Seja como combustível alternativo ou complementar. Portanto, o uso de biogás é favorecido pela expansão do mercado de GNC nacional.

Atualmente, na Inglaterra, o biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos, além do emprego na geração de energia elétrica, é utilizado como fonte de energia por vários tipos de indústrias como as de tijolos, alimentos, papel, metalúrgica, cimento e química (ETSU, 1.998). O biogás também é usado na horticultura e no tratamento de efluentes.

Outros combustíveis, além do GNC podem ser substituídos ou usados em complemento ao biogás como óleo combustível, carvão, lenha ou álcool.

### 3.3 A purificação do biogás

O estudo da viabilidade de emprego do biogás, normalmente se inicia pela avaliação de equivalência energética entre o biogás e o combustível a ser substituído. Além do poder calorífico, apresentado na Tabela 13, é necessário que se observem outras propriedades como presença de contaminantes, acidez e pressão. Tais considerações

contribuem para uma previsão adequada das adaptações necessárias ao emprego do biogás, quer seja como único recurso energético ou como combustível complementar.

**Tabela 13 - Poder calorífico de combustíveis**

Combustível	Massa específica	Poder calorífico	
		superior	inferior
	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg
Petróleo	867	10.200	10.900
Carvão vapor	n.d.	4.000	4.460
Carvão metalúrgico	n.d.	7.425	7.700
Lenha	390	2.530	3.300
Cana de açúcar	n.d.	917	1.030
Óleo Diesel	851	10.180	10.750
Óleo combustível	999	9.547	10.900
Gasolina	738	10.556	11.230
Gás liquefeito de petróleo	552(líquido) 2,29(gás)	11.026	11.750
Nafta	704	10.462	11.320
Querozene	787	10.396	11.090
Gás canalizado	n.d.	4.230	4.700
Gás de coqueria	n.d.	4.400	4.500
Coque de carvão mineral	n.d.	6.900	7.300
Lixívia	2.100	n.d.	3.030
Carvão vegetal	250	6.115	6.800
Álcool anidro	791	6.400	7.090
Álcool hidratado	809	5.950	6.650
Bagaço de cana	n.d.	1.777	2.257
Gás de refinaria	0,78	8.272	8.800
Gás natural	n.d.	8.554	9.400

OBS: n.d. = não disponível

Fonte: BEN e BEESP *apud* MARTINS, não datado

O biogás é uma mistura dos seguintes gases:

- metano (CH<sub>4</sub>): de 50 a 90%<sub>vol</sub>,
- gás carbônico de (CO<sub>2</sub>): 50 a 10%<sub>vol</sub> e
- outros gases: de 1 a 5%<sub>vol</sub>, divididos em:
  - hidrogênio de (H<sub>2</sub>): de 0 a 1%<sub>vol</sub> e
  - ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S): de 0 a 3%<sub>vol</sub>.

Como qualquer outro gás, as características do biogás dependem da pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos.

Produzido pela degradação anaeróbia, o biogás tem uma composição semelhante à do GNC, pode ser usado nas condições em que é gerado, e dependendo da aplicação pode ser necessária a redução da concentração de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, redução da umidade ou mesmo a elevação da pressão.

Devido a semelhança na sua composição a aplicação do biogás toma referência no uso do GNC. Uma máquina projetada para queimar GNC queima, sem necessidade de adaptações o biogás se este estiver de acordo com a especificação do GNC. Esta

especificação, apresentada na Tabela 14, para uso industrial e automotivo no Brasil já foi definida pelo Conselho Nacional do Petróleo - CNP número 23/87 (*apud* JENS, 1.992) e hoje é esta norma vem do Regulamento Técnico da Agência Nacional do Petróleo - ANP n.º 001/98 definido pela Portaria n.º 41, de 15 de abril de 1.998.

**Tabela 14 - Especificações do GNC:**

Características <sup>(1)</sup>	Unidade	Grupos energético			Métodos
		B (baixo)	M (médio)	A (alto)	
Poder calorífico superior (PCS)	kcal/m <sup>3</sup>	8.000 a 9.000	8.800 a 10.200	10.000 a 12.500	ASTM D 3588
Densidade relativa ao ar		0,54 a 0,60	0,55 a 0,69	0,66 a 0,82	ASTM D 3588
Teor de ácido sulfídrico (H <sub>2</sub> S), máximo.	Mg/m <sup>3</sup>	20	20	20	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de enxofre (H <sub>2</sub> S e enxofre mercaptídico), máximo.	Mg/m <sup>3</sup>	80	80	80	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), máximo <sup>(2)</sup>	% volume	2,0	2,0	2,0	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de inertes, máximo <sup>(3)</sup>	% volume	4,0	4,0	4,0	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de oxigênio (O <sub>2</sub> ), máximo.	% volume	0,5	0,5	0,5	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Ponto de orvalho de água, 1 atm, máximo <sup>(4)</sup>	°C	-45	-45	-45	ASTM D 5454

OBS.: (1) - Limites especificados são valores referidos a 20°C a 101,33kPa (1atm), exceto onde indicado.

(2) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se 3,5%.

(3) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se 6,0%.

(4) - Para as regiões norte e nordeste, admite-se -39°C.

Fonte: ANP, 2.000.

Ainda segundo a ANP (2.000), o GNC deve estar sempre livre de poeira, água condensada, odores objetáveis, gomas, elementos formadores de goma, glicóis, hidrocarbonetos condensáveis, compostos aromáticos, metanol ou outros elementos sólidos ou líquidos que possam interferir com a operação dos sistemas de transporte e distribuição e à utilização pelos consumidores.

O GNC pode ser transportado sem odorização, exceto quando requerido por normas de segurança aplicáveis.

É obrigatória a presença de odorante na distribuição.

Os métodos de ensaio de qualidade do GNC são os seguintes:

ASTM D 1945 - Standard Test Method for Analysis of Natural Gas by Gas Chromatography

ASTM D 3588 Calculating Heat Value, Compressibility Factor, and Relative Density (Specific Gravity) of Gaseous Fuels

ASTM D 5454 - Standard Test Method Water Vapor Content of Gaseous Fuels Using Electronic Moisture Analyzers

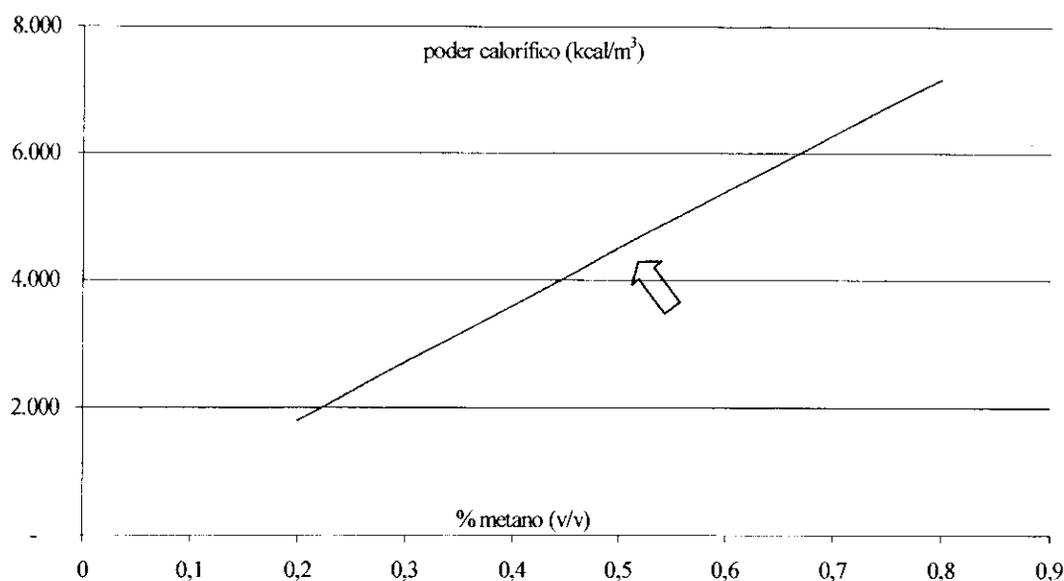
ASTM D 5504 - Standard Test Method for Determination of Sulfur Compounds in Natural Gas and Gaseous Fuels by Gas Chromatography and Chemiluminescence

ISO 6326 - Natural Gas - Determination of Sulfur Compounds, Parts 1 to 5

## ISO 6974 - Natural Gas - Determination of Hydrogen, Inert Gases and Hydrocarbons up to C<sub>8</sub> - Gas Chromatography Method

A não adequação da máquina ao combustível gera um extenso histórico de motores e queimadores que não operam satisfatoriamente, especialmente em adaptações ao uso do biogás. Pode ocorrer combustão incompleta, falha de alimentação, perda de potência e corrosão precoce provocada pela presença do ácido sulfídrico.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente, estas substâncias entram no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. À medida em que se eleva a concentração das impurezas o poder calorífico do biogás torna-se menor.



**Figura 30 - Poder calorífico do biogás (kcal/m<sup>3</sup>).**

Fonte: ETSU, 1.996

A relação entre massa e volume do CH<sub>4</sub> puro é de 0,5kg/Nm<sup>3</sup>. Energeticamente o biogás purificado corresponde ao GNC, sendo que seu poder calorífico é menor quanto maiores forem as proporções de contaminantes na mistura que o compõe. Para efeito de simplificação, na Figura 30, este poder calorífico é igual a 5.000kcal/m<sup>3</sup>, o que corresponde a um litro de óleo Diesel.

A composição do biogás é variável e ele é um gás ácido (AJAX ENGINES, 1.999). A maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 e 2% de H<sub>2</sub>S (ou entre 3 a 20.000 ppmv - partes por milhão em volume) e significantes quantidades de mercaptanas (AJAX ENGINES, 1.999). BEDUSCHI et al., (1.985) observam a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio.

O processo de purificação do biogás para uso automotivo, apresentado a seguir (BRITO, 1.985) emprega filtro de limalhas de ferro para a remoção do ácido

(H<sub>2</sub>S) e lavador de gás com água para a remoção do gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Este gás é ainda seco e comprimido para uso final. Ainda de acordo com BRITO (1.985) este processo é simples e versátil podendo ser adaptado, tanto para baixas quanto para altas vazões.

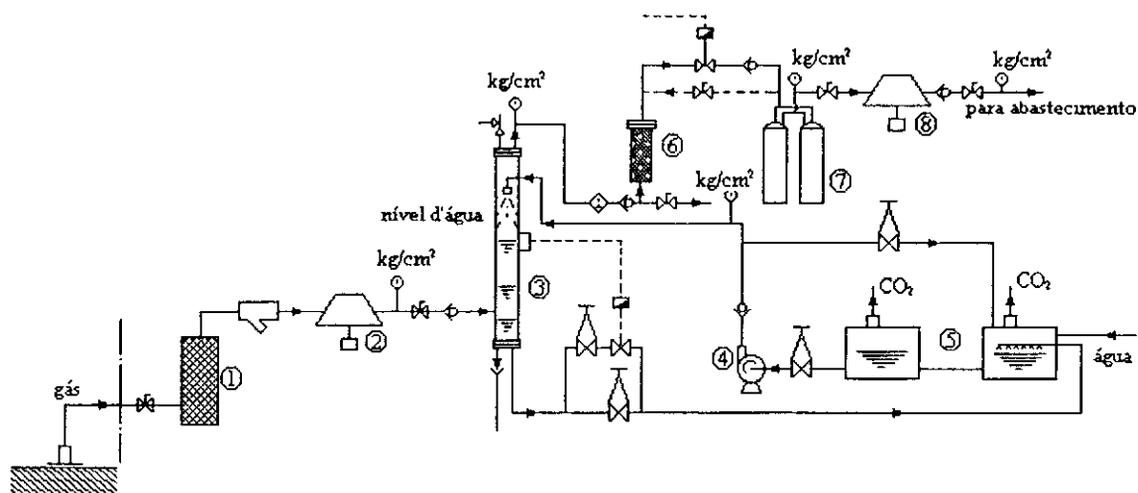
A remoção do H<sub>2</sub>S empregando-se limalhas de ferro, segundo BEDUSCHI et al., (1.985) é um dos mais antigos métodos usados na remoção de compostos de enxofre de uma corrente gasosa. Tem como vantagem o baixo custo, a simplicidade da instalação e a possibilidade da completa remoção do H<sub>2</sub>S que reage com o óxido de ferro formando sulfeto. O óxido de ferro, que pode ser palha de aço, cavacos e limalha de ferro, empregado no filtro é impregnado com aparas de madeira que servem como leito suporte (BEDUSCHI et al., 1.985).

Outra alternativa para a remoção de H<sub>2</sub>S do biogás é o método biológico desenvolvido por FERNANDEZ & MONTALVO, (1.998). Este método consiste em colocar o biogás em contato com uma pequena quantidade de oxigênio em um ambiente líquido abastecido por efluentes. A eficiência de remoção de H<sub>2</sub>S em experimento é superior a 97% com tempo de contato entre 13 e 16h. Para um tempo de contato de 1h a eficiência de remoção, na maioria dos casos, é de 95%.

A remoção do CO<sub>2</sub> do biogás, dá-se pela adsorção física do CO<sub>2</sub> na água, segundo BEDUSCHI et al., (1.985) este é um processo antigo que utiliza a água como adsorvente, esta pode ser regenerada por despressurização.

A desumidificação pode ser feita tanto pelo resfriamento do fluxo gasoso até o ponto de orvalho quanto pelo contato deste com substâncias higroscópicas.

Um exemplo de aplicação de um sistema de beneficiamento de biogás é dado na Figura 31.



**Figura 31 - Esquema de uma estação de biogás automotivo**

Legenda:

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1 - Filtro para H <sub>2</sub> S.          | 2 - Compressor de baixa pressão |
| 3 - Torre de absorção de CO <sub>2</sub>   | 4 - Bomba d'água                |
| 5 - Caixa de eliminação de CO <sub>2</sub> | 6 - Secador                     |
| 7 - Depósito pulmão                        | 8 - Compressor de alta pressão  |

Fonte: BRITO, 1.985

Concluindo, há diferentes alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser definida a mais adequada para a aplicação energética que se pretende.

A Tabela 15, apresenta um resumo de diversas alternativas de purificação possíveis. Seus custos variam de acordo com a disponibilidade tecnológica e de materiais da localidade.

**Tabela 15 - Técnicas de remoção de impurezas do biogás.**

Alvo	Descrição geral	Detalhes
Água	Adsorção	Sílica gel Peneira molecular Alumina
	Absorção	Etileno glicol (temperatura $-6,7^{\circ}\text{C}$ ) Selexol.
	Refrigeração	Resfriamento a $2^{\circ}\text{C}$
Hidrocarbonos	Adsorção	Carvão ativado
	Absorção	Óleo leve Etileno glicol e Selexol (temperaturas: entre $-6,7^{\circ}\text{C}$ e $-33,9^{\circ}\text{C}$ )
	Combinação	Refrigeração com Etileno glicol e adsorção em carvão ativado
$\text{CO}_2$ e $\text{H}_2\text{S}$	Absorção	Solventes orgânicos Selexol Flúor Rectisol Soluções de sais alcalinos Potássio quente e potássio quente inibido (talvez tamponado) Alcanolaminas Mono, di-tri-etanol amina deglicolamina Ucarsol-CR
	Adsorção	Peneiras moleculares Carvão ativado
	Separação por membranas	Membrana de fibra oca

### 3.4 Máquinas térmicas alimentadas com biogás

As considerações sobre o uso da energia feitas a seguir observam dois aspectos:

- a geração, formas de conversão e transmissão e
- a eficiência do uso final.

#### A geração, formas de conversão e transmissão

Antes da tomada de decisão sobre qual o destino a ser dado ao biogás, deve-se considerar um sistema energético genérico definindo em que estágio deste sistema se encaixa a recuperação de biogás.

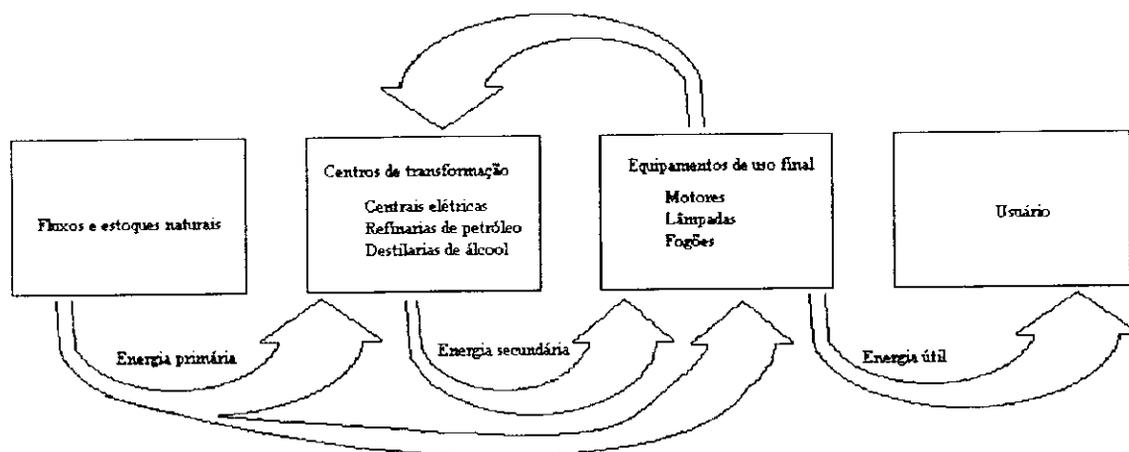
NOGUEIRA, (não datado) propõe um sistema energético genérico para a interpretação de uma seqüência de processos que vão desde a obtenção de recursos energéticos, conversão, armazenamento, oferta e uso final atendendo a uma dada necessidade social ou industrial.

Os fluxos e estoques naturais compreendem recursos como: biomassa, ventos, combustíveis fósseis e energia hidráulica. Estes recursos podem ser usados diretamente em um equipamento de uso final, gerando calor ou força mecânica, ou podem ser convertidos em outras formas energéticas viabilizando sua transmissão ou armazenamento.

A energia primária é aquela que ainda não passou por qualquer processo de transformação. Um processo de transformação do recurso energético sempre visa a sua melhor adequação ao uso seguinte e este recurso passa a ser classificado como energia secundária.

Toda transformação a que um recurso energético se submete dá-se em um centro de transformação de energia. Este tem como insumo um recurso energético que pode ser energia primária ou não.

Estando o recurso energético na forma desejada, ou seja, com características satisfatórias de fluxo, estoque, localização, emissão de poluentes, o recurso pode então ser efetivamente utilizado pelo usuário gerando então energia útil, como por exemplo: calor, iluminação e potência. A Figura 32 expressa simplificada estas relações.



**Figura 32 - Sistema energético genérico**

Fonte: NOGUEIRA, não datado.

A fim de viabilizar a recuperação do biogás, as diferentes alternativas energéticas de seu emprego devem ser consideradas, ou seja, originário do sistema de tratamento de resíduos o biogás pode ser considerado um recurso energético primário.

Quais são as necessidades energéticas, ou seja, de uso final? A resposta a esta pergunta indicará quais os mecanismos de conversão energética deverão ser empregados.

#### A eficiência do uso final

A segunda lei da termodinâmica estabelece que a conversão de uma forma de energia em uma nova implica em perdas, sendo impossível que 100% da energia que entra no sistema seja convertida em uma outra. A razão entre a energia útil e a energia consumida é a eficiência energética.

$$\eta_{\text{energ}} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{consumida}}} = \frac{E_{\text{consumida}} - \text{Perdas}}{E_{\text{consumida}}} = 1 - \frac{\text{Perdas}}{E_{\text{consumida}}}$$

#### **Equação 9 - Eficiência energética**

onde:

$$\eta_{\text{energ}} \text{ eficiência [\%],}$$

$$E_i \text{ Energia útil ou consumida [Wh] e}$$

$$\text{Perdas [Wh]}$$

A eficiência térmica de geradores de vapor é dada por:

$$\eta_{\text{térmico}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{fornecido}}}$$

### **Equação 10 - Eficiência térmica de geradores de vapor**

onde

$$\eta_{\text{térmico}} \text{ :eficiência térmica [\%]}$$

$$Q_i \text{ : calor útil ou fornecido pelo combustível [Wh]}$$

A energia necessária para a secagem de um subproduto é dada por:

$$Q_{\text{secagem}} = me$$

### **Equação 11 - Energia para secagem**

onde:  $Q_{\text{secagem}}$  [kWh]

$m$ : massa de água evaporada [g]

$e$ : calor latente de evaporação da água [kWh/g]

A Tabela 16 fornece rendimentos típicos para as diferentes máquinas:

**Tabela 16 - Eficiência energética típica de máquinas térmicas**

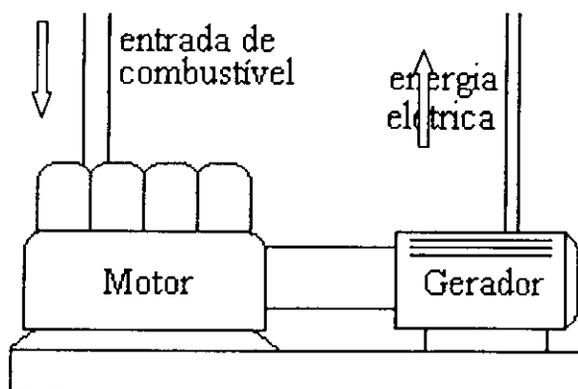
Equipamento	%
Central a vapor (200MW)	0,41
Turbina a gás (25MW)	0,30
Motor Diesel (20.000HP)	0,40
Motor elétrico (5HP)	0,70
Turbina a vapor (50MW)	0,90
Sistema de cogeração (10MW)	0,75
Queimador doméstico de GLP	0,90
Aquecedor elétrico de água	0,60
Caldeira (200t/h)	0,93

Fonte: Gallo e Milanez, 1.990 *apud* NOGUEIRA, não datado

#### 3.4.1 Motor de ciclo Otto ou Diesel

O uso de motores ciclo Otto ou Diesel, representados na Figura 33 tem duas aplicações principais:

- geração de energia elétrica pelo acoplamento ao motor de um gerador elétrico,
- geração de energia mecânica que pode ser empregada no acionamento de bomba hidráulica, compressor ou veículo.



**Figura 33 - Grupo gerador acionado por biogás**

Segundo GASTALDONI, (1.985) o desempenho do biogás como combustível automotivo é bastante semelhante ao obtido com o GNC.

NOGUEIRA, (1.986) observa que em motores com ciclo Diesel além da admissão do biogás, deve ser feita a injeção de pequena quantidade de Diesel que serve como centelha iniciando a combustão a cada ciclo. Outra observação acrescenta que concentrações até 45% de CO<sub>2</sub> na mistura não prejudicam a operação destes motores, sendo, portanto desnecessária esta purificação.

MACHADO & KROSNOWSKI, (1.985) indicam que o uso de carvão vegetal em cilindros de armazenagem de metano, como elemento adsorvente, permite um aumento na capacidade de armazenamento da ordem de quatro vezes para uma pressão de 10atm, ou seja, a uma mesma pressão, um cilindro contendo carvão vegetal tem a capacidade de armazenar uma massa de gás quatro vezes superior. Outra observação de MACHADO & KROSNOWSKI, (1.985) refere-se à umidade no biogás, que é deve ser evitada.

Uma comparação feita por GASTALDONI, (1.985) indica que substituindo-se um reservatório de gasolina por um de mesmo volume com GNC a pressão de 200atm, a autonomia de um veículo movido a gasolina sofre uma perda de 71% enquanto que a autonomia de um veículo movido a álcool sofre uma redução de 53%.

Portanto, o uso do metano contido no biogás como combustível automotivo mostrou-se prejudicado pela a baixa autonomia, observada também quando empregado em tratores agrícolas (COAN, 1.999).

A redução do volume do biogás pode ser feita pelo emprego de tecnologia de criogenia e compressão à altas pressões, em torno de 200atm, ambas são de elevado custo (COAN, 1999).

A criogenia implica em um resfriamento até a temperatura de 161° C negativos, quando ocorre a liquefação do metano (NOGUEIRA, 1.986).

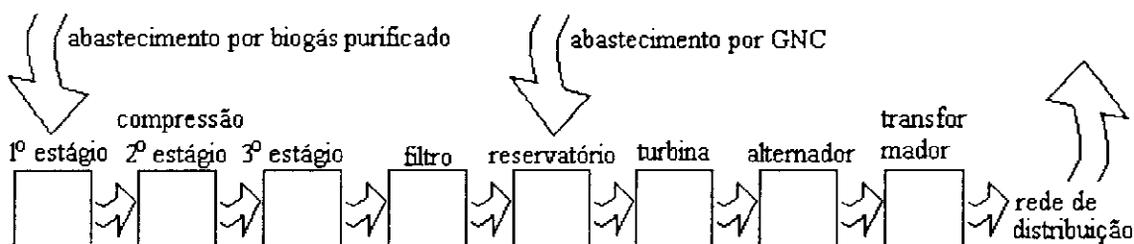
Concluindo, o elevado volume ocupado pelo reservatório de biogás ou o elevado custo da redução do seu volume são desvantagens desta tecnologia, prejudicando principalmente, o uso automotivo.

### 3.4.2 Turbinas a gás

A produção de eletricidade por turbina a gás pressupõe grandes fluxos de biogás, situação mais comum em LDRS.

Este, tem como primeiro beneficiamento a retirada de condensado da linha de biogás. Antes de passar pelo compressor ou soprador são retiradas as partículas sólidas por filtragem.

Como ilustra da Figura 34, o pré tratamento pode incluir filtragem, resfriamento, absorção e filtro molecular. O biogás é bombeado e sua composição controlada. Até chegar à turbina a gás, este passa por três estágios de compressão intercalados por trocadores de calor e filtros.



**Figura 34 - Geração de eletricidade com turbina a gás empregando biogás purificado**

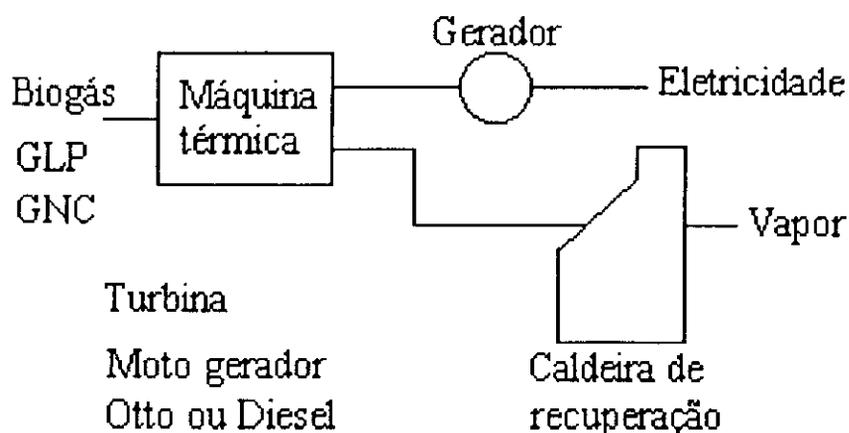
Fonte: ETSU, 1.988

As termelétricas com potência inferior a 5MW estão isentas do recolhimento da taxa de fiscalização de serviços de energia elétrica (AAE, 1.998).

### 3.4.3 Cogeração

Tanto o uso de moto-geradores do ciclo Otto ou Diesel quanto turbinas a gás têm seus rendimentos em torno de 30 a 40%. O uso dos gases de escape gerando vapor pode elevar a eficiência do conjunto para aproximadamente 70% (SILVA, 1.997).

A Figura 35 mostra o calor residual presente nos gases de exaustão da turbina sendo aproveitado na geração de vapor, substituindo outros recursos energéticos.

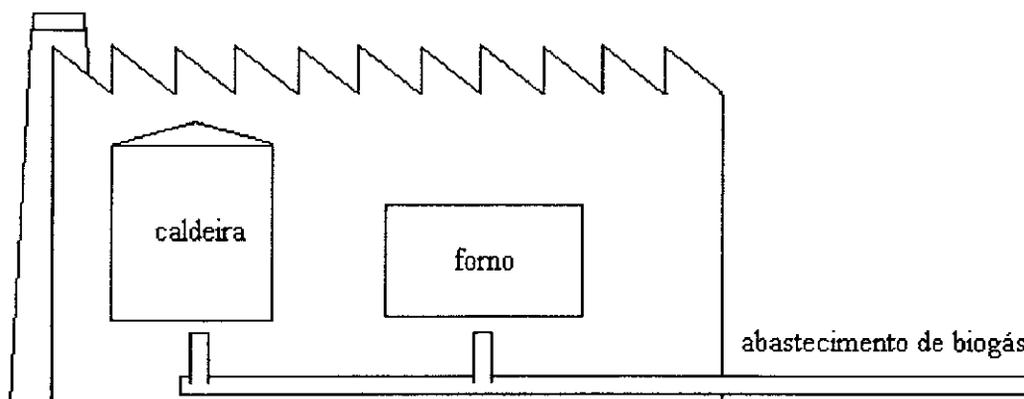


**Figura 35 - Sistema de cogeração**

Fonte: DUFFY, 1.996

#### 3.4.4 Caldeiras e queima direta

Na indústria, a Figura 36 mostra a aplicação do biogás para aquecimento de água em caldeiras ou gerando calor em secadores ou trocadores de calor. Estas são alternativas simples, sendo necessário um especial controle da velocidade de biogás no queimador em função da composição da mistura. Seu uso pode ser feito em associação com outros combustíveis convencionais, provendo garantia adicional de operação.



**Figura 36 - Uso de biogás em caldeiras e queima direta**

#### 3.4.5 Outros aproveitamentos

Instalações rurais como granjas criadores de coelhos em confinamento e que empregam tecnologia anaeróbia para tratamento de seus efluentes, normalmente têm disponibilidade de biogás podendo gerar iluminação, energia elétrica ou calor.

Algumas experiências promissoras neste sentido, estão sendo conduzidas no interior do Estado de São Paulo.

Contando com a previsão da necessidade de remoção de carbono, nitrogênio e fósforo dos sistemas de tratamento de esgotos urbanos do próximo século HOUBRON et al., (1.998) avaliam que o emprego do metano contido no biogás apresenta eficiência

similar a outras formas, hoje usuais de tratamento terciário, que empregam metanol, etanol e ácido acético.

Uma outra aplicação que pode ser dada ao biogás é o tratamento do chorume. O chorume é uma substância com elevada carga orgânica, na forma líquida e que escoa do LDRS.

No interior do estado de São Paulo encontra-se em funcionamento uma unidade de evaporação, a baixas temperaturas da água contida no chorume, reduzindo-se assim o seu volume e os gastos com o seu tratamento. A fonte energética para esta evaporação é o biogás que é capaz de suprir toda a necessidade energética para tratamento do chorume de um LDRS.

### **3.5 Emissão de poluentes**

Um sistema energético alternativo, normalmente mostra-se ambientalmente atraente se este emprega um combustível renovável. A proposição de um sistema energético alternativo sugere que este traga vantagens, sejam estas econômicas, operacionais ou ambientais. Com relação a este último aspecto, espera-se que o combustível renovável cause menores danos ambientais, como por exemplo, que tenha menor emissão de poluentes pela mesma geração energética ou que contribua em menor intensidade para o aumento do efeito estufa ou o esgotamento dos recursos naturais.

Uma ilustração sobre este tema é a evolução das emissões atmosféricas nas regiões metropolitanas em todo o mundo. Focando a região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP), 95% das emissões de poluentes atmosféricos têm origem veicular (CETESB, 1.999), isso se deve a uma série de fatores: importação de energia hidrelétrica, ausência de termelétricas na região e consumo relativamente baixo de óleos combustíveis e carvão nas indústrias da região.

Nas últimas décadas o Programa nacional de controle da poluição da ar por veículos automotores - PROCONVE vem adotando limites cada vez mais baixos de emissões para veículos novos, tanto que alguns poluentes tiveram suas emissões reduzidas em 20 vezes nos últimos 30 anos.

Isso equivale dizer que houve um correspondente aperfeiçoamento tecnológico dos motores Otto como, por exemplo, a extinção dos carburadores, substituídos pelos sistemas de injeção eletrônica e o uso de catalisadores nos canos de escapamento.

Portanto torna necessário que se avalie, antes do combustível, a tecnologia aplicada à máquina térmica. Uma vez que esta é projetada para combustíveis convencionais, uma adaptação mal feita faz com que um combustível alternativo, que em princípio é menos poluente, torne a máquina térmica mais poluente que a original.

O que significa que o emprego de um combustível caracterizado por vantagens ambientais na sua geração ou composição não garante que em uma análise do ciclo de vida seja este o menos prejudicial ao meio ambiente. A máquina térmica deve ter tecnologia desenvolvida para este combustível específico.

Devido à semelhança entre o biogás e o GNC, as medições de emissões poluentes devidas ao uso do biogás normalmente são estimadas a partir de ensaios feitos com uso de GNC.

Na Tabela 17 são apresentadas as emissões pelo uso do GNC em veículos analisando-se todo o ciclo de vida do GNC.

**Tabela 17 - Emissão de poluentes pelo uso de GNC em veículos**

Poluente	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NMHC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Soma de CO <sub>2</sub> equivalente
Fase	g/MJ	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	g/MJ
Extração/preparação	1,8	1	8,4	3,2	1,5	64	1	3
Processamento	1,2	1	5,6	2,1	1	62	1	2,5
Distribuição e pressurização final	5	-	1,8	-	0,3	62	0,5	6,5
Uso final								
Carro	56	1	130	480	10	190	n.d.	62,5
Ônibus urbano	56	1	300	170	18	160	n.d.	62
<b>Total para carro</b>								<b>74,5</b>
<b>Total para ônibus urbano</b>								<b>74</b>

OBS: Foi empregado GNC nos ensaios de emissão  
NMHC: non methanic hydrocarbon

Fonte: ECOTRAFFIC, 1.992.

Vê-se que as principais emissões ocorrem na fase de uso final do recurso energético.

A Tabela 18 permite a comparação das emissões causadas pelas diferentes alternativas diferenciadas pela origem do metano.

**Tabela 18 - Emissão de poluentes pelo uso de biogás em veículos**

as

OBS: Foi empregado GNC nos ensaios de emissão  
NMHC: non methanic hydrocarbon

Fonte: ECOTRAFFIC, 1.992.

A estimativa de emissões resumida acima trata de um processo de digestão anaeróbia de alfafa, ou seja, a atividade de plantio e colheita está incluída no processo de geração de biogás, este não é subproduto de um processo de disposição de resíduos sólidos ou tratamento de efluentes. Mesmo assim, observa-se uma razão de 3 (74/27) entre as emissões de GEE de uma alternativa e outra.

As emissões de SO<sub>x</sub> tornam-se insignificantes, as de NO<sub>x</sub>, CO, NMHC, e CH<sub>4</sub> são semelhantes para os dois casos.

A análise de ciclo de vida de um recurso energético deve levar em conta o combustível usado, a tecnologia empregada na sua obtenção, seu processamento e transporte., desse modo, pode-se confrontar a geração energética e sua relativa emissão de CO<sub>2</sub>. A tabela a seguir reúne algumas tecnologias que permitem uma comparação entre as emissões de GEE dessas tecnologias e àquelas devidas ao uso do biogás apresentadas na Tabela 18.

**Tabela 19 - Emissões de CO<sub>2</sub> devidas à produção de energia**

Tecnologia	Emissões devidas à produção de energia (gCO <sub>2</sub> /MJ)			
	Extração do combustível	Construção	Operação	Total
Termelétrica convencional a carvão (267,8)	0,3	0,3	267,2	267,8
Termelétrica a carvão alternativa 1 (267,2)	0,3	0,3	266,7	267,2
Termelétrica a carvão alternativa 2 (208,6)	0,3	0,3	208,0	208,6
Termelétrica a óleo (201,7)	-	-	201,7	201,7
Termelétrica a gás (134,4)	-	-	134,4	134,4
Geração elétrica por energia térmica oceânica (84,4)	-	1,0	83,4	84,4
Termelétrica a vapor geotérmico (15,8)	0,1	0,3	15,4	15,8
Pequena hidrelétrica (2,8)	-	2,8	-	2,8
Termelétrica a vapor d'água (2,2)	0,4	0,3	1,5	2,2
Geração elétrica de gerador eólico (2,1)	-	2,1	-	2,1
Geração elétrica de coletor solar (1,5)	-	1,5	-	1,5
Geração elétrica por coletor solar térmico (1,0)	-	1,0	-	1,0
Grandes hidrelétricas (0,9)	-	0,9	-	0,9
Termelétrica a biomassa - manejo sustentável (44,4)	(419,2)	0,8	374,0	(44,4)

OBS: unidade original [tCO<sub>2</sub>/GWh] = 1/3,6[gCO<sub>2</sub>/MJ]

Fonte: SAN MARTIN *apud* IEA, 1.991

GOLDEMBERG, (1.998) lembra que há duas opções de captura do CO<sub>2</sub> e sua remoção da atmosfera: a captura direta na fonte antes que ele se espalhe na atmosfera e a captura indireta através do reflorestamento. Os processos de queima envolvidos na geração energética produzem um fluxo com elevada concentração de CO<sub>2</sub> e que pode vir a ser explorado economicamente.

### 3.6 Análise econômica

A discussão a seguir tem referência no trabalho da agência alemã de apoio a projetos de cooperação técnica - *Deutsche gesellschaft für technische zusammenarbeit* - (GTZ, 2.000) que analisa os projetos de recuperação energética de biogás gerado pela degradação de resíduos por dois diferentes pontos de vista:

Análise microeconômica, ou análise financeira, que avalia a rentabilidade da unidade de recuperação de biogás considerando as reais condições de mercado para o empreendedor.

Análise macroeconômica, ou análise econômica, onde são considerados os custos do programa de recuperação de biogás e os benefícios para o país e para a sociedade.

#### 3.6.1 Análise microeconômica

Uma das principais propostas para a recuperação do biogás é a geração elétrica, portanto, o valor pago pela operadora local define a viabilidade ou não da geração. Da mesma maneira o custo de combustíveis convencionais é o que define o uso do biogás para geração de energia mecânica ou calor.

A alternativa de purificação do biogás para substituição de um combustível fóssil está limitada ao custo do combustível convencional, na Tabela 20 são destacados alguns preços de combustíveis e seus usos.

**Tabela 20 - Preço de combustíveis**

Combustível	Preço para uso em		PCI (kcal/kg)	m e kg/m <sup>3</sup>	Custo da energia primária para	
	caldeiras	fornos			caldeiras R\$/Gcal	fornos R\$/Gcal
Óleo combustível (R\$/l)	0,311600	0,328127	9.547	1.031	31,6572	33,3362
Gás liquefeito de petróleo - GLP (R\$/l)	0,511900	0,511900	11.026	552	84,1062	84,1062
GNC (R\$/m <sup>3</sup> )	0,260795	0,260795	8.554kcal/m <sup>3</sup>	-	30,4881	30,4881

OBS: m e: massa específica

PCI - poder calorífico inferior

Fontes: COMGAS *apud* FSP, 2.000 (preços) e BEN e BEESP *apud* MARTINS, não datado (PCI).

O valor do GNC, da Tabela 20 refere-se à aplicação veicular. O valor do GNC para usos doméstico, comercial e industrial é definido pela Comissão de serviços públicos de energia (CSPE) que dividiu o Estado de São Paulo em três regiões: Noroeste, Sul e COMGAS. Nestas regiões o GNC é comercializado de acordo com contratos de fornecimento compostos por preços fixos e variáveis. A CSPE n.º 25 de 15 de fevereiro de 2.000 define os preços a seguir para a região atendida pela COMGAS, esta região inclui a RMSP, o vale do Paraíba, litoral norte e a região de Ribeirão Preto, conforme a Tabela 21.

**Tabela 21 - Preço do GNC**

Volume m <sup>3</sup>	Tarifa	
	Fixo (R\$)	Variável (R\$/m <sup>3</sup> )
Até 5	6,65	0,00
6 a 50	0,68	1,249464
51 a 130	10,83	1,049592
131 a 1.000	50,97	0,743512
1.001 a 5.000	94,05	0,700302
5.001 a 50.000	1.436,12	0,431925
50.001 a 300.000	7.570,54	0,309233
300.000 a 500.000	18.910,63	0,271435
500.001 a 1.000.000.000	19.439,73	0,270376
Acima de 1.000.000.000	20.933,74	0,268882

Fonte: KANN, 2000

Lembrando que o poder calorífico do biogás purificado é de 10.000kcal/kg, a estimativa feita no projeto "biogás - Piracicaba" do custo de produção para uso automotivo variava de 0,17 a 0,29US\$/m<sup>3</sup> (DEDINI, 1.992), considerando naquele período o preço de 0,30US\$/l para o Diesel e 0,44US\$/l para o álcool.

Do ponto de vista da geração elétrica os valores de referência indicam que formas alternativas podem reduzir o custo de geração hidrelétrica. O custo da geração de energia elétrica empregando o GNC é estimado em 38US\$/MWh. A Tabela 22 apresenta outras alternativas.

**Tabela 22 - Estimativa de custo de geração de energia elétrica no Brasil**

Tipo de geração	Custo estimado de geração (US\$/MWh)
Hidrelétrica	Até 70
Carvão nacional	50 a 65
Eólica	39 a 84
Biomassa	38 a 78
GNC nacional	38

Fonte: NOGUEIRA, não datado

Outra alternativa de emprego do biogás é a autoprodução elétrica, o proprietário do biogás o utiliza para a geração elétrica deixando de compra-la. Esta situação permite que se compare o custo de geração com o preço do fornecimento energético. Na Tabela 23 são representadas as tarifas para autoprodutores de algumas concessionárias do Estado de São Paulo.

**Tabela 23 - Tarifas de energia elétrica para autoprodutores**

Emergência - autoprodutor		demanda - (R\$/kW)			
		consumo - (R\$/MWh)			
		Elektro	CPFL	Bandeirante	Eletropaulo
<b>Azul</b>					
A2	demanda	42,20	38,32	43,24	41,67
(88 a 138 kV)	consumo	185,37	168,30	189,85	182,99
A3	demanda	43,25	39,27	44,31	42,71
(69 kV)	consumo	260,53	236,56	266,86	257,22
A3a	demanda	49,01	44,51	50,21	48,39
(30 a 44 kV)	consumo	272,81	247,71	279,45	269,36
A4	demanda	45,32	41,16	46,42	44,74
(2,3 a 25 kV)	consumo	252,27	229,05	258,39	249,07
<b>Verde</b>					
A3a	demanda	12,25	11,13	12,55	12,10
(30 a 44 kV)	consumo	272,81	247,71	279,45	269,36
A4	demanda	11,34	10,27	11,59	11,18
(2,3 a 25 kV)	consumo	252,27	229,05	258,39	249,07

Fonte: SESP, 2.000

O custo da recuperação do biogás depende principalmente da opção tecnológica que o empreendedor fizer. Deve haver um equilíbrio entre a rentabilidade do investimento e as necessidades energéticas locais. Deixar de considerar um desses dois fatores implica em inviabilizar a oportunidade de recuperação do biogás.

Dentre as alternativas de aproveitamento apresentadas acima, a avaliação de custos não inclui as despesas de instalação e operação da ETE, que deve operar permanentemente em condições satisfatórias e de forma a garantir a eficiência de remoção de BOD dos efluentes, ou o correto manejo do LDRS, garantindo impermeabilização da base, retenção e escoamento dos efluentes líquidos e gasosos.

Focando, ETAE ou LDRS já em operação que não praticam a recuperação do biogás, pressupõe-se existência de utilidades, como bombas e que possam vir a ter seu suprimento energético substituído, se não totalmente, em parte pelo uso do recurso energético recuperado.

Na Tabela 24 é utilizado o orçamento de um fornecedor de equipamentos e projetos para recuperação de biogás para avaliação de custo de geração elétrica com biogás.

Este projeto indica que a vazão de biogás purificado deve ser de aproximadamente 0,2kg/kWh ou 0,5m<sup>3</sup>/kWh, a taxa de investimento varia entre 900 e 1.000US\$/MW e simple pay back de 30 meses para instalações de 0,5; 1,0 e 2,0GW.

**Tabela 24 - Preço de equipamento para geração de energia elétrica com biogás**

Modelo Waukesha	Características básicas	Grupo Moto-gerador à biogás		
		12V-AT27GL	VHP-7100GL	VGf-36GLD
Rotação	rpm	900	1.200	1.800
Cilindrada	l	214	115	36
Taxa de compressão	-	9/1	10,5/1	11/1
Mistura ar/combustível	-	32/1	28/1	24,5/1
Peso seco	ton.	36,0	18,0	12,3
Dados de performance				
Potência contínua	kW	2.000	1.025	530
Potência intermitente	kW	2.200	1.130	620
Rendimento elétrico	%	37,32	32,42	33,12
Consumo energético	Mcal/h	4.608	2.719	1.432
Consumo específico	kcal/kWh	2.304	2.653	2.557
Tensão	V	13.800	4.160	380
Custo operacional				
óleo lubrificante (x3)	US\$	9,6321	2,6481	2,1243
Peças de reposição	US\$	7,6866	5,4532	3,6633
Mão de obra (x2)	US\$	0,5924	0,8444	0,6718
Soma por hora	US\$	17,9111	8,9457	6,4594
Soma por MWh	US\$	8,9556	8,7275	12,1875
Estimativa de investimento				
Grupo moto-gerador básico	US\$	1.020.000	474.000	217.000
Accessórios complementares	US\$	246.000	135.000	60.000
Painéis/instrumentos/controles	US\$	124.000	85.000	45.000
(FOB EUA)	US\$	1.390.000	694.000	322.000
Importação	US\$	222.000	110.000	52.000
(CIF Brasil)	US\$	1.612.000	804.000	374.000
Engenharia	US\$	322.000	204.000	112.000
<b>Investimento total unitário</b>	<b>US\$</b>	<b>1.934.000</b>	<b>1.008.000</b>	<b>486.000</b>
Custo por kW instalado	US\$	967,00	983,41	916,98
Capacidade de geração				
Nominal mensal sem sobrecarga	MWh	1.460,0	748,2	386,9
<b>Com fator de carga de 80%</b>	<b>MWh</b>	<b>1.168,0</b>	<b>598,6</b>	<b>309,5</b>
Custo com energia elétrica				
Tarifa concessionária 65,00/MWh	US\$	75.920,00	38.906,40	20.118,80
Auto geração com biogás (entre 13 e 19%)	US\$	10.460,14	5.224,28	3.772,03
Economia mensal (com fator de carga de 80%)	US\$	65.459,86	33.682,12	16.346,77
Amortização de investimento				
<b>Tempo de retorno (Simple pay back)</b>	<b>meses</b>	<b>29,54</b>	<b>29,93</b>	<b>29,73</b>
Ganho no período de 5 anos (Economia mensal x 60 - Estimativa de investimento)	US\$	1.993.592	1.012.927	494.806

Fonte: POWERTECH, 1.999 (preços) e WALKESHA *apud* POWERTEC, 1999 (dados técnicos).

O levantamento de informações relativas às necessidades de energia no entorno de uma ETAE ou de um LDRS pode tornar viável um projeto de recuperação de biogás,

se este, ao invés de oferecer acréscimo de recurso abundante, atender a uma necessidade dos responsáveis por aquela unidade.

A avaliação da Tabela 24, organizada por uma empresa projetista leva em conta uma tarifa paga pela concessionária de US\$65,00 por MWh. Sem deixar claro todos os parâmetros que considera na avaliação define que é possível um simple pay back de 30 meses.

Refazendo esta estimativa e levando em conta uma tarifa em torno de US\$40,00 temos:

**Tabela 25 - Considerações preliminares para avaliação econômica da ETAE**

Conversão de kcal para MJ	0,00418 MJ/kcal		
Conversão de J para Wh	3,60 MJ/kWh		
Potencial de aquecimento global do CH <sub>4</sub> (100 anos)	21 tCO <sub>2</sub> eq/tCH <sub>4</sub>		
Poder calorífico do CH <sub>4</sub>	8.500 kcal/m <sup>3</sup> ou	35,53	MJ/m <sup>3</sup>
Poder calorífico do GNC (BEN, 1995)	9.256 kcal/m <sup>3</sup>		
Concentração de CH <sub>4</sub> no biogás (cromatografia)	80%		
Poder calorífico do biogás (de 2-7 Mcal/m <sup>3</sup> )	6.800 kcal/m <sup>3</sup> ou	28,42	MJ/m <sup>3</sup>
Densidade do CH <sub>4</sub>	0,670 kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>		
Concentração de CH <sub>4</sub> no biogás	80% em volume		
Massa CH <sub>4</sub> por volume de biogás	1,57 kgCH <sub>4</sub> / m <sup>3</sup> biogás=	0,23	gCH <sub>4</sub> / kcal
Poder calorífico do biogás	28 MJ/m <sup>3</sup>		
CO <sub>2</sub> emitido pelo biogás (somente queima do CH <sub>4</sub> )	55,29 gCO <sub>2</sub> /MJ		
Conversão de CO <sub>2</sub> para C	0,27 gC/gCO <sub>2</sub>		
C emitido pelo CH <sub>4</sub> na forma de CO <sub>2</sub>	15 gC/MJ		
Vazão de biogás (média) (*)	120.000 m <sup>3</sup> biogás/mês	média das medidas	
Concentração de CH <sub>4</sub> no biogás (cromatógrafo)	80%		
Vazão de CH <sub>4</sub>	96.000 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /mês ou 133 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /hou	64 tCH <sub>4</sub> /mês ou 3.790 MJ/h ou	
	1.133 Mcal/h ou 1,15 Mm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ano ou		
	772 tCH <sub>4</sub> /ano ou	1.053	KW

(\*) esta vazão corresponde a uma cervejaria com aproximadamente 400 funcionários e produção de 50.000L de cerveja ao mês:

**Tabela 26 - Geração de 500kW/380V**

Combustível p/ gerar 500kW (manual equipamento)	1.432 Mcal/h ou	5.986
Vazão de GNC complementar (média)	299 Mcal/h ou	23.232
Proporção de GNC complementar	26,35% gás necessário	
Fator de carga	80% previsão operacional	
Eficiência de geração de energia elétrica	33% assumida no manual do equipamento	

**Tabela 27- Geração de 500kW/380V (mais dados)**

Principais resultados				
Energia primária disponível	40.930.560 MJ/ano			
Equivalente em CO <sub>2</sub> (mitigado pelo uso do biogás)	16.209 tCO <sub>2</sub> equivalente/ano			
Equivalente em C	4.421 tC equivalente/ano(b)			
Energia elétrica gerada por biogás	10.805.668 MJ/ano calculados, equivalentes a 3.001.574 kWh/ano			
C emitido pela queima de CH <sub>4</sub>	617 tC/ano(c)			
C evitado pelo uso de biogás e GNC	455 tC/ano =(c)			
Comercial				
Preço de venda de eletricidade (R\$/kWh)	0,08 a US\$/R\$ =			1,8
Preço de venda de eletricidade (US\$/kWh)	0,04 (*)			
Preço do GNC (RMSP-CSPE)	classe I	131 a 1.000m <sup>3</sup> /mês	51 US\$ fixo +	0,74 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
	classe II	1 a 5 mil m <sup>3</sup> /mês	94 US\$ fixo +	0,70 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
	classe III	5 a 50 mil m <sup>3</sup> /mês	1.436 US\$ fixo +	0,43 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
convertendo-se:	classe I	131 a 1.000m <sup>3</sup> /mês	28 US\$ fixo +	0,41 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
	classe II	1 a 5 mil m <sup>3</sup> /mês	52 US\$ fixo +	0,39 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
	classe III	5 a 50 mil m <sup>3</sup> /mês	798 US\$ fixo +	0,24 US\$/m <sup>3</sup> (variável)
Taxa de desconto do sócio 1 (para cálculo de VPL)				10%
Taxa de desconto do sócio 2				15%
(CER-CDM) Preço do crédito de C				10 US\$/tC (2003)
Crescimento anual do valor do CER				5%
Tributo sobre lucros dos CERs				20%
Pagamento de royalties				0 US\$

(\*) O operação 0,08 / 1,8 corresponde a 0,0444, o arredondamento, feito automaticamente pela planilha, gera o valor 0,04, todavia todas as contas são feitas utilizando-se o número completo e sem arredondamento.

**Tabela 28 - Composição do investimento**

Investimento (US\$1.000) (orçamento)	486,0	100%
Participação no investimento (US\$ 1.000)		486,0
Juros de financiamento		10%
O&M (US\$1.000/ano) (orçamento)	48,6	100%
GNC complementar (1.000 US\$/ano)	17,2	100%
Participação em vendas de eletricidade		100%
Participação em vendas de CERs		100%

**Tabela 29 - Balanço de emissões de GEE**

ano	evitada de CH <sub>4</sub> sem queima	supondo 50% queimado	evitada de CH <sub>4</sub>	pela geração elétrica com CH <sub>4</sub>	evitada pelo uso do biogás		
	(tCH <sub>4</sub> )	(tCH <sub>4</sub> )	(tCeq)	(tCeq, base fóssil)	(tCeq)	(tCeq)	(tCeq)
	(a)		(b)=(a)x21x(12/44)	(c)	(d)	(e)=(b)+(c)+(d)	
2.002	-	-	-	-	-	-	-
2.003	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.004	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.005	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.006	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.007	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.008	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.009	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.010	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.011	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
2.012	772	772	386	2.210	(617)	455	2.048
<b>Total de C mitigado (tCeq.)</b>						<b>20.476</b>	

**Tabela 30 - Fluxo de caixa do projeto**

(valores em US\$ 1.000)									
Ano	Investimento	O&M	GNC	Vendas de eletricidade	Pagamento empréstimo	Ganhos líquidos sem CERs	ganhos com venda de CERs	a	Ganhos totais com a venda de CERs
a	b	c	d	e	F	g=b+c-d+e+f	h	i=g+h	
2.002	(486,0)	-	-	-	-	(486,0)	-	(486,0)	
2.003	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	16,4	26,9	
2.004	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	17,2	27,7	
2.005	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	18,1	28,5	
2.006	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	19,0	29,4	
2.007	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	19,9	30,4	
2.008	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	20,9	31,4	
2.009	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	22,0	32,4	
2.010	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	23,0	33,5	
2.011	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	24,2	34,7	
2.012	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	25,4	35,9	
2.013	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	26,7	37,2	
2.014	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	28,0	38,5	
2.015	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	29,4	39,9	
2.016	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	30,9	41,4	
2.017	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	32,4	42,9	
2.018	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	34,1	44,5	
2.019	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	35,8	46,2	
2.020	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	37,5	48,0	
2.021	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	39,4	49,9	
2.022	-	(48,6)	(17,2)	133,4	(57,1)	10,5	41,4	51,9	

(a): metano (GEE) gerado que seria lançado na atmosfera sem queima

(b): conversão de (a) para carbono equivalente

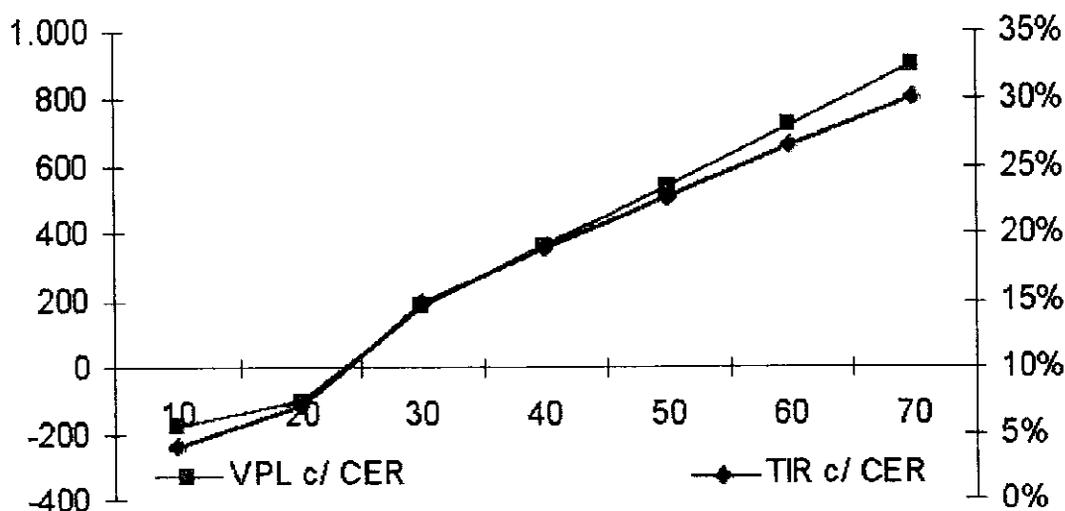
(c): carbono contido no CO<sub>2</sub> emitido na queima de CH<sub>4</sub> fóssil

(d): carbono contido no CO<sub>2</sub> emitido na queima de CH<sub>4</sub> de biomassa (abatimento de queima de CH<sub>4</sub> fóssil)

(e): emissão líquida de GEE, base C, pelo processo (mitigação do lançamento de tratamento anaeróbio + queima de CH<sub>4</sub> fóssil)

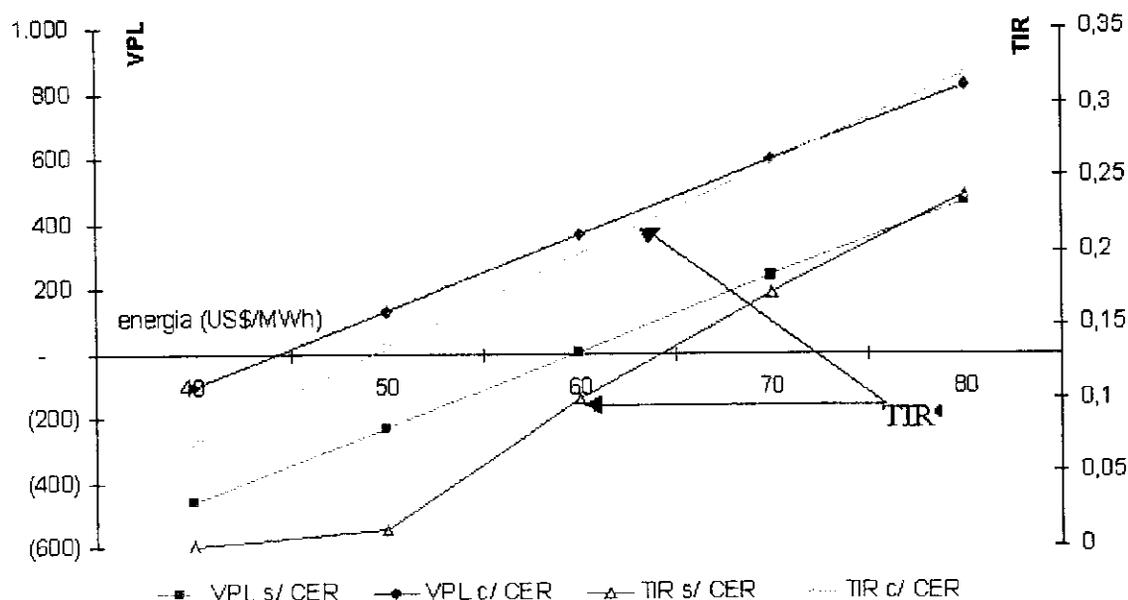
A Figura 37 mostra a VPL e a TIR<sup>2</sup> do projeto em função do valor do Crédito de Carbono (CER) com o custo da energia fixo e igual a US\$40/MWh

**Figura 37 - VPL e TIR de um projeto de 500kW em ETAE pela variação do CER.**



A Figura 38 mostra a VPL e a TIR do projeto em função da energia com o valor inicial do CER de US\$20/tC e uma taxa de crescimento anual de 5%.

**Figura 38 - VPL e TIR de um projeto de 500kW em ETAE pela variação do preço da energia.**



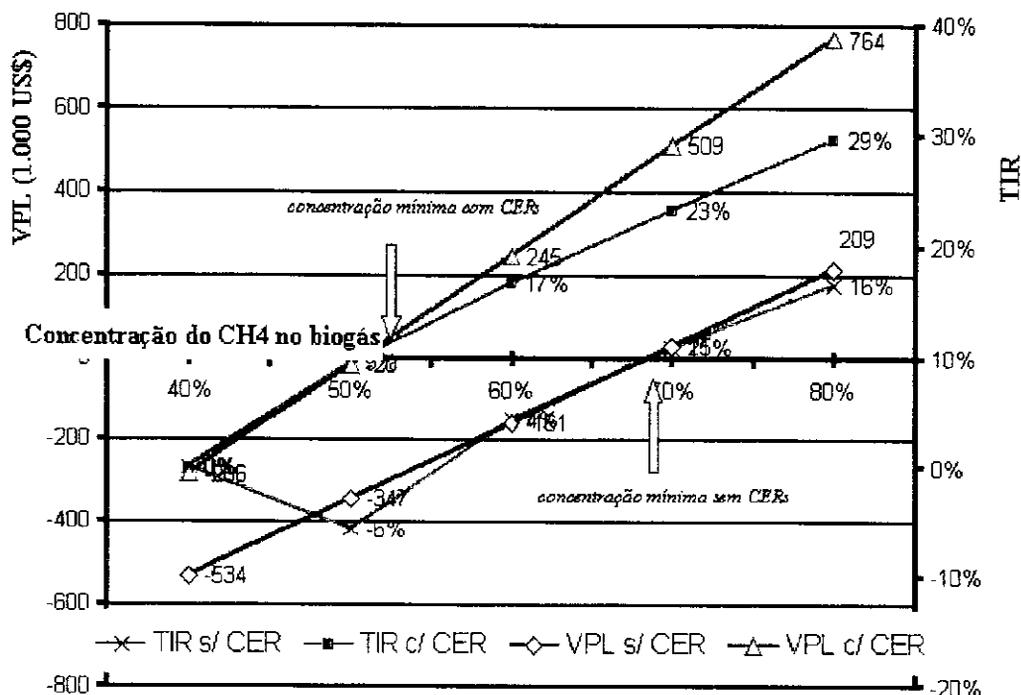
<sup>2</sup>:As estimativas da TIR e VPL  
 $TIR = VPL \cdot i \cdot (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1]$

$$VPL = \sum_{i=1}^n \frac{valores_i}{(1 + taxa)^i}$$

onde: TIR = taxa interna de retorno  
 VPL = valor presente líquido  
 Valores = valores anuais  
 I = tempo em anos  
 N = nº. de anos do investimento  
 Taxa = taxa de desconto

A Figura 39 avalia o impacto da qualidade do biogás no projeto.

**Figura 39 - VPL e TIR pela variação do CH<sub>4</sub> no biogás**



Da Figura 37 conclui-se que, tendo fixado o valor da energia em US\$40/MWh que o projeto só pode ser viabilizado pela remuneração do CER quando esta atinge valores iguais ou superiores a US\$30/tC.

Da Figura 38 mostra que este investimento sem a remuneração pelo CER só se torna rentável se a energia for comercializada por valores superiores US\$70/MWh, havendo a remuneração pelo CER (@US\$20/tC; +5%aa) o valor da energia pode ser reduzido para US\$50/MWh.

Finalmente a Figura 39 mostra a importância da qualidade do biogás, nesta simulação foi variada a concentração de metano no biogás. Esta concentração, estimada em 80% não pode ser reduzida, uma vez que influi na rentabilidade do projeto.

### 3.6.2 Análise macroeconômica

São levadas em conta as externalidades relacionadas à atividade em estudo: geração de empregos, ganhos por emissão evitada de poluentes e doenças evitadas.

O bom funcionamento de sistemas anaeróbios e a recuperação de biogás rende benefícios sócio-econômico-ambientais. O produto desta atividade é a produção de energia em diferentes formas, ou seja: calor, iluminação ou eletricidade.

Devem ser considerados os empregos gerados no projeto e fabricação dos equipamentos de recuperação, outros empregos também são gerados na operação e manutenção destes equipamentos.

Hoje a recuperação de biogás não é uma atividade econômica identificada no Brasil, também não há registros significativos de recuperação de biogás em países em desenvolvimento. Considerando que apenas o Brasil lança na atmosfera, sem nenhum aproveitamento energético, um total de 800.000t de CH<sub>4</sub>, pode-se estimar que um total de 4.000MWh elétrico não são aproveitados.

Da mesma maneira pode se considerar que 1.600.000t equivalentes de CO<sub>2</sub> deixam de ser lançadas à atmosfera pela simples queima do biogás, e que para cada MJ de biogás que substitua GNC em veículos 50g de CO<sub>2</sub> deixam de ser lançados (*ver emissões de poluentes no ciclo de vida do GNC e do biogás na Tabela 17 e Tabela 18*).

Finalmente, devem ser contabilizados os benefícios devidos à geração de energia descentralizada, com conseqüente investimento em geração e distribuição evitados. Substituição de importação combustíveis fósseis e proteção ambiental.

Ver também o princípio do poluidor pagador no item 4.7, página 97.

### 3.7 Conclusões

O conjunto dessas considerações leva à conclusão de que a recuperação do biogás seja um processo em que se evita o lançamento à atmosfera de GEE com um ganho adicional, pois o seu uso implica na possibilidade de se evitar o uso de um combustível fóssil.

O conhecimento dos processos envolvidos na fermentação da matéria orgânica e conseqüente geração de metano é útil no projeto de ETAE ou LDRS operacionais. A digestão anaeróbia envolve as atividades de várias comunidades bacterianas diferentes que necessitam condições adequadas para o seu desenvolvimento. O processo de produção de biogás depende de muitos parâmetros, como, por exemplo: temperatura ambiente, umidade, presença de substâncias tóxicas e nutrientes cuja presença ou ausência são determinantes na atividade bacteriana.

Os gastos públicos em infra-estrutura e operação de serviços sanitários *versus* qualidade de vida da população atendida, que é expressa, por exemplo, em redução do número de doenças e mortes relacionadas à falta de serviços de saneamento ou aumento no valor imobiliário das moradias devido às boas condições sanitárias e ambientais do local e da vizinhança, pode ser melhorada pela adição da recuperação e uso energético do metano gerado no processo de degradação do resíduo.

Não são todos os casos onde é economicamente viável a aplicação da recuperação e uso energético do biogás. A tecnologia anaeróbia de disposição final de resíduos tem restrições quanto à pureza, volume e regularidade de geração do biogás. Um projeto de recuperação e uso de biogás deve levar em conta tais informações antes de ser desenvolvido evitando que um insucesso impeça o desenvolvimento de outros projetos viáveis.

A Tabela 31 resume as principais necessidades de estimativas de custo envolvidas num projeto de recuperação de biogás. Diferentes possibilidades podem ser estudadas antes que o administrador decida pela alternativa a ser executada.

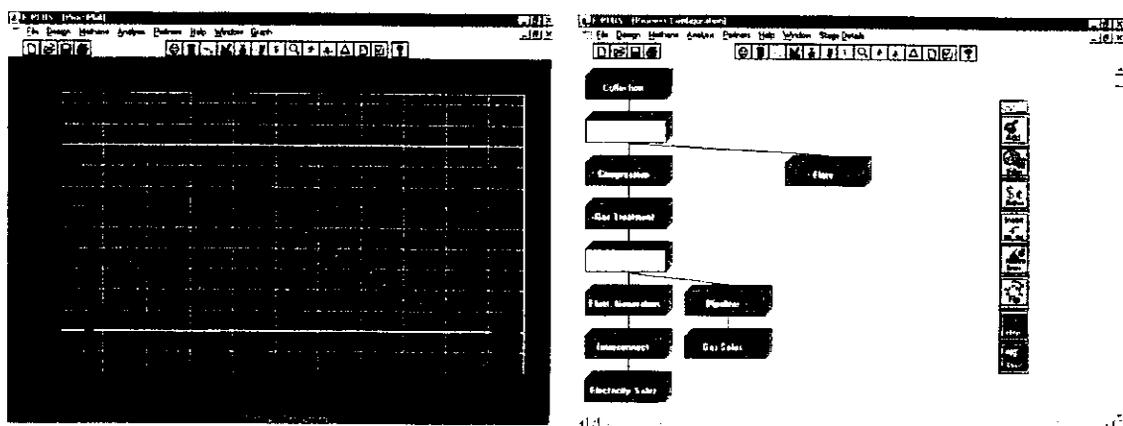
**Tabela 31 - Custo de recuperação em instalações já em operação**

-	(*)	<b>Projeto</b>
		<b>Equipamentos</b>
-	(?)	Filtro de H <sub>2</sub> S
-	(?)	Filtro de CO <sub>2</sub>
-	(*)	Gasoduto de biogás
-	(?)	Equipamentos de controle
-	(?)	Tanque pulmão/Gasômetro
-	(?)	Compressor
-	(*)	Máquina térmica (nova/conversão de uma existente)
-	(*)	<b>Análise de riscos e medidas de segurança</b>
	(*)	<b>Operação</b>
-	(*)	Manutenção
-	(?)	Reagentes de beneficiamento
-	(?)	Energia
-	(*)	Mão-de-obra
-	(?)	<b>Combustível de enriquecimento da mistura</b>
+	(*)	<b>Energia evitada</b>
-----		
=	(*)	<b>Energia recuperada</b>

OBS.: (?) item facultativo  
 (\*) item obrigatório

A ausência de projetos brasileiros impede a estimativa destes custos. O software de simulação e-plus da USEPA (3, 1997), voltado para aproveitamento do biogás de aterro, sugere alguns custos de coleta, tratamento, distribuição e uso energético do biogás.

**Figura 40 - Telas do software e-plus (USEPA 3, 1997)**

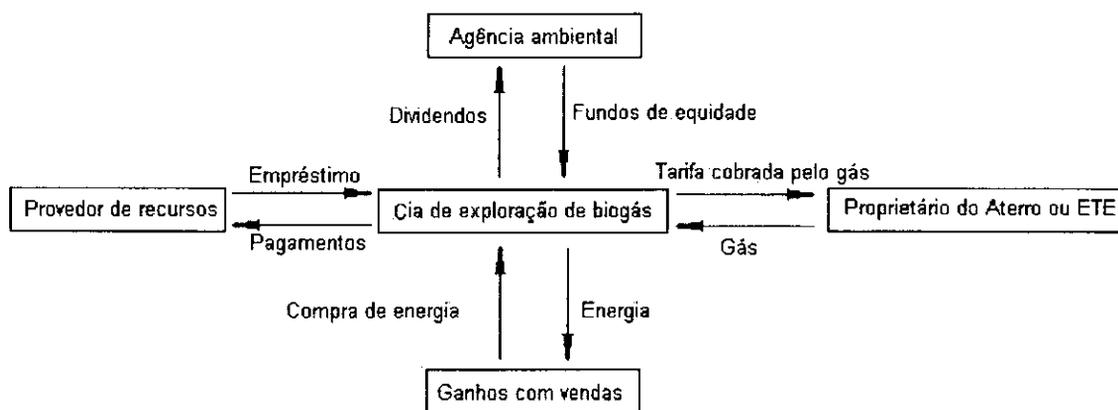


## Capítulo IV FATORES FACILITADORES E BARREIRAS À RECUPERAÇÃO DE BIOGÁS

### 4.1 Introdução

A recuperação do biogás é um processo que envolve atores que devem interagir contribuindo para a execução de todas as etapas envolvidas. Representada na Figura 41, a agência ambiental tem como papel promover este aproveitamento, criar um mercado fornecedor de tecnologia de recuperação de biogás e estimular o mercado possuidor de ETAE e LDRS a praticar esta recuperação. A agência ambiental deve também, observar o bom emprego dos recursos financeiros de forma que esta prática se reproduza em larga escala com o menor incentivo por parte do Estado.

Surge desta prática um mercado consumidor e um fornecedor de equipamentos e serviços. A Figura 41 representa o mercado proposto que é formado pelo proprietário do LDRS ou ETAE, a empresa de exploração de biogás, o usuário da energia, o provedor dos recursos e a agência ambiental.



**Figura 41 - O aproveitamento do biogás**

Fonte: ESTU, 1.998

O proprietário do LDRS, normalmente é uma prefeitura ou uma companhia coletora de resíduos sólidos urbanos, enquanto que o proprietário da ETAE, via de regra é a indústria geradora de efluentes ou uma empresa terceirizada, uma vez que há uma crescente tendência de especialização por parte das organizações, concentrando seu quadro de funcionários na atividade fim da indústria, por exemplo a cervejeira tem funcionários voltados à fabricação da cerveja e são contratados os serviços de contabilidade, limpeza, segurança, manutenção, cozinha, e transportes.

O provedor de recursos impõe à companhia exploradora a apresentação de garantias pela viabilidade técnico-econômica do empreendimento. Deve haver garantias, tanto de disponibilidade de biogás, da operação satisfatória e de compra da energia gerada.

Além de incentivar a melhor prática a agência ambiental deve impor a correta queima do biogás em queimadores ou seu uso.

A relação entre os ganhos com a venda da energia recuperada e os gastos de implantação, operação e manutenção definem o produto final - o lucro, que viabiliza este empreendimento. Todavia os benefícios da recuperação do biogás não são

contabilizados na avaliação econômica do projeto. A agência ambiental é a parte que pode destacar os muitos benefícios sem negligenciar os impactos negativos derivados dessa prática.

Neste capítulo são exploradas as experiências de casos de recuperação e uso de biogás que foram desenvolvidos na década de 80 até o início dos anos 90, são discutidos também projetos que aguardam ser desenvolvidos.

Projetos de recuperação de biogás gerado em ETAE são diferentes daqueles de biogás gerado em LDRS. As quantidades de biogás geradas nos LDRS são maiores que nas ETAE, o biogás gerado nas ETAE é mais rico em metano. Enquanto o resíduo sólido é disposto permanentemente no LDRS, o efluente tem uma permanência média de 12h na ETAE, sendo em seguida lançado num corpo d'água, isso faz com que o LDRS tenha um ciclo de vida definido e com o final do período de geração econômica do biogás previamente conhecido, enquanto que na ETAE a recuperação do biogás existirá enquanto perdurar aquela atividade industrial responsável pela geração de efluentes.

São discutidos os fatores de viabilização de projetos de geração de eletricidade pelo biogás dos LDRS nas principais capitais do país. Os projetos de aproveitamento de biogás desenvolvidos na década de 80 e início da década de 90, como o "biogás - Piracicaba" no Estado de São Paulo e o do aterro do Caju no Rio de Janeiro, são o ponto de partida para novos projetos.

Ainda neste capítulo, são discutidos os elementos facilitadores e as barreiras à recuperação do biogás, o que implica em discutir, desde o mercado fornecedor de equipamentos e tecnologia até as condições de financiamento destes projetos. Uma ETAE com recuperação de biogás passa a ter características próprias, como a inclusão de um gasômetro que retém volumes consideráveis de metano. A garantia das condições de segurança também é necessária à viabilização da iniciativa de recuperação energética do biogás.

## **4.2 Breve histórico da recuperação do biogás**

Na década de 80 havia uma expectativa muito grande de elevação do preço do petróleo. As crises de energia ocorridas em 1.973 e 1.979 mostraram as limitações deste recurso interrompendo um ciclo iniciado com a revolução industrial de ininterrupto aumento do consumo de combustíveis fósseis e incentivos a este aumento pelo desenvolvimento tecnológico sempre voltado para máquinas térmicas alimentadas por carvão, GNC, óleo Diesel, gás combustível querosene ou gasolina.

A elevação de 70% do preço do petróleo ocorrida em 1973 levou países de todo o globo a reavaliarem suas estratégias de suprimento energético, uma vez que havia uma completa dependência de um contínuo abastecimento oriundo de países do oriente médio, organizados pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Em seguida, em 1979, com a ascensão dos estados islâmicos houve um segundo grande aumento do preço do petróleo, elevando o preço do barril de US\$2,50 em 1973 para US\$34,00 em 1981. No resto do mundo, países foram obrigados a racionar combustível a fim de manter o suprimento energético de áreas vitais.

Segundo OLIVEIRA, (1.987), além da redução do consumo, a principal consequência destas crises foi o início do desenvolvimento de programas procurando por alternativas econômicas e estratégicas pelos países de todo o mundo. Medidas de eficiência energética foram desenvolvidas e implantadas reduzindo substancialmente o consumo de combustíveis para a realização de um mesmo trabalho. A prospeção do petróleo dentro das fronteiras dos países e o desenvolvimento de tecnologias energéticas alternativas buscava reduzir a dependência externa de energia.

Ao mesmo tempo, fóruns ambientais globais passaram a chamar a atenção para a não sustentabilidade ambiental desta tecnologia. A confrontação do crescimento populacional dos países em desenvolvimento com os padrões de consumo dos países desenvolvidos deixava claro que além de não haver recursos naturais para todos, não haveria também capacidade de a natureza absorver o volume de resíduos que passariam a ser gerados com a ambicionada melhoria da qualidade de vida dos povos dos países em desenvolvimento (ver Figura 5 e Figura 6 no item 1.5.1 deste texto).

No Brasil, a mais notável iniciativa de uso de energia renovável foi o Proálcool criado em 1975, a produção de veículos nacionais a álcool superou as 650.000 unidades em 1986. Outras iniciativas foram desenvolvidas, como conversão de caldeiras a óleo para consumo de eletricidade e um programa de conservação de energia na indústria, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT do Estado de São Paulo, avaliando as indústrias de cerâmica, cimento, álcool, papel e celulose e siderúrgica.

A literatura mostra, também, iniciativas voltadas para a obtenção de biogás a partir da degradação anaeróbia da biomassa. A tecnologia de digestão anaeróbia de efluentes domésticos e industriais ganhou impulso e foram instalados digestores anaeróbios de fluxo ascendente em municipalidades e indústrias de todo o Brasil. Da mesma forma há registro de projetos de recuperação de biogás gerado por resíduos sólidos em Belo Horizonte, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, este último com maior repercussão.

Desativada em 1.996, a experiência de recuperação do biogás gerado pela digestão anaeróbia de vinhaça no projeto Biogás de Piracicaba (DEDINI, 1.992), estimou o abastecimento de uma frota de 120 ônibus, 203 caminhões e 416 veículos leves, totalizando a adaptação de 238 motores ciclo Otto a álcool, 178 motores ciclo Otto a gasolina e 323 motores Diesel.

### **4.3 Mercado fornecedor de equipamentos e tecnologia**

Os fabricantes de digestores anaeróbios (ABIMAQ, 1.998) são os responsáveis por uma peça importante no mecanismo de geração e recuperação do biogás. Uma instalação não será desenvolvida com o propósito de gerar biogás, seu propósito é, primeiramente, tratar o efluente ou conter o resíduo sólido e seus subprodutos, preservando a qualidade do meio ambiente, ar e corpos d'água. O ideal é que no projeto de ETAE ou LDRS já estejam incluídas as condições e equipamentos para recuperação de biogás.

Não são muitos os potenciais fornecedores de equipamentos e tecnologia de recuperação no mercado nacional, todavia, a CETESB mantém contato com estes fornecedores que podem oferecer uma modalidade de contrato denominada "*constrói, opera e transfere*" (build, operate and transfer - BOT). Isto significa que o fornecedor, além da tecnologia para projetar, construir e operar o sistema de recuperação energética,

também conta com fonte de recursos que será remunerada com a venda da energia elétrica gerada ao longo de um período acordado. Ao final deste a instalação tem sua propriedade transferida para o proprietário do LDRS ou ETAE que pode assumir a operação da instalação.

Uma alternativa de fornecimento de tecnologia são as empresas de outros países onde ocorra esta prática. Empresas sediadas na Alemanha, Estados Unidos, Holanda, Inglaterra, Alemanha e Austrália exibem farta experiência nesta atividade (GTZ, 2000 na Alemanha; EPA, 1.996 nos Estados Unidos; TNO, 1.995 na Holanda e ETSU, 1.996 na Inglaterra; EDL, 2000 na Austrália).

#### 4.4 Risco de acidente das instalações

A execução do banco de dados da CETESB (VIEIRA, 1998) mostrou que o risco de acidentes associado à recuperação, armazenamento e uso de biogás pode impedir a adoção dessa prática num LDRS ou ETAE.

A relação de concentração entre biogás e ar de 1 para 20 é explosiva, portanto apesar de não serem comuns notícias de acidentes envolvendo vazamento de biogás, deve-se considerar este risco (GTZ, 2000).

A análise de impacto ambiental da instalação de recuperação de biogás pode apresentar impactos positivos e negativos, como se observa na Tabela 18- Emissão de poluentes pelo uso de biogás em veículos apresentada na página 66, por sua vez, a análise de risco de acidentes refere-se apenas a aspectos negativos visando evita-los.

BRILHANTE, (1.999) considera que o risco é função do efeito adverso que pode resultar de um determinado evento, destacando risco econômico, o de morte e saúde e o ambiental. De fato toda atividade tem um risco que, na maioria das vezes não pode ser eliminado.

Por tratar-se de uma substância inflamável, o metano contido no biogás pode tornar-se um problema de segurança para a empresa que o recupera. O metano é classificado pela Organização das Nações Unidas (United Nations - UN) como gás inflamável, com o número 1.971 (CETESB 2, 1.994).

A manutenção das condições originais de segurança é um obstáculo ao aproveitamento do biogás gerado pelos resíduos.

O LDRS ou a ETAE ou adquire novas características devidas à recuperação, beneficiamento, armazenamento e utilização deste combustível, que usualmente é descartado por meio de queimadores.

Portanto, o projeto de recuperação de biogás deve incluir a análise de risco de acidentes da instalação, a fim de obter manutenção da segurança do local. Simultaneamente deve ser providenciada a obtenção da licença de funcionamento<sup>3</sup> para os equipamentos de recuperação de biogás das autoridades locais.

<sup>3</sup> No Estado de São Paulo a CETESB seria responsável pela emissão de licenças de funcionamento de instalações de recuperação de biogás.

De acordo com TOMMASI (1.994), a avaliação do risco desta instalação pode usar vários métodos:

- árvore de falhas - onde são identificadas as combinações entre falhas nos equipamentos e erros humanos que culminem em um acidente.
- análise do erro humano - que identifica os erros humanos e suas consequências.
- checklist - identificam-se os perigos mais frequentes
- inspeção de segurança - assegura-se que as instalações e os procedimentos de operação e manutenção sejam os propostos no projeto do sistema.
- índice de baixo risco - classificam-se as unidades do sistema com base no seu grau de risco.
- análise preliminar de risco - analisam-se os materiais perigosos e os principais elementos da indústria antes da sua instalação, orientando projeto mais seguro.
- "e se" - são identificados os acidentes possíveis e seus perigos
- Hazop - são identificados os perigos e a operacionalidade do processo.

A análise de risco, segundo a CETESB (1.994) é a identificação metódica de elementos e situações numa instalação que possam gerar uma condição de risco para quem nela trabalha e para o público em geral.

Ainda de acordo com a CETESB (1.994), em geral este estudo compõem-se em seis etapas:

- caracterização do empreendimento,
- classificação do perigo potencial,
- identificação de perigos,
- análise de consequências e avaliação de vulnerabilidade,
- estimativa de frequências e
- avaliação e gerenciamento de riscos.

A Figura 42 mostra as fases de execução da análise preliminar de risco recomendada pela CETESB (1994).

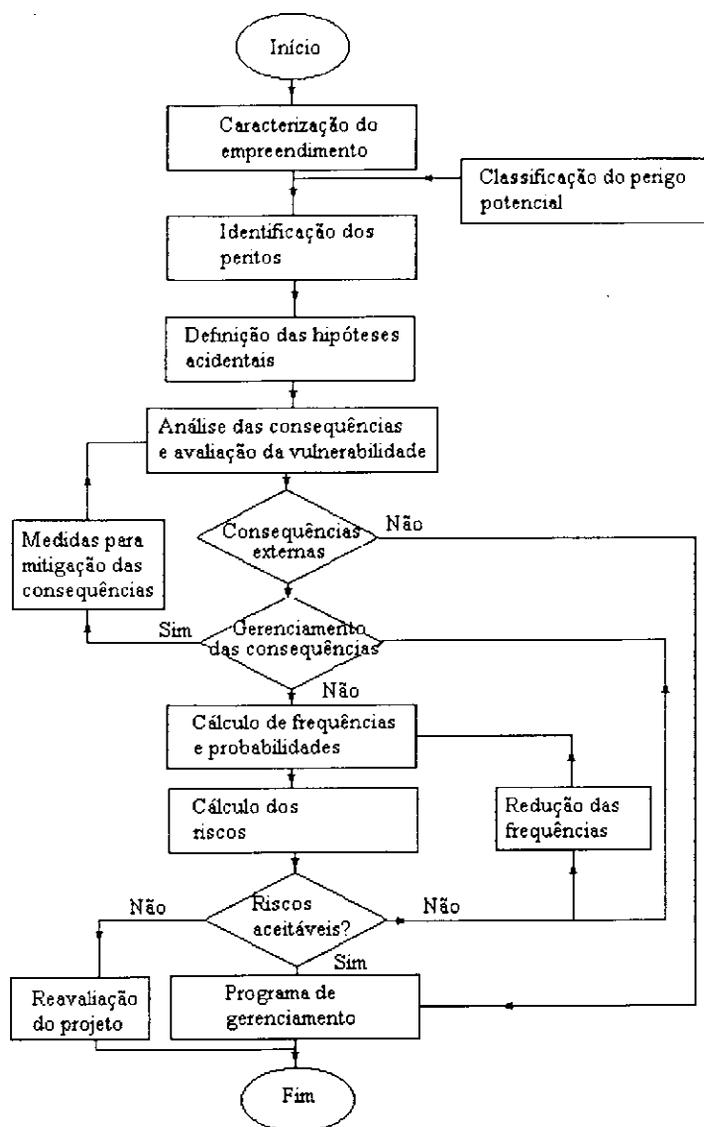


Figura 42 - Desenvolvimento de um estudo de análise de risco

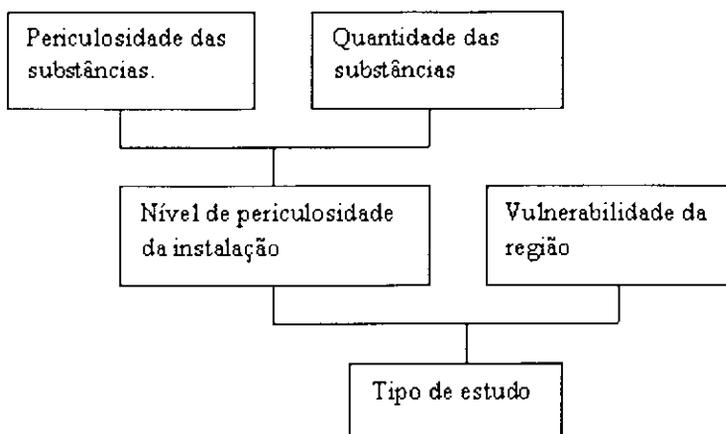
Fonte: CETESB, 1.994

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento (United Nations Environmental Protection - UNEP) classifica os riscos como:

- direto - causado pelos seus próprios efeitos,
- de acidentes de grande porte - quando os danos são muito prejudiciais,
- percebido pelo público - a não aceitação de um risco obriga a procura por soluções inovadoras,
- com características crônicas - de ação contínua e prolongada,
- agudo - que ocorre em um curto espaço de tempo,
- tecnológico - decorrente de atividade humana e
- natural - originado pela natureza.

O tipo de estudo a ser feito varia principalmente de acordo com a periculosidade e a quantidade da substância, a CETESB (1996) também recomenda que seja levada em

conta a população exposta ao risco e a vulnerabilidade da região, como pode ser observado na Figura 43.



**Figura 43 - Tipo de estudo a ser elaborado na instalação industrial.**

Fonte: CETESB, 1.996.

O metano contido no biogás é uma substância altamente inflamável, tem nível de inflamabilidade igual a 4 (CETESB, 1.996).

Como procedimento de segurança é recomendada uma distância mínima de isolamento do local de armazenamento, isto para que em caso de vazamento, haja uma distância mínima de segurança onde não seja atingida uma concentração inflamável.

Esta distância varia de acordo com a massa de combustível estocada. A CETESB (1.996), recomenda para o propano, que ao contrário do metano é mais denso que o ar, uma distância de 13m para uma massa de 10kg, de 25m para uma massa de 100kg e 51m para uma massa de 1000kg. Em termos de volume tem-se uma distância de 12m para um volume de 25m<sup>3</sup>, de 25m para um volume de 125m<sup>3</sup> e 51m para um volume de 600m<sup>3</sup>.

Considerando que a densidade relativa do biogás é de 0,64 e que o seu limite de inflamabilidade varia entre 5 e 14% em volume GASTALDONI, (1.985) considera que os riscos associados ao biogás são inferiores, se comparados aos riscos associados aos combustíveis líquidos. Sendo, de acordo com este ponto de vista, a ventilação do ambiente, um instrumento de garantia das condições de segurança. Além disso a redução do volume armazenado, o emprego de sistemas de detecção de vazamentos podem contribuir para a redução dos riscos.

#### 4.5 Experiência nos LDRS

A principal fonte de informações a respeito da recuperação de biogás nos aterros considerada neste texto é o banco de dados da CETESB, apresentada no Anexo 2 - LDRS, nesta listagem são considerados o nome do local, o município onde se encontra o Estado e o tipo que pode ser lixão municipal ou aterro controlado e esses de solução conjunta de mais de um município ou particular.

Este banco de dados ao final de 2.000 reúne 153 registros, outras informações importantes são a população urbana do município de acordo com o IBGE, as quantidades de resíduo depositado ao dia e a quantidade total depositada desde sua abertura, a data do início de operação do LDRS e dados de recuperação e uso de biogás.

Além dos dados do Anexo 2, outros levantamentos realizados pela USEPA são considerados. Ao contrário dos dados levantados em campo pela USEPA, a informação do Anexo 2 foi enviada pelos responsáveis pelos LDRS e antes de mais nada deve-se consolidar estes dados.

Como se observa na Figura 44, a USEPA levantou a viabilidade de recuperação de biogás de LDRS no Brasil (USEPA 1, 1.997) e no Estado de São Paulo (USEPA 2, 1997). No primeiro levantamento são considerados 13 LDRS localizados nas 9 maiores cidades do país, no segundo 6 LDRS da RMSP.



**Figura 44 - LDRS no Brasil**

OBS:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1 - Bandeirantes (São Paulo, SP)        | 7 - Gramacho (Duque de Caxias, RJ) |
| 2 - Belo Horizonte (Belo Horizonte, MG) | 8 - Joinville (Joinville, SC)      |
| 3 - Biguaçu (Florianópolis, SC)         | 9 - Jóquei (Brasília, DF)          |
| 4 - Caximba (Curitiba, PR)              | 10 - Lara (Mauá, SP)               |
| 5 - Delta (Campinas, SP)                | 11 - Santa Bárbara (Campinas, SP)  |
| 6 - Goiânia (Goiânia, GO)               | 12 - São João (São Paulo, SP)      |
|   | 13 - Zona norte (Porto Alegre, RS) |

Fonte: USEPA, 1.997

O estudo feito a respeito do aterro Bandeirantes (USEPA 2, 1997) serve como referência para o exercício, a seguir, a respeito de um LDRS fictício.

São levadas em conta nesta estimativa a quantidade de resíduo que é depositada diariamente neste LDRS, a composição do resíduo e a conversibilidade deste biogás. A Equação 12 (USEPA 2, 1.997) é empregada para esta estimativa:

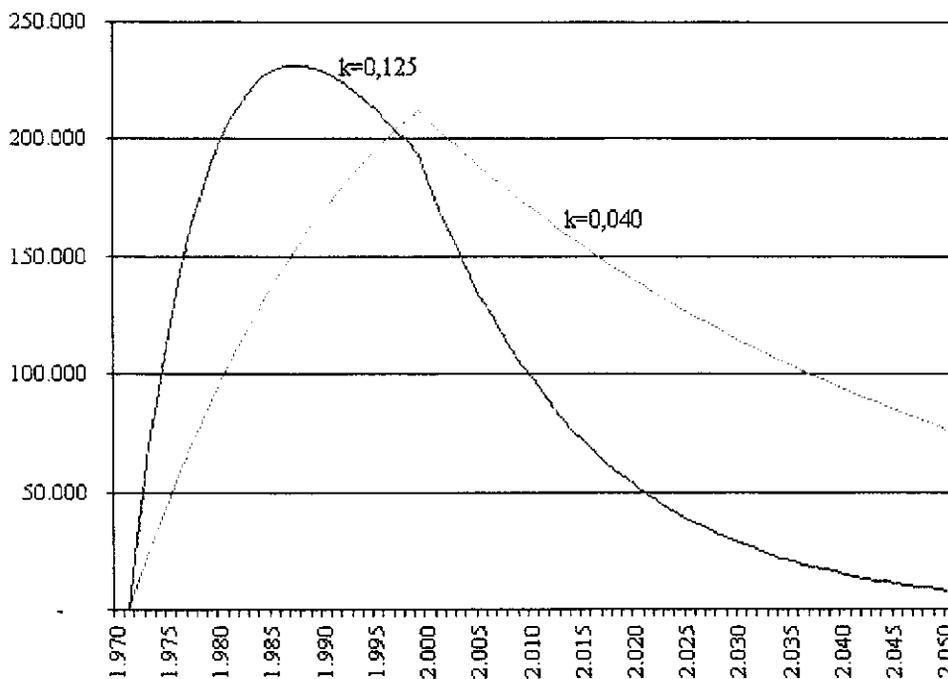
$$Q = \frac{2L_0R}{525600} ke^{-k \cdot imed}$$

## Equação 12 - Estimativa de vazão de biogás no LDRS

onde:

$Q$	vazão de biogás [ $\text{m}^3/\text{dia}$ ]
$L_0$	emissão específica de metano pelo resíduo [ $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}$ ]
$R$	Resíduo depositado no LDRS [Mg]
$k$	índice de emissão [adimensional]
$i_{med}$	idade média do resíduo [ano]

A Figura 45, considera um LDRS que iniciou sua operação em 1.970. Este LDRS recebeu regularmente os resíduos de uma população de aproximadamente um milhão de habitantes até o ano de 2000. Empregando o modelo acima da USEPA, pode-se estimar a geração de biogás deste LDRS pelos próximos anos.



**Figura 45 - Estimativa de geração de metano por um LDRS ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )**

OBS:  $k=0,040$  implica em uma baixa taxa de geração de metano  
 $k=0,125$  implica em uma alta taxa de geração de metano

Esta estimativa mostra que durante a operação do LDRS há grande emissão de biogás pelo resíduo, e que encerrada a operação do LDRS, este permanece emitindo quantidade explorável por alguns anos. Os diferentes fatores  $k$ , influenciam na intensidade de geração de biogás, quanto maior a porcentagem de matéria orgânica maior o  $k$  e maior a velocidade de produção de metano pelo aterro.

**Tabela 32 - Parâmetros para estimativa de geração de metano.**

Parâmetro	valor	unidade
k	(1):	0,040 ano <sup>-1</sup>
k	(2)	0,125 ano <sup>-1</sup>
L <sub>0</sub>		125,0 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /Mg
		125.000 m <sup>3</sup> /kg
resíduo per capita		255,5 kg/hab.ano
crescimento populacional		0,01% ano <sup>-1</sup>
população inicial		1.000.000 habitantes
ano de início de operação		1.970 ano
ano de fechamento do aterro		2.000 ano
final da estimativa		2.050 ano

A Tabela 33 mostra alguns dados dos aterros da RMSP avaliados pela USEPA. A geração energética estimativa a geração de eletricidade e o uso do biogás como combustível residencial de cocção ou para uso em geração de vapor ou calor em processo industrial como indústria de cimento e vidro (USEPA, 1997). A geração de eletricidade em máquinas de combustão interna, como as apresentadas no capítulo 3.4 - Máquinas térmicas alimentadas com biogás, página 59, sem considerar o potencial de cogeração.

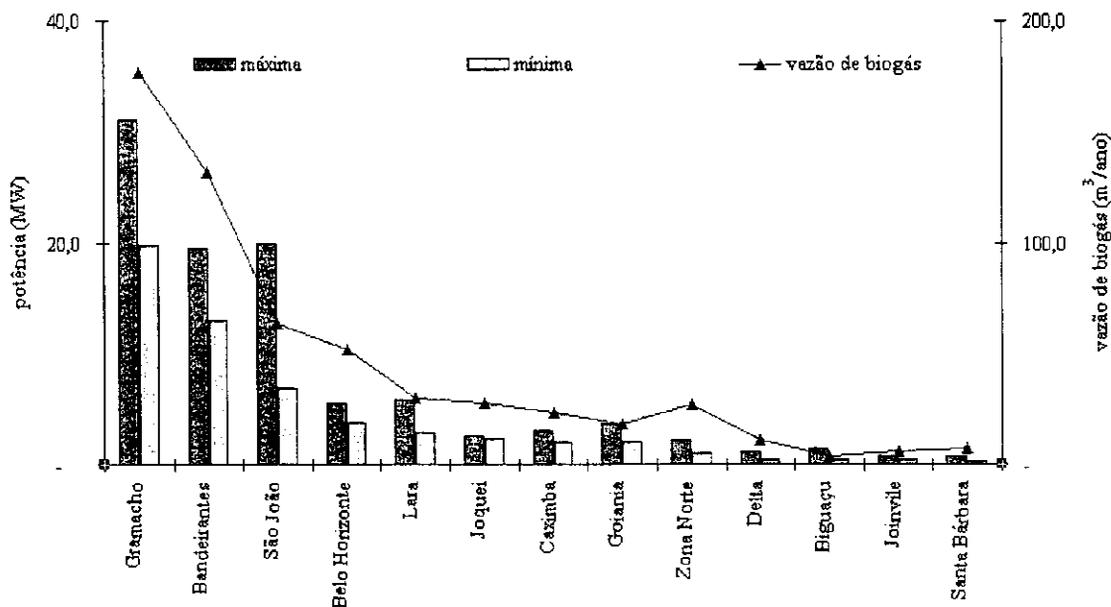
**Tabela 33 - LDRS da RMSP**

LDRS	abertura	fechamento	Biogás gerado	Potência da instalação	TIR (geração de eletricidade/uso direto como combustível)
	(ano)	(ano)	(1.000m <sup>3</sup> /dia)	(MW)	(%)
Vila Albertina	1977	1993	178,5	4,1	18/33
Santo Amaro	1.976	1.996	287,4	6,5	18/33
Bandeirantes	1.979	2.001	371,3	13,2	21/30
São João	1.992	2.011	147,8	8,0	21/35
Sapopemba	1.979	1.986	n.d.	n.d.	n.d.
São Mateus	1.984	1.985	n.d.	n.d.	n.d.
Jacuí	1.980	1.988	n.d.	n.d.	n.d.

Fonte: USEPA, 1997

A Figura 46 resume o estudo feito pela USEPA destacando os LDRS das regiões metropolitanas das capitais de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A linha indica a geração média de biogás em m<sup>3</sup>/ano no eixo da direita. A potência elétrica, desde a instalação até o final da vida útil do LDRS, varia de acordo com a sua idade e é indicada no eixo da esquerda em MW.

**Figura 46 - Principais LDRS no Brasil**



Fonte: USEPA 1, 1997

A principal limitação destas estimativas reside na insuficiência de dados específicos para a caracterização do resíduo brasileiro, são considerados valores característicos dos LDRS e dos resíduos americanos. Sabe-se que os resíduos gerados no Brasil têm uma quantidade elevada de orgânicos na sua composição, além disso, a temperatura ambiente e a umidade elevada são favoráveis à geração de metano pelos aterros.

A confiabilidade na estimativa dessas emissões baseia-se na experiência e na uniformidade de manejo dos LDRS a serem explorados.

#### 4.6 Experiência nas ETAE

O processo anaeróbio é indicado para efluentes industriais com elevadas cargas orgânicas como: laticínios, indústrias alimentícias, matadouros, indústria de papel, indústrias de sucos e refrigerantes, cervejarias e tratamento de lodo produzido nas ETAE de tratamento de esgotos domésticos.

A indústria de açúcar e álcool que também produz grandes quantidades de efluentes com elevada carga orgânica vem lançando esses efluentes no solo como adubo. São encontrados alguns registros de digestão anaeróbia visando a geração de biogás e seu aproveitamento energético. A usina Santa Eliza, no interior do Estado de São Paulo é um exemplo desta prática.

Por outro lado, como pode ser observado na Tabela 34, VIEIRA (1.998) indica que quase a totalidade das indústrias cervejeiras utilizam esta tecnologia para o tratamento dos seus efluentes e nenhuma empresa recupera o biogás gerado.

**Tabela 34 - Companhias cervejeiras no Brasil**

Cervejaria	Município	Estado	ETAE	Vazão de biogás (t/ano)
Kaiser	Feira de Santana	BA	RAFA	n.d.
Kaiser	Brasília	DF	RAFA	n.d.
Kaiser	Ponta Grossa	PR	RAFA	2.628
Kaiser	Queimados	RJ	RAFA	1.321
Kaiser	Gravataí	RS	RAFA	191
Kaiser	Araraquara	SP	RAFA	452
Kaiser	Jacareí	SP	RAFA	3.640
Antártica	Pirapora	MG	RAFA	n.d.
Antártica	João Pessoa	PB	RAFA	n.d.
Antártica	Olinda	PE	RAFA	n.d.
Antártica	Teresina	PI	RAFA	n.d.
Antártica	Rio de Janeiro	RJ	RAFA	2.432
Antártica	Natal	RN	RAFA	1.742
Antártica	Estrela	RS	RAFA	298
Antártica	Ribeirão Preto	SP	RAFA	756
Antártica	Jaguariuna	SP	RAFA	693
Brahma	Juatuba	MG	RAFA	n.d.
Brahma	Cuiabá	MT	RAFA	n.d.
Brahma	Rio de Janeiro	RJ	RAFA	n.d.
Brahma	Estância	SE	RAFA	n.d.
Brahma	Agudos	SP	RAFA	n.d.
Brahma	Jacareí	SP	RAFA	2.663
Skol	Brasília	DF	RAFA	n.d.
Skol	Guarulhos	SP	RAFA	336
Belco	São Manuel	SP	Lagoa anaeróbia	n.d.
Schincariol	Alagoinhas	BA	RAFA	n.d.
Cintra	Mogi-Mirim	SP	RAFA	n.d.

OBS: RAFA - Reator anaeróbio de fluxo ascendente

Fonte: VIEIRA et al., 1.999.

A Tabela 34 é uma fração retirada do Anexo 3 - ETAE, Anexo 4 - ETAE no Estado de São Paulo (I) e Anexo 5- ETAE no Estado de São Paulo (II). O Anexo 3 contém o ano de início de operação da ETAE, o município, o Estado, a origem do efluente de acordo com a atividade industrial e o volume de metano, o Anexo 4, inclui o tipo de tratamento anaeróbio empregado e o Anexo 5 reúne, para 28 ETAE do Estado de São Paulo, dados como volume do reator, vazão de efluentes, concentração de matéria orgânica e vazão de biogás.

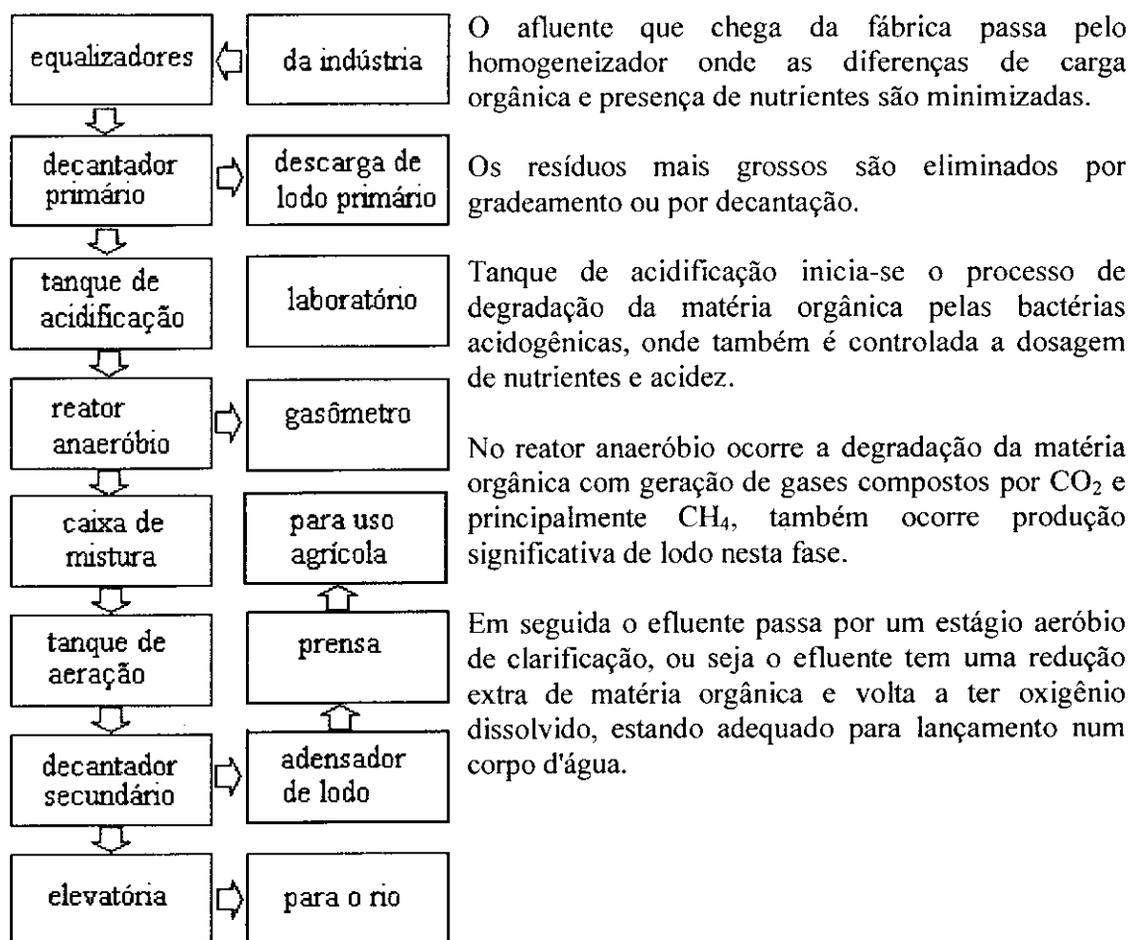
A opção de uso de RAFA nas cervejarias se deve, entre outros fatores, à elevada carga orgânica contida em seus efluentes, como pode ser visto na Tabela 35.

**Tabela 35 - Despejos da cervejaria e carga poluidora**

Características dos despejos	Despejo/Cerveja Litro/100Litros	BOD mg/l	Fração da carga de BOD %
Líquidos provenientes de prensagem de grão	1,4 a 2,4	15.000	3,5
Líquido proveniente da prensagem do lúpulo	0,9	7.340	1,1
Água de lavagem do pano de filtro do malte	5,9	4.930	4,6
Água de lavagem do fermento	1,2	7.400	1,2
Cerveja filtrada do fermento	1,2	69.000	13,3
Despejos de cerveja	n.d.	n.d.	76,3

Fonte: BRAILE, 1.980

Dado grande número de cervejarias optantes pela tecnologia anaeróbia, vale verificar o funcionamento da sua ETAE através da Figura 47.



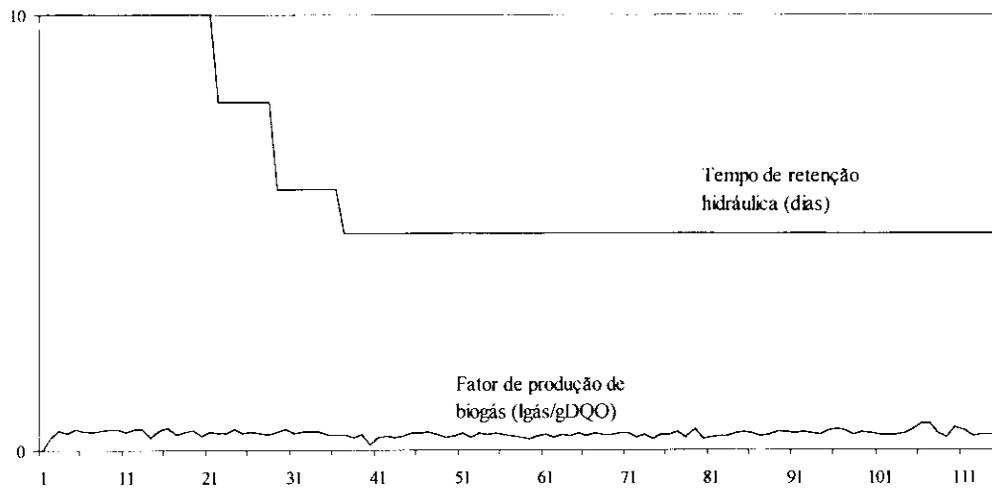
**Figura 47 - Fluxograma de uma ETAE de uma cervejaria**

Fonte: REINOLD, 1.997

Os principais fatores que influem na geração de biogás nos RAFA são:

- pH e a concentração de carga orgânica do efluente.
- tempo de retenção hidráulica (TRH) que varia entre 10 e 5 dias e
- tempo de fermentação que varia entre 1 e 115 dias.

Na Figura 48, SOARES (1.990), demonstra que o fator de produção de biogás do RAFA em função da carga orgânica, permanece constante e igual a 0,35lgás/gDQO e concentração de metano igual a 85% em volume no biogás.



**Figura 48 - Fator de produção de biogás em função do TRH e do tempo de fermentação**

Fonte SOARES, 1.990

De acordo com BINDEL *apud* SOARES, 1.990, em média 7 litros de efluente são gerados para cada litro de cerveja, outro valor médio é a concentração do efluente da cervejaria, de 2.400mgDQO/litro de efluente, o fator de produção de biogás médio é de 0,35Lgás/gDQO e finalmente, a concentração em volume de metano é de 85% LCH<sub>4</sub>/Lbiogás. Portanto, a Equação 13 permite a estimativa da geração de biogás na ETAE da cervejaria em função do volume de cerveja produzido:

$$Q = 5 \times n$$

#### Equação 13 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 1

onde:  $Q$ : vazão de biogás [LCH<sub>4</sub>]  
 $n$ : produção de cerveja [Lcerveja]

Outra metodologia de estimação de produção de biogás em uma cervejaria é feita por CORTEZ e LORA, (1.997) segundo a Equação 14:

$$G = 0,35 \left[ \left( Q \left( \frac{BOD_r - BOD_e}{10^3} \right) \right) - 1,42(QY(BOD_r - BOD_e) - K_d XV) \right]$$

#### Equação 14 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 2

onde:  
 $G$  Produção estimada de metano [LCH<sub>4</sub>/d]

- $Q$  Fluxo de afluente [L/d] (produto entre a produção diária de cerveja em L de cerveja/d e um valor entre 5,5 e 8,3L de efluente/L de cerveja (CETESB, 1.992))
- $BOD_r$  BOD solúvel do resíduo [mg/l] (igual a 3.045 (CETESB, 1.992))
- $BOD_e$  BOD solúvel de efluente [mg/l] (no máximo 20% do  $BOD_r$ , (CETESB, 1.992))
- $Y^4$  Parâmetro do metabolismo celular [mg SSV/mg BOD] (para cervejarias = 0,04 (CORTEZ & LORA, 1.997))
- $K_d$  Parâmetro de respiração endógena [ $d^{-1}$ ] (para cervejarias = 0,1 (CORTEZ & LORA, 1.997))
- $V$  Volume do reator [l]
- $X^5$  Concentração dos SSV [mg/l] (para indústrias de refrigerantes varia entre 1.292 e 1.724 CETESB, 1.992)

Portanto, simplificando a Equação 14, a Equação 15 fica da seguinte forma:

$$G(Q, V) = 69,6V - 47,6Q$$

### Equação 15 - Estimativa de geração de biogás na cervejaria - 3

Finalmente, além da necessidade da correta estimativa de geração de biogás pela ETAE, a contaminação dos efluentes industriais por substâncias tóxicas é outro problema levantado por FERREIRA, (1.994) que considera que os fatores importantes para a avaliação do efeito da toxicidade são a concentração de tóxicos, a sua reversibilidade e o potencial de aclimação dos microorganismos frente às diferentes substâncias.

Mais um fator considerado por FERREIRA (1.994) é a biodegradabilidade do efluente, ou seja, a propriedade do efluente ser degradado biologicamente. A presença de certos produtos químicos que passam pelo RAFA, sem causar dano e sem que este seja degradado gerando carga orgânica efluente.

Ainda de acordo com FERREIRA (1.994), atenção especial deve ser dada aos seguintes poluentes presentes nos efluentes industriais:

- Materiais orgânicos biodegradáveis
- Combinações fortemente redutoras
- Materiais orgânicos não biodegradáveis
- Materiais salinos
- Ácidos e álcalis
- Elementos tóxicos
- Germes patogênicos e vírus
- Materiais radioativos
- Materiais coloridos
- Águas de refrigeração

<sup>4</sup> O parâmetro de metabolismo celular  $Y$  corresponde à produção de biomassa por grama de substrato removido

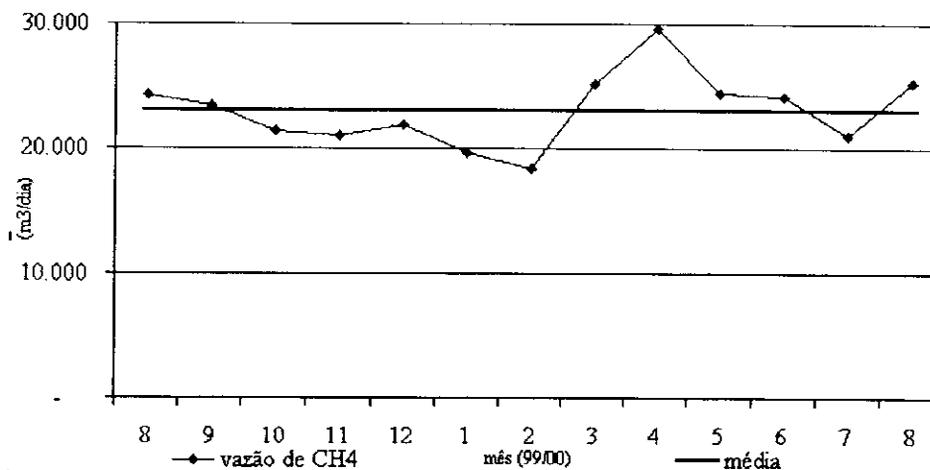
<sup>5</sup> A concentração de sólidos em suspensão voláteis (SSV)  $X$  corresponde à população heterogênea de microrganismos encontrados em substratos.

E uma vez que destaque foi dado às cervejarias, NAGEL et al, (1.998) indica que dentre os compostos dos efluentes da cervejaria, os que causam maior toxicidade são os provenientes de limpezas como os detergentes e desinfetantes e os provenientes de lubrificação aplicados nas correias de transporte.

Outra instalação com elevada produção de biogás é o sistema de tratamento de lodos das ETE. Na RMSP a Companhia de Serviços de água e esgotos SABESP, vem operando grandes unidades de tratamento de esgotos domésticos instaladas nos municípios de Suzano, Ribeirão Pires, Itaquaquecetuba, Barueri e no bairro de Bom Sucesso em São Paulo. A Figura 49 mostra a vazão diária de biogás gerado pelo tratamento de lodos na ETE de Barueri que corresponde a 23.000m<sup>3</sup>/dia.

O biogás produzido nesta ETE contém 70% de CH<sub>4</sub> em sua composição média, o que equivale ao potencial de geração de 1,5MW e corresponde a 1/4 da demanda média registrada na unidade de 6MW (KESSLER, 2.000).

**Figura 49 - Vazão de biogás na ETE Barueri (m<sup>3</sup>/dia)**



Fonte: KESSLER, 2.000

A tecnologia adotada nas ETE da SABESP da RMSP, gera grande quantidade de lodo, a unidade de Barueri produz 200L/dia de lodo, que vem sendo tratado pelo processo anaeróbio. Após o tratamento este material pode ser utilizado como adubo em determinadas culturas ou ainda pode-se dar uso energético a esta biomassa.

#### 4.7 Recursos financeiros para recuperação e uso de biogás

O Metano e os demais GEE são substâncias cujo aumento da concentração atmosférica coloca em risco a manutenção das condições de sobrevivência da sociedade. A reversão das projeções de aumento da concentração atmosférica desses gases depende de recursos financeiros que devem garantir a estabilização climática do planeta.

O princípio do poluidor pagador, segundo FURTADO (1.999), é uma política proposta pela OECD em 1.972 estabelecendo que o poluidor potencial deve agir de modo a prevenir a poluição e que o poluidor de fato pagará pelos custos da remediação.

Em outras palavras, o poluidor é induzido a investir no tratamento de seus efluentes até o limite em que seu custo de tratamento seja inferior aos custos da penalidade que este sofreria em consequência de lançamento acima do limite tolerado pelo meio ambiente. E este investirá em um tratamento mais sofisticado quanto mais restritivas forem as exigências ambientais daquele país, estado ou município.

Com esta prática a indústria tem se adaptado empregando princípios de produção mais limpa, ou seja, ao invés de alocar recursos gerenciando resíduos a indústria tem reduzido a sua geração. Isso pode ser feito alterando-se o processo produtivo, procurando uma aplicação que converta o resíduo em matéria prima para um outro processo.

A Tabela 36 dá alguns exemplos de atitudes onde o poluidor pagador emprega a produção mais limpa para reduzir seus custos.

**Tabela 36 - Atitudes de controle da poluição e produção mais limpa**

Controle	Produção mais limpa
Os poluentes são controlados por filtros e métodos de tratamento de lixo	Os poluentes são evitados na origem
Em primeiro lugar são desenvolvidos os processos e produtos, em seguida faz-se uma avaliação do controle de poluição	O desenvolvimento dos processos e produtos leva em conta a geração de poluentes procurando a sua minimização
Controle de poluição são fatores de custo na empresa	Considera-se o valor do resíduo aproveitado ou do poluente não emitido
As questões ambientais são matéria para ser tratada por especialistas	As questões ambientais são matéria tratada por todos da empresa
As melhorias ambientais são obtidas com emprego de tecnologia	As melhorias ambientais são obtidas com medidas simples
A preservação ambiental é determinada pela autoridade local	A preservação ambiental é voluntária
A Qualidade é definida pelo atendimento das necessidades dos usuários	A qualidade considera, além do atendimento das necessidades dos usuários a saúde e o meio ambiente

Fonte: GREENPEACE, 1.997

Reconhecendo a importância da energia para o desenvolvimento social e econômico e a atual condição de desigualdade na distribuição do seu uso, a UNCED (1.997) reconhece que o desenvolvimento social e econômico implicam no aumento do consumo de energia pelas populações dos países em desenvolvimento e que este aumento deve ser regido pela elevação na eficiência energética e pelo emprego de fontes renováveis de energia.

No que diz respeito às emissões de GEE, a UNCED (1.997) destaca necessidade da consideração das incertezas envolvidas nas estimativas sobre as mudanças climáticas e da promoção do desenvolvimento sustentável.

A promoção do desenvolvimento sustentável se observa também pelo aumento no consumo *per capita* de energia, pela melhoria nos transportes e pelo desenvolvimento industrial.

A solução para o problema ambiental causado pelos resíduos sólidos vai além da correta disposição deste, deve-se procurar mudar os padrões insustentáveis de produção e consumo.

Seguindo este raciocínio a UNCED (1.997) defende a minimização da geração de resíduos, a maximização da reciclagem a correta disposição final dos resíduos e sua ampliação ao maior número de pessoas possível.

Os países desenvolvidos têm o compromisso de destinar 0,7% do seu PNB para a assistência oficial ao desenvolvimento (UNCED, 1.997).

As fontes de financiamento disponíveis são os bancos e fundos multilaterais de desenvolvimento, os organismos especializados, as instituições multilaterais, os programas de ajuda bilateral, o alívio dos encargos da dívida e os fundos privados.

De acordo com o WRI (1.997), haverá disponibilidade de fontes de energia alternativa a preços competitivos em futuro próximo, produtores e consumidores necessitam estar flexíveis e adaptáveis aos sinais de mercado, haverá opções de comércio de CO<sub>2</sub>, receitas coletadas por políticas para reduzir emissões necessitam ser usadas para reduzir as taxas sobre ganhos e investimentos e ganhos econômicos por poluição evitada devem ser contabilizados.

Por traz da falta de recursos que caracteriza a gestão ambiental no Brasil, está o modelo de comando e controle adotado para na aplicação dos impostos ambientais (GESP, 1.998). Este modelo baseia-se na aplicação de penalidades pela desobediência a restrições quantitativas e gerenciais ao uso dos bens ambientais. Novos instrumentos como os conceitos de poluidor-pagador e usuário-pagador e o uso de instrumentos econômicos, tendem a minimizar as dificuldades de captação de recursos dos órgãos ambientais.

A avaliação de viabilidade econômico-financeira de projetos leva em conta fatores como custo de matéria-prima, mão-de-obra, facilidades de escoamento, disponibilidade de recursos energéticos e naturais.

A avaliação econômico-financeira convencional deixa, a despeito de ter conhecimento que ocorram, de lado os custos e benefícios causados pelos impactos sócio-ambientais do empreendimento, mencionados no item 3.6.2 - Análise macroeconômica na página 78 deste texto. É necessária a internalização destes custos sócio-ambientais. Esta internalização deve reduzir o padrão de exploração dos recursos naturais.

A Tabela 37 apresenta alguns exemplos de instrumentos que, quando aplicados tornam explícitos os custos ambientais das atividades produtivas e direcionando a gestão produtiva ao uso mais racional e eficiente dos recursos naturais.

**Tabela 37 - Instrumentos econômicos com fins preservacionistas**

Instrumento	Propósito
Cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas por volume e conteúdo de poluente	Financiamento de bacias hidrográficas e indução do uso racional de recursos hídricos
Tarifa de esgoto industrial baseada no conteúdo de poluentes	Recuperação de custos de ETE

Fonte: PNUD, 1.996 *apud* GESP, 1.998

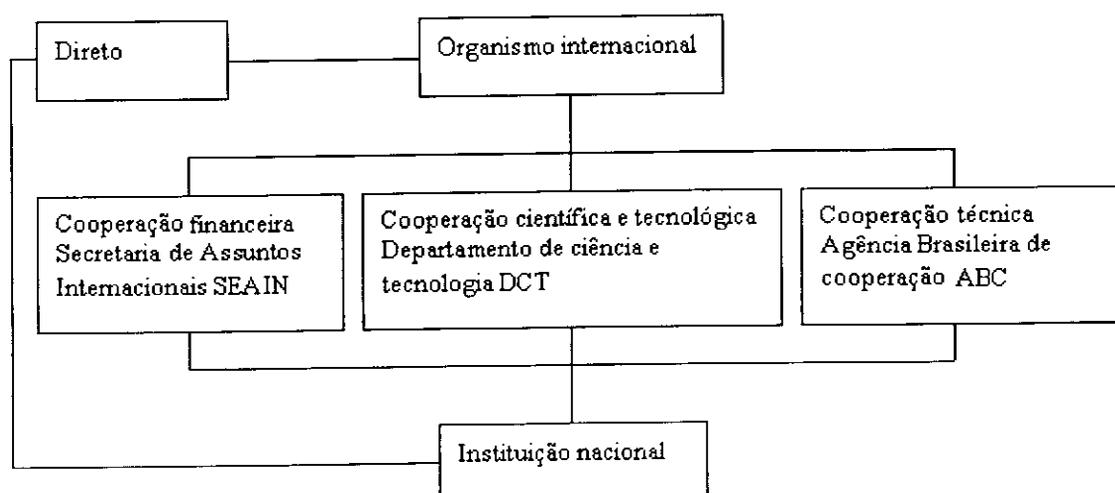
No Estado de São Paulo, segundo GESP, 1.998, 30% da poluição causada pelo lançamento de carga orgânica nos rios do Estado de São Paulo é de origem industrial. Esta situação é grave, uma vez que a grande maioria dos municípios não trata seus esgotos, o que gera uma severa degradação dos rios. Buscando reverter esta situação o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) tem destinado recursos para subsidiar a construção de ETE.

Tanto as modalidades de cooperação internacional quanto nacional podem ser entendidas como o relacionamento entre dois ou mais agentes, onde ocorre a cessão de meios em condições mais favoráveis que as estabelecidas pelas relações comerciais usuais, de forma que atinja um objetivo preestabelecido (GESP 2, 1.998).

Ainda de acordo com o GESP 2, a cooperação pode ser técnica, financeira ou científica e tecnológica. Cada uma dessas modalidades diferencia-se pelo seu objeto de financiamento.

O estabelecimento de uma cooperação internacional envolve um maior número de formalidades quando firmado por um órgão público nacional. A Figura 50 resume as relações entre instituições brasileiras e de outros países:

A Figura 50 representa o mecanismo de funcionamento de cooperação técnica, financeira e científica e tecnológica internacional empregado no Brasil.

**Figura 50 - Cooperação internacional.**

Fonte: GESP 2, 1.998

Algumas fontes internacionais oficiais de cooperação técnica, científica e tecnológica ou financeira que podem vir a financiar projetos ligados à melhoria ambiental, redução de emissão de GEE e uso racional de recursos naturais:

- Administração para o Desenvolvimento Ultramarino (Overseas Development Agency - ODA)
- Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (Canadian International Development Agency - CIDA)
- Agência de Cooperação técnica Internacional do Japão (Japan International Cooperation Agency - JICA)
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (United Nations Development Program - UNDP)
- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Program - UNEP)
- Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (United Nations Industrial Development Organization - UNIDO)
- Instituto Francês de Pesquisa para o Desenvolvimento em Cooperação (L'institut Français de Recherche Scientifique pour le Developpement en Coopération - ORSTOM)
- Agência Alemã de Apoio a Projetos de Cooperação Técnica (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ)
- Banco Interamericano de Desenvolvimento (Interamerican Development Bank - IBD)
- Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (International Bank for Reconstruction and Development (IRDB)
- EXIMBANK do Japão (Export Import Bank of Japan - EXIMBANK)
- KFW (Kreditanstalt Für Wiederaufbau - KFW)
- Fundo Mundial para o Meio Ambiente (Global Environmental Facility - GEF)

Deve-se chamar atenção para o fato de que a clientela destas instituições de cooperação normalmente é composta ou pelo estado, por organizações não governamentais ou por instituições sem fim lucrativo, o que indica a impossibilidade ou o difícil acesso a esses créditos pelas empresas.

Uma agência de cooperação que deve ser destacada é a UNIDO. De acordo com GESP 2 (1.998), sua linha de atuação é a cooperação técnica para o desenvolvimento industrial. Seu objeto de cooperação são projetos que contribuam para a modernização tecnológica do setor industrial, destacando-se os de meio ambiente. Sua clientela é o setor privado em parceria com o governo.

#### 4.7.1 Programa de Controle de Poluição - PROCOP

O PROCOP foi criado pelo Decreto 14.806 de 1.980 visando auxiliar na implementação da política ambiental do Estado de São Paulo, através de uma linha de financiamento específica para as empresas, o Programa de Financiamento ao Controle - PFC do PROCOP.

O PFC é um fundo rotativo alimentado pelos pagamentos das amortizações e juros dos financiamentos concedidos, sendo a CETESB o agente técnico e o Banco do Estado de São Paulo - BANESPA o agente financeiro.

Esta linha de crédito destina-se a empresas indústrias, hospitais, hotéis, consórcios de empresas para tratamento ou disposição de resíduos sólidos industriais, consórcios de empresas para tratamento de efluentes líquidos industriais, empresas industriais quando associadas ao poder público para soluções conjuntas de esgotos ou resíduos sólidos, empresas comerciais para prestação de serviços para tratamento ou disposição de resíduos sólidos industriais, outras empresas não industriais que possuam fontes significativas de poluição das águas.

A análise dos projetos obedece a uma hierarquia que está de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável que é a seguinte:

- A poluição deve ser prevenida na fonte.
- A poluição que não puder ser prevenida deve ser reciclada de forma ambientalmente segura.
- A poluição que não puder ser prevenida ou reciclada, deve ser tratada de forma ambientalmente segura.
- A disposição ou outra forma de liberação só deve ser empregada em último recurso e deve ser conduzida de forma ambientalmente segura.

Sendo a utilização do biogás gerado na digestão anaeróbia uma ação que visa evitar o uso de um combustível fóssil como o GNC. Este é um projeto classificado, dentre os critérios do PROCOP, como 1 ou 2, tendo, portanto, a condição de crédito representada na Tabela 38.

**Tabela 38 - Condições de financiamento de acordo com o porte da empresa**

Discriminação	Empresa	
	Pequena (Faturamento até R\$4.000.000)	Média e grande
Prazo, carência e amortização	Os prazos serão determinados de acordo com a análise técnico financeira do projeto. Projetos de disposição e tratamento têm 36 meses de carência e 84 meses para amortização.	Idem, projetos de disposição e tratamento dispõem de 36 meses de carência e 60 meses para amortização.
Participação do PROCOP	85%	
Encargos	Taxa de juros de longo prazo - TJLP com redutor acrescido de 4,5 a 5% ao ano.	
Forma de pagamento	n.d.	
Na carência	Trimestral	
Na amortização	Trimestral	
Garantia	125% do valor financiado	

OBS: a aplicação do redutor à TJLP implicará numa taxa final próxima à inflação, porém nunca inferior a ela.

Fonte: CETESB, não datado.

O PFC também faz ressarcimento de projetos iniciados até um ano antes da data de apresentação do projeto técnico à CETESB.

O limite máximo de financiamento é R\$2.500.000 (se US\$1 = R\$1,90, então o limite máximo de financiamento equivale a US\$1.300.000) a cada 12 meses e financia projetos, obras civis, instalações elétricas, hidráulicas, equipamentos, montagem, fretes e seguro.

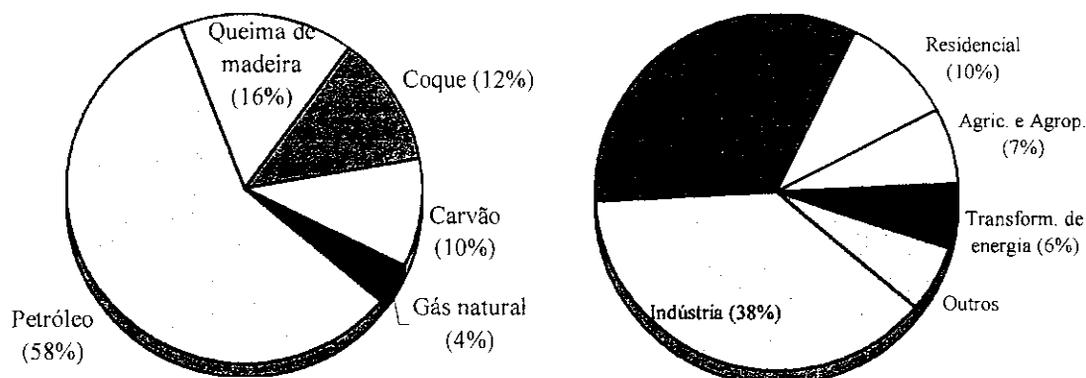
A solicitação do apoio financeiro ao PROCOP é feita mediante o encaminhamento à CETESB de uma proposta inicial que contenha informações básicas e orçamento estimado. Após a análise desta proposta pela CETESB, a empresa solicitante deve encaminhar ao BANESPA uma documentação específica para a análise da sua situação financeira. Finalmente, após a aprovação do BANESPA a empresa passa à fase de preparação do projeto técnico a ser encaminhado à CETESB.

#### 4.7.2 Banco Nacional de Desenvolvimento e Social - BNDES

O BNDES, criado em 1952, é uma empresa pública federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que tem como objetivo financiar empreendimentos que contribuam para o desenvolvimento do país.

Desde 1998 o BNDES em parceria com o MCT, MMA e Ministério de Relações Exteriores vem acompanhando a questão das mudanças climáticas e considera a distribuição das emissões de GEE no Brasil apresentada na Figura 51.

**Figura 51 - Estimativa do perfil das emissões de GEE no Brasil**



Fonte: GOLDEMBERG *apud* MCT, 2000.

A distribuição à direita mostra que 58% do consumo nacional de combustíveis fósseis deve-se ao petróleo e a distribuição à esquerda mostra que dentre as principais atividades econômicas do Brasil, os transportes e a Indústria são responsáveis por 71% da geração nacional de GEE.

Tomando referência nesta distribuição o BNDES avalia programas que podem ser beneficiados, sendo que o BNDES indica o seu papel de "agente na canalização de

recursos disponibilizados pelos mecanismos financeiros da Convenção, participando de sua formulação" (BNDES, 2.000).

Por outro lado o BNDES atua em projetos relacionados à preservação ambiental de modo geral.

Em 1995 o BNDES foi signatário do Protocolo Verde. Esta iniciativa pioneira do Executivo federal, instituída com a finalidade de estabelecer as bases da incorporação da variável ambiental nas análises destinadas à concessão de crédito por parte das instituições financeiras federais, foi baseada na ação pioneira do BNDES.

O BNDES observa o conceito de desenvolvimento ambientalmente sustentável e provendo principalmente as empresas de pequeno e médio porte com recursos financeiros para crédito ambiental e fomentando iniciativas inovadoras que maximizem a eficácia da aplicação dos recursos, em projetos de preservação, conservação e recuperação ambientais.

O critério de aprovação de projetos do BNDES destaca os projetos de modernização produtiva que utilizam tecnologias, processos e procedimentos que visam reduzir a geração de resíduos, aumentar a eficiência energética e evitar utilização de insumos tóxicos.

Os recursos do BNDES podem financiar:

- Obras civis e instalações
- Máquinas e equipamentos novos
- Avaliação de impacto ambiental
- Análises de risco e auditorias ambientais
- Programa de capacitação profissional e de educação nas áreas ambiental e de segurança do trabalho
- Assistência técnica
- Projetos de monitoramento ambiental

Finalmente o BNDES introduz conceitos como *ecoeficiência* e *ecocapacidade* para avaliar projetos introduzindo variáveis macro-econômicas que induzem a minimização da utilização de materiais e de energia, da geração de resíduos, e a maximização dos recursos renováveis.

#### 4.7.3 Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA

O FNMA do Ministério do Meio Ambiente - MMA, foi instituído pela lei número 7.797 de julho de 1.989 e visa a manutenção da qualidade ambiental.

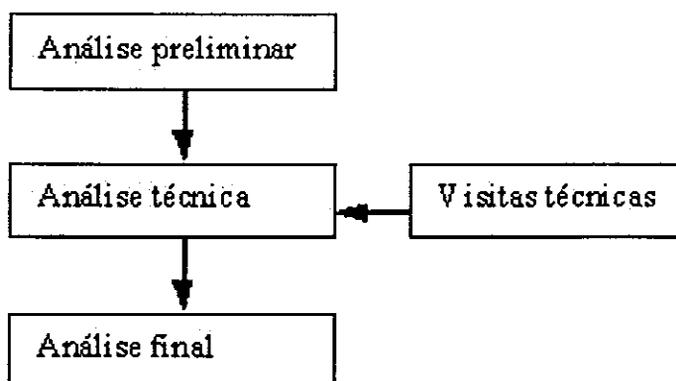
É dirigido a instituições governamentais da administração direta e indireta, quer seja federal, estadual ou municipal; a organizações não governamentais ambientalistas brasileiras sem fins lucrativos que tenham mais de um ano de existência legal e organizações de base brasileiras, também sem fins lucrativos, que existam legalmente há mais de dois anos e que tenham em seu estatuto objetivos relacionados à qualidade ambiental.

Esta fonte de recursos não se destina a instituições privadas e esclarece em seu caderno de orientações básicas que não custeia serviços de saneamento ou coleta e destinação de resíduos sólidos.

Os projetos podem ter um prazo de 24 meses para a sua execução com um limite que já inclui a contrapartida de R\$ 700.000, sendo que a contrapartida necessária varia de 5 a 10% para municípios com até 25.000 habitantes, 10 a 20% para municípios maiores localizados nas áreas da SUDENE (Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste), SUDAM (Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia) e Centro-Oeste; e de 20 a 40% para os demais municípios. Da mesma maneira os projetos estaduais, cujos estados façam parte da SUDENE, SUDAM ou do Centro-Oeste contam com valores de contrapartida mais reduzidos.

O FNMA financia despesas com obras e instalações, equipamentos e material permanente além de diárias, material de consumo, locomoção, serviços de consultoria e serviços de terceiros, sejam eles pessoas físicas ou pessoas jurídicas.

A Figura 52 mostra que após uma fase preparatória, onde podem ser enviadas cartas consulta à Coordenação geral do FNMA, para que sejam definidas condições preliminares, há uma fase de avaliação do projeto que culmina com a celebração de convênios entre as partes.



**Figura 52 - Análise das propostas de projetos pelo FNMA**

Fonte: MMA, 1.999

#### 4.7.4 Fundo Mundial para o Meio Ambiente (Global Environment Facility- GEF)

O GEF é um mecanismo de cooperação internacional com o propósito de outorgar doações e conceder recursos em termos concessionais a países em desenvolvimento para financiar atividades orientadas para a proteção do ambiente global. Seus recursos destinam-se às áreas de:

- Mudanças climáticas.
- Proteção da biodiversidade.
- Oceanos ou águas internacionais.
- Proteção da camada de ozônio.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (United Nations Development Program - UNDP) apoia a identificação de projetos e atividades compatíveis com as

finalidades do GEF e com as estratégias para o desenvolvimento sustentável de cada país.

Os projetos submetidos ao GEF, necessitam antes da aprovação oficial do Governo Brasileiro, representado pela Secretaria de Assuntos Internacionais do Ministério do Orçamento e Planejamento (de acordo com a estrutura ministerial vigente em 1.999).

A organização estabelecida pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (United Nations Environment Program – UNDP), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Program – UNEP).

#### 4.7.5 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism - CDM)

O Protocolo de Quioto define quatro mecanismos de flexibilização:

- Comércio de emissões (*emissions trading*), definido no artigo 17, onde cada parte pode comprar reduções de outros países do Anexo I da UNFCCC, apresentados na Tabela 39 na página 107, e usar essas reduções para cumprir seus próprios compromissos de redução;
- Bolhas (*bubbles concept*), definidas no artigo 4, onde os países do Anexo I da UNFCCC podem cumprir seus objetivos de redução em conjunto;
- Implementação conjunta (*joint implementation*), definida no artigo 6, onde países do Anexo I da UNFCCC podem desenvolver projetos de mitigação em conjunto, gerando créditos que podem ser usados para o cumprimento do compromisso assumido de redução e
- Mecanismo de desenvolvimento limpo (*clean development mechanism*) definido no artigo 12 do Protocolo de Quioto, onde países não-Anexo I da UNFCCC desenvolvem projetos de mitigação gerando créditos de redução de emissão que podem ser usados pelas partes do Anexo I da UNFCCC para cumprir seus compromissos e ajudar os países não-Anexo I a alcançar o desenvolvimento sustentado.

No processo de negociação iniciado, mesmo antes da Rio 92, o Brasil defendeu o princípio do poluidor pagador, onde quem está emitindo GEE deve pagar pelo dano ambiental causado ou pelos custos da sua prevenção. Este princípio encontra oposição em fóruns ambientalistas que defendem, ao invés da penalização do poluidor, a necessidade cessação da emissão de poluentes.

O Protocolo de Quioto da UNFCCC de dezembro de 97, materializou uma alternativa de implementação de projetos de mitigação de emissão de GEE aos países em desenvolvimento. A seguir, são destacados alguns tópicos deste texto.

A proposta de limitação ou as reduções das emissões de metano do Artigo 2 será implementada mediante a recuperação e utilização do biogás na gestão de resíduos.

De acordo com o Artigo 3 do Protocolo de Quioto, as partes incluídas no Anexo I da UNFCCC, listadas na Tabela 39, devem assegurar que suas emissões de GEE expressas em dióxido de carbono permitam a estabilização das concentrações atmosféricas e em consequência o clima. A meta estabelecida é que as emissões tenham uma redução de,

pelo menos, 5%, tomando-se como base o ano de 1.990. Devendo esta meta ser alcançada no prazo compreendido entre 2.008 e 2.012.

Para o ano de 2005, cada uma das partes deverá poder demonstrar avanços concretos no cumprimento dos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

De acordo com BODEN (1.990) apenas três países - Estados Unidos, Rússia e China são responsáveis por 51% do total das emissões de CO<sub>2</sub>, devidas à queima de combustíveis fósseis.

O Protocolo de Quioto entrará em vigor assim que pelo menos 55 Partes da UNFCCC e Partes do Anexo I da UNFCCC, apresentado na Tabela 39, contabilizem pelo menos 55% das emissões totais de CO<sub>2</sub> em 1990 (MCT, não datado).

**Tabela 39 - Compromisso de redução de emissões de GEE**

Anexo I do texto da UNFCCC

País	
Alemanha	Irlanda
Austrália	Islândia
Áustria	Itália
Belarus *	Japão
Bélgica	Letônia *
Bulgária *	Lituânia *
Canadá	Luxemburgo
Comunidade Européia	Noruega
Dinamarca	Nova Zelândia
Espanha	Países Baixos
Estados Unidos da América	Polônia *
Estônia *	Portugal
Federação Russa *	Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte
Finlândia	República Tcheco-Eslovaca *
França	Romênia *
Grécia	Suécia
Hungria *	Turquia
	Ucrânia *

- - Países em processo de transição para uma economia de mercado

Fonte UNFCCC, 1.996

De acordo com o CDM, os países em desenvolvimento não têm compromisso de abatimento ou redução. Este mecanismo permite que países em desenvolvimento desenvolvam projetos de mitigação de GEE e que estes, uma vez certificados, possam ser comercializados em um mercado de créditos de carbono, onde países industrializados possam beneficiar-se comprando o abatimento certificado e utilizando-o em seu balanço de emissões de GEE.

Para que se tenha uma idéia do volume de recursos envolvido no CDM considera-se que as emissões totais anuais são da ordem de 6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, uma redução de 5% das emissões implica em cerca de 300 milhões de toneladas ao ano a 100 US\$/t de CO<sub>2</sub>.

Basicamente há dois tipos de projetos a serem financiados pelo CDM. O primeiro inclui eficiência energética e substituição de combustíveis fósseis por renováveis. O segundo refere-se aos meios de sequestrar carbono da atmosfera (IPI, 1.998)

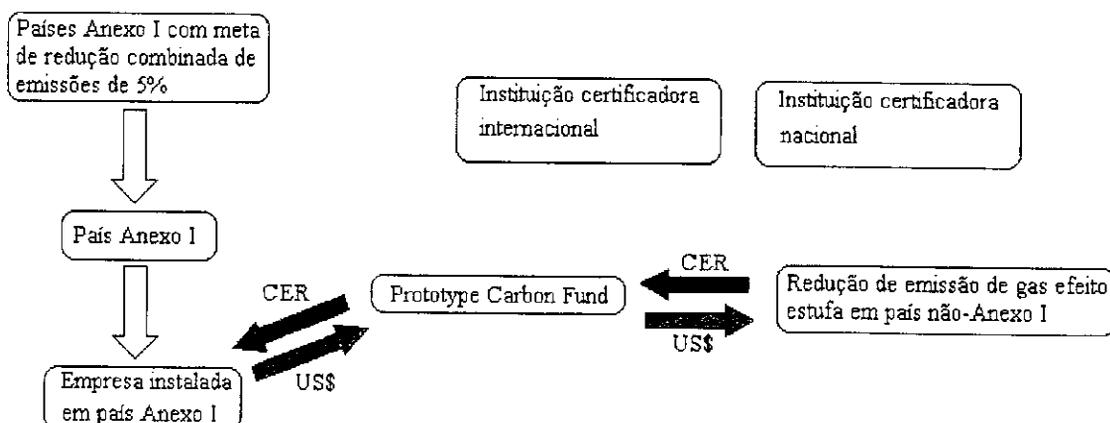
A emissão dos CER (Certificados de Redução de Emissão - *Certified Emissions Reduction*) leva em conta:

- Participação voluntária;
- Benefícios reais mensuráveis e de longo prazo, e
- Redução de emissões adicionais às que ocorreriam na ausência do CDM.

Sem perder de vista que o funcionamento do CDM está sendo definido, a Figura 53 ilustra uma hipótese de funcionamento onde o mercado para a comercialização destes CER deve permitir que os projetos certificados recebam recursos financeiros. Este mesmo mecanismo deve permitir que países Anexo I da UNFCCC sejam beneficiados pelas reduções de emissões estabelecidas pelo Protocolo de Quioto, também compõem este mercado as instituições certificadoras - as nacionais e internacionais, as primeiras preservando os interesses do país hospedeiro do projeto e as outras garantindo a aceitação pela UNFCCC e adicionando a credibilidade necessária aos CER.

Considerando os principais atores envolvidos, empresas em países Anexo I da UNFCCC e empresas em países não-Anexo I, podem ser classificados como compradores e vendedores de CER, existe ainda a figura dos corretores ou *brokers* que estarão comprando e vendendo os CER no mercado internacional.

A origem dos recursos, como é de se esperar, vem dos países Anexo I. Os mecanismos obtenção desses recursos dependem de que cada país. Tomando como exemplo a França, este país instituiu um imposto sobre o carbono embutido no preço do combustível.



**Figura 53 - Funcionamento do CDM.**

Um valor de referência para os CER é US\$10/tCO<sub>2</sub>, US\$ 210/tCH<sub>4</sub> para as emissões de metano e US\$3.100t/N<sub>2</sub>O para as emissões de óxido nítrico. Estes últimos são definidos considerando-se o GWP (Potencial de aquecimento global - *Global warming power*) em um horizonte de 100 anos, como se observa na Tabela 1, página 16.

De acordo com o Banco Mundial o PCF (Fundo protótipo de carbono - *Prototype Carbon Fund*), que recebe recursos públicos e privados para mitigar as mudanças climáticas globais, dispunha . em 1.997 US\$3 milhões e o sistema deve entrar em vigor em 2000.

#### 4.8 Conclusões

Dentre as experiências de recuperação de biogás desenvolvidas na década de 80 são identificadas poucas empresas remanescentes com tecnologia para o desenvolvimento de projetos de recuperação de biogás. Assim como o país criou tecnologia no uso do álcool, o desenvolvimento de energias renováveis, principalmente as oriundas de biomassa, pode e deve ser retomado.

Há grande quantidade de empresas nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Holanda e Austrália que têm projetos implantados e operando. Internalizar a experiência desenvolvida nestes países deve contribuir reduzindo custos de pesquisa e reduzindo o prazo para que a exploração da energia contida nos resíduos seja efetivada.

O uso de máquinas adaptadas para operar com biogás, obviamente, depende da adaptação. Em geral uma adaptação, de baixo custo, não é satisfatória, o rendimento energético é inferior, os intervalos entre paradas para manutenção são menores e a confiabilidade do equipamento reduz-se drasticamente. Há motores projetados para alimentação por biogás e uma instalação deve empregar a melhor tecnologia disponível.

Há uma forte tendência por parte dos projetistas em privilegiar a geração elétrica para a recuperação do biogás. Isso se baseia no fato de que qualquer que seja o aproveitamento do biogás este será feito pela sua queima e esta queima seria mais proveitosa em uma máquina de combustão interna que ainda dispõe calor residual.

Todavia deve-se considerar antes de tudo a necessidade energética da empresa geradora do biogás e da sua vizinhança. Uma empresa que necessita calor em seu processo pode substituir parte de seu combustível principal pelo biogás. Este uso pode ser feito pela mistura de combustíveis ou pela introdução de um estágio alternativo, onde o biogás forneceria parte da energia permitindo a redução do consumo energético do estágio principal.

Não recuperar energeticamente o biogás devido ao risco das instalações pode parecer improvável, mas é fato. As medidas de segurança são simples e não devem significar impedimento.

A escassez de recursos financeiros é a responsável pela ausência de investimentos de recuperação energética do biogás. Um problema adicional é a estreita relação existente entre a questão da recuperação do biogás gerado pela degradação anaeróbia de resíduos e os graves problemas sanitários que países em desenvolvimento, como o Brasil, apresentam. Uma política nacional sobre resíduos é necessária. Todavia a recuperação do biogás é um outro problema.

Onde a questão sanitária não é um problema, onde há a coleta e disposição ou tratamento adequados do resíduo e a tecnologia aplicada é a anaeróbia. Nesta instalação,

onde ocorre uma geração regular de biogás rico em metano, deve ser estudada a viabilidade do seu uso energético.

A Tabela 40 resume algumas linhas de crédito para o desenvolvimento de projetos de uso de biogás.

**Tabela 40 - Possíveis linhas de crédito para projetos de recuperação de biogás**

Linha de crédito	Juros	Carência (meses)	Prazo de amortização (meses)	Recebedor
PROCOP	TJLP+4,5%	36	60	Empresas de médio e grande porte
FNMA	Fundo perdido			Governo e ONGs
GEF	Fundo perdido			Governo e ONGs
BNDES	Dispõe de diferentes alternativas de financiamento que variam de acordo com cada projeto. Deve-se destacar que a mais importante agência de financiamento do país reconhece a importância da preservação ambiental levando isso em conta na concessão de crédito.			
CDM	Remuneração adicional pela mitigação de GEE com valores previstos desde US\$5/tC até US\$100/tC*.			Empresas e ONGs

OBS: (\*) aguardando por aprovação das partes para entrar em vigor.

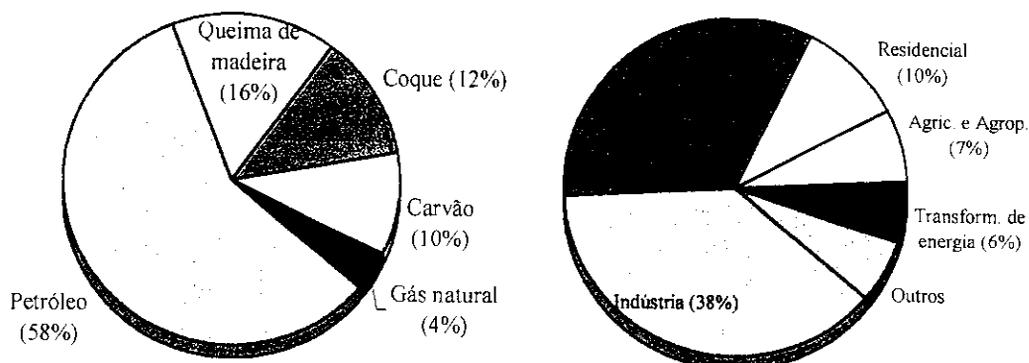
## Capítulo V RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Resumo

Este texto reuniu informações a respeito do aumento da concentração dos GEE e dos indícios do aumento do efeito estufa.

Considerando a UNFCCC e o Protocolo de Quioto, dois dos principais tratados internacionais de que o Brasil é signatário, foram apresentadas as principais ações do governo do Brasil a respeito deste tema: a Comunicação Nacional e o Inventário das emissões antrópicas e sumidouros de GEE. Com relação às emissões devidas à degradação anaeróbia pelos resíduos, complementa essas ações o banco de dados em desenvolvimento pela CETESB, a respeito dos LDRS e ETAE.

Na Figura 51, no capítulo 4.7.2 da página 103, foi mostrada a pequena participação da degradação anaeróbia pelos resíduos na geração dos GEE. Todavia, como foi visto no capítulo 4.6 na página 92, em determinadas situações seu aproveitamento pode contribuir com 25% da demanda de energia de uma instalação.



Visando retratar a condição em que se pretende o desenvolvimento da recuperação e uso energético do biogás são traçadas considerações a respeito do manejo de resíduos no Brasil e no Estado de São Paulo. Este texto apresenta diferentes maneiras de se realizar estimativas de geração de biogás num LDRS ou numa ETAE. Considerando que as ETAE apresentam algumas particularidades. Uma instalação que trata efluentes industriais é diferente de uma que trata efluentes domésticos, foi escolhido como exemplo as indústrias cervejeiras para o desenvolvimento das estimativas.

Permite a estimativa de geração de metano as seguintes equações:

Equação 2 - Estimativa de geração de metano, página 39,

$$E = Popurb \times taxa \ RSD \times RSD_f \times FCM \times COD \times COD_F \times F \times 16/12$$

Equação 3 - Estimativa de geração de metano pelos resíduos sólidos, página 39,

$$Q_{T,x} = kR_x L_0 e^{-k(T-x)} \quad (\text{IPCC, 1.996})$$

Equação 4 - Estimativa de geração de metano no LDRS, página 40,

$$Q_T = \Sigma Q_{T,x} \quad (\text{IPCC, 1.996})$$

Equação 5 - Estimativa de geração de metano pelo LDRS, página 41,  
 $T = Pop_{urb} \times \%coleta \times TaxaRSD \times Idade \times 0,001$  (USEPA, 1.996)

Equação 6 - Geração de metano em um aterro, página 43,  
 $Q(Pop) = 36,4 \cdot Pop_{urb}$

Equação 7 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes domésticos, página 47 e  
 $E = Pop_{urb} \times taxaBOD_5 \times FET \times FCM \times MFEM - R$

Equação 8 - Estimativa de geração de metano pelos efluentes industriais, página 47  
 $E = Prod_{ind} \times FE_{c\ org} \times FET \times FCM \times MFEM - R$

Foi indicada a melhor aplicação para cada uma destas equações, sendo que a sua exatidão ainda depende de pesquisas de caracterização do resíduo, do biogás e da estrutura do LDRS.

Definindo as ferramentas disponíveis para estimativa de geração de biogás, prossegue-se no propósito de recuperá-lo energeticamente passando a discutir as máquinas térmicas, as diferentes condições de rendimento energético de cada uso, a emissão de poluentes por uma alternativa ou outra e a análise econômica dessa atividade.

As alternativas mais recomendadas são a geração de eletricidade por máquinas térmicas de combustão interna indicadas na Figura 33, página 62, para geradores acionados por motores ciclo Otto ou Diesel, na Figura 34, página 63 para geração de eletricidade por turbinas a gás e Figura 35, página 64, que sugere a recuperação do calor residual.

A análise econômica do aproveitamento do biogás é prejudicada pela dificuldade em se obter o preço da instalação, o contrato de fornecimento de energia elétrica, a tensão de geração, as exigências de garantia por parte do comprador, o custo do dinheiro e os CER. Estes fatores associados influenciam na viabilidade econômica de um projeto de recuperação de biogás. Deve-se destacar a impossibilidade de acrescentar à avaliação financeira os ganhos ambientais e sociais, como a racionalização do uso de recursos naturais, a geração de empregos, o desenvolvimento tecnológico e o incentivo ao correto gerenciamento ambiental que implica a possibilidade de ganhos adicionais pela recuperação do biogás.

Dentre as barreiras e incentivos à recuperação e uso energético do biogás destacam-se a experiência acumulada nas décadas de 70 e 80 quando o preço do petróleo incentivou o desenvolvimento de alternativas energéticas. O banco de dados desenvolvido pela CETESB, apresentado nos anexos 2, 3 e 4, é um incentivo para a viabilização desta prática. O risco da instalação é uma barreira que não pode impedir o desenvolvimento desta iniciativa.

Nos anos 90 a USEPA realizou estudos no Brasil avaliando o potencial de recuperação de biogás e identificou vários LDRS nas regiões metropolitanas das grandes cidades do Brasil.

Concluindo, o principal fator de incentivo e, ao mesmo tempo, barreira para a recuperação do biogás é o acesso ao recurso financeiro para esta prática. A Tabela 40 resume algumas das informações reunidas.

Linha de crédito	Juros	Carência (meses)	Prazo de amortização (meses)	Recebedor
PROCOP	TJLP+4,5%	36	60	Empresas de médio e grande porte
FNMA	Fundo perdido			Governo e ONGs
GEF	Fundo perdido			Governo e ONGs
BNDES	Dispõe de diferentes alternativas de financiamento que variam de acordo com cada projeto. Deve-se destacar que a mais importante agência de financiamento do país reconhece a importância da preservação ambiental levando isso em conta na concessão de crédito.			
CDM	Remuneração adicional pela mitigação de GEE com valores previstos desde US\$5/tC até US\$100/tC*.			

OBS: (\*) aguardando por aprovação das partes para entrar em vigor.

## 5.2 Conclusões

As estimativas de geração de biogás por LDRS e ETAE contém incertezas muito elevadas. As incertezas relacionadas ao LDRS são maiores, pois há uma grande diversidade de composições de resíduos sendo gerados no Brasil. O manejo do LDRS é outro fator que interfere na estimativa e não está equacionado.

Com relação às ETAE, os processos de produção em algumas indústrias cervejeiras são relativamente estáveis e previsíveis. Esta preocupação se deve à necessidade de estabilidade na geração de efluentes e aos danos decorrentes da ocorrência de alterações bruscas no fluxo. Como se observa na Figura 27 na página 49, a estabilidade no funcionamento de uma indústria, neste caso, deve ser interpretada como a regularidade na emissão dos seus efluentes líquidos, quanto à composição, vazão, temperatura e ausência de toxicidade. A consequência disso é a maior viabilidade de um projeto de recuperação energética de biogás.

Como foi visto no item 2.5 - Estação de tratamento anaeróbio de efluentes - ETAE, na página 44, estas instalações têm diversas vantagens quando comparadas às ETE convencionais. Todavia a ETAE é bastante sensível às variações na característica do efluente, podendo refletir em perda na eficiência de atividade anaeróbia, como por exemplo: a redução na temperatura pode inibir o metabolismo da população de bactérias, o aumento na velocidade de ascensão pode arrasta-las para fora do reator e o lançamento de uma substância tóxica pode matar a população de bactérias anaeróbias.

Portanto na ETAE, a estabilidade do processo define o êxito no tratamento anaeróbio dos efluentes e em consequência da recuperação e uso do biogás, uma vez que a sua geração está diretamente relacionada com a eficiência do tratamento, como foi visto na Figura 27 - Geração de biogás ( $m^3$ ) por efluentes ( $m^3$ ) - histórico.

Pode-se afirmar que a recuperação do biogás gerado pela ETAE, em relação à recuperação do biogás em um LDRS, tem uma tendência maior a ser bem sucedida pelas seguintes razões:

- O efluente industrial tem elevada concentração de carga orgânica, esta é constante e permanentemente monitorada em consequência do controle de processo que normalmente é praticado nesse tipo de empresa.
- Existe uma educação ambiental nesse tipo de empresa, voltada para a manutenção da operação da ETAE. Sem esta educação efluentes tóxicos podem ser lançados no fluxo, o que pode causar a morte das bactérias anaeróbias responsáveis pela degradação da carga orgânica dos efluentes.
- Nestas indústrias, normalmente o biogás é queimado, sendo que se não existe a intenção de seu aproveitamento no futuro, existe uma experiência fracassada de recuperação.

Por isso a recuperação do biogás tem maiores chances de ser bem sucedida se for desenvolvida em uma ETAE de cervejaria.

No Brasil identifica-se, pelo menos, cinco grandes grupos fabricantes de cerveja.

Considerando um dos grupos fabricantes de cerveja, que além da fabricação de cerveja, tem a fabricação de malte e refrigerantes, das suas 18 unidades (ANTÁRCTICA, 1.994) 16 utilizam tratamento anaeróbio totalizando 95% das vazões de projeto submetidas a tratamento anaeróbio.

O relatório anual de progresso da International Energy Agency IEA Bioenergy (NUTEK, 1.997) reconhece que há barreiras impedindo o aproveitamento do biogás gerado pela degradação anaeróbia de resíduos e que um caminho para reduzir estas barreiras é a realização de seminários divulgando e reunindo os potenciais participantes destes projetos.

### **5.3 Recomendações**

Considerando apenas os LDRS existentes a USEPA definiu alguns que podem ser explorados com a previsão de um potencial total de geração de 144MW no ano de 2007 reduzindo-se para a 69MW em 2.017, em consequência da natural redução da geração de biogás nestes LDRS (USEPA 1, 1997).

Os LDRS existentes no Brasil são considerados de alta geração de metano e, portanto, os mais interessantes economicamente (USEPA 1, 1997):

- Gramacho com máxima potência prevista de 30MW,
- Aterro Bandeirantes 20MW,
- Aterro São João 20MW,
- Aterro Lara 8MW e
- Aterro de Belo Horizonte 7MW.



**Figura 54 - LDRS no Brasil**

OBS:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1 - Bandeirantes (São Paulo, SP)        | 7 - Gramacho (Duque de Caxias, RJ) |
| 2 - Belo Horizonte (Belo Horizonte, MG) | 8 - Joinville (Joinville, SC)      |
| 3 - Biguaçu (Florianópolis, SC)         | 9 - Jóquei (Brasília, DF)          |
| 4 - Caximba (Curitiba, PR)              | 10 - Lara (Mauá, SP)               |
| 5 - Delta (Campinas, SP)                | 11 - Santa Bárbara (Campinas, SP)  |
| 6 - Goiânia (Goiânia, GO)               | 12 - São João (São Paulo, SP)      |
|   | 13 - Zona norte (Porto Alegre, RS) |

Fonte: USEPA, 1.997

Desenvolver uma única unidade bem sucedida de recuperação de biogás em uma ETAE de cervejaria permitirá que projetos muito parecidos sejam adaptados e desenvolvidos dando início a um mercado de elevado potencial de êxito e em condições de expansão para todo o país.

Recursos do programa Avança Brasil (MCT, 2.000) podem ser dirigidos para o desenvolvimento deste protótipo e para a divulgação e incentivo de iniciativas nesse sentido. Deve-se considerar que o sucesso da recuperação e uso energético de biogás só é possível em instalações que já funcionam satisfatoriamente, seja ela um LDRS ou uma ETAE, portanto, a recuperação do biogás é um estímulo ao gerente ambiental para que

sua instalação opere adequadamente, remunerando a instalação com os recursos da energia recuperada.

**Tabela 41 - Companhias cervejeiras no Brasil**

Cervejaria	Município	Estado	ETA/E	Vazão de biogás (t/ano)
Kaiser	Feira de Santana	BA	RAFA	n.d.
Kaiser	Brasília	DF	RAFA	n.d.
Kaiser	Ponta Grossa	PR	RAFA	2.628
Kaiser	Queimados	RJ	RAFA	1.321
Kaiser	Gravataí	RS	RAFA	191
Kaiser	Araraquara	SP	RAFA	452
Kaiser	Jacareí	SP	RAFA	3.640
Antártica	Pirapora	MG	RAFA	n.d.
Antártica	João Pessoa	PB	RAFA	n.d.
Antártica	Olinda	PE	RAFA	n.d.
Antártica	Teresina	PI	RAFA	n.d.
Antártica	Rio de Janeiro	RJ	RAFA	2.432
Antártica	Natal	RN	RAFA	1.742
Antártica	Estrela	RS	RAFA	298
Antártica	Ribeirão Preto	SP	RAFA	756
Antártica	Jaguariuna	SP	RAFA	693
Brahma	Juatuba	MG	RAFA	n.d.
Brahma	Cuiabá	MT	RAFA	n.d.
Brahma	Rio de Janeiro	RJ	RAFA	n.d.
Brahma	Estância	SE	RAFA	n.d.
Brahma	Agudos	SP	RAFA	n.d.
Brahma	Jacareí	SP	RAFA	2.663
Skol	Brasília	DF	RAFA	n.d.
Skol	Guarulhos	SP	RAFA	336
Belco	São Manuel	SP	Lagoa anaeróbia	n.d.
Schincariol	Alagoinhas	BA	RAFA	n.d.
Cintra	Mogi-Mirim	SP	RAFA	n.d.

Fonte: VIEIRA et al., 1.999.

As ações da CETESB, onde se observa apoio à recuperação do biogás. As iniciativas do governo, como ocorre na SVMA-SP, SABESP e MCT, as pesquisas da universidade, como ocorre no PIPGE-USP e COPPE-RJ e finalmente a indústria devem coordenar-se visando desenvolver mecanismos efetivos de apoio a qualquer iniciativa de recuperação de biogás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As informações referenciadas no texto encontram-se listadas a seguir. O material não encontrado em livrarias ou bibliotecas foi separado e classificado como notas, ali estão incluídas notas de aulas, apostilas, e documentos não publicados. Foram listados ainda, sites de Internet que continham informações relevantes na data em que foram consultados. Finalmente, nos anexos, é apresentada uma pesquisa bibliográfica que reúne as publicações do acervo da biblioteca da CETESB que contêm as palavras chave: resíduo, lixo, efluente, biogás, efeito estufa e energia.

**Bibliografia**

- AAE, Agência para Aplicação de Energia, Boletim Informação sobre uso racional de energia, ano 11, edição 46, março/abril de 1.998, página 4.
- ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e equipamentos, Guia de compras - Equipamentos para saneamento, ABIMAQ, Departamento Nacional de equipamentos para saneamento básico e ambiental, São Paulo, 1.998, 73 páginas.
- ALMANÇA, R. A., Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia elétrica (estudo de caso), dissertação de mestrado, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Programa Interunidades em Energia, USP, 1.994.
- ALVES, J. W. S. e VIEIRA, S. M. M., Inventário Nacional de emissões de metano gerado pelos resíduos no Brasil – Enabling Brazil to fulfill its commitments to the United Nations on Climate Change, Relatório de atividades do projeto Bra/95/G31, CETESB, São Paulo, 1.998, 76 páginas.
- ANTÁRTICA - Companhia Antártica Paulista, Tratamento de efluentes em cervejarias, *in* Seminário sobre tratamento de efluentes industriais, International Life Sciences Institute, Rio de Janeiro, 1.994, não paginado.
- ARTEAGA, J. M. , Educación para el desarrollo sustentable *in* LA FUENTE, H. D., Gestión ambientalmente adecuada de residuos solidos - Un enfoque de política integral, CEPAL/GTZ, Chile, 1.997, da página 315 até 354.
- BEDUSCHI, L. C., ORTOLANI A. F. e COAN, O., Considerações gerais sobre a estação da UNESP de biogás automotivo a baixa pressão, *in* II encontro sobre biogás automotivo - Coletânea dos trabalhos apresentados, EMBRATER, Serviço de extensão rural, EMBRATER/UNESP, Jaboticabal, 1.985, da página 45 até a página 49.
- BELLO-MENDOZA, R. & SHARRATT, P.N., Analysis of retention time distribution RTD curves in an anaerobic digester with confined gas mixing using a compartment model, *in* V Taller y Seminario Latino americano Tratamiento anaerobio de aguas residuales/Fifth Latin-American workshop seminar Wastewater anaerobic treatment, Chile, não paginado, 1.998.
- BODEN, T. A., KANCIRUK, P. e FARREL, M. P., Trends'90 - A compendium of data on global change, The Carbon Dioxide Information Analysis Center - Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1.990, página 89.
- BRAILE, P.M., Manual de tratamento de águas residuárias industriais, CETESB, São Paulo, 1.979, páginas 219 a 231.
- BRILHANTE, O.M., CALDAS, L.Q., Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental, Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, 1.999.
- BRITO, A. S., Usina para purificação e abastecimento de veículos com biogás, *in* II encontro sobre biogás automotivo - Coletânea dos trabalhos apresentados,

- EMBRATER, Serviço de extensão rural, EMBRATER/UNESP, Jaboticabal, 1.985, da página 41 até a página 44.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde - Prolixo, CETESB, São Paulo, 1.992.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Metodologia para a classificação de instalações industriais quanto a periculosidade - setembro de 1.996, CETESB - Setor de Análise de riscos - ERAA, São Paulo, 1.996, 40 páginas.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Manual de orientação para a elaboração de estudo de análise de riscos 1.994, CETESB - Setor de Análise de riscos - ERAA, São Paulo, 1.994, 54 páginas.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, O novo PROCOP: Financiando a produção mais limpa, PROCOP - Programa de controle de poluição, folheto, não datado.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL & PRONACOP - PROGRAMA NACIONAL DE CONTROLE DE POLUIÇÃO, Diagnóstico de poluição industrial, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Pernambuco, Ceará, Maranhão, Pará e Goiás, CETESB, 1.988/1.989, (11 volumes).
- CORTEZ, L. A. B e LORA, E. S., Tecnologias de conversão energética em biomassa, série sistemas energéticos volume 2, Editora da Universidade do Amazonas/Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Manaus, 1.997, 540 páginas.
- CRAVEIRO, A. et al., Subsídios preliminares para definição de uma política tecnológica em digestão anaeróbia - Programa Estadual de biotecnologia - Subprograma de digestão anaeróbia - Roteiro para discussão, Secretaria da Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, Departamento de Ciência e Tecnologia, São Paulo, 1.985. (34 páginas)
- DEDINI. Projeto biogás: Piracicaba, revisão 3. Piracicaba, DEDINI, 1.992. 38 páginas
- DERÍSIO, J.C., Introdução ao controle de poluição ambiental, primeira edição, CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e PROCOP - Programa de controle de poluição industrial, São Paulo, 1.992, (página 80).
- DUFFY, T. E., Heat recovery for steam injected gas turbine applications *in* Power Gen'96 - International, 9<sup>th</sup> International conference & exhibition for the power generating industries in December, 4-6, 1.996, Florida, USA, page 461 to 480.
- DUTEMPLE, R., A participação internacional, *in* Gasoduto Brasil - Bolívia - Desenvolvimento do gás natural (artigos extraídos de palestras apresentadas no seminário Viabilização do gasoduto Brasil - Bolívia e desenvolvimento do gás natural, FIESP/CIESP, 1.996 (páginas 50 a 57).
- EASTOP, D. R., CROFT, D. R., Energy efficiency - for engineers and technologists, T D Eastop & D R Croft, Longman, Malaysia, 1.990, pages 94 to 104.
- ECOTRAFFIC Åke Brandberg, The life of fuels - motor fuels from to end use - An energy and emissions systems study of conventional and future options, Ecotraffic, Stockholm, 1.992, 179 páginas.
- ETSU, Landfill gas - Development guidelines, first publish, Department of Trade and Industry, Inglaterra, 1.996
- FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELECK, H. and MARA, D. D.: Sanitation and Disease - *Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, Pub. World Bank, John Wiley & Sons, USA, 1.983, página. 8.

- FERNÁNDEZ, E. & MONTALVO, S. J., Biological method for removal of H<sub>2</sub>S from biogas, *in* V Taller y Seminario Latino americano Tratamiento anaerobio de aguas residuales/Fifth Latin-American workshop seminar Wastewater anaerobic treatment, Chile, não paginado, 1.998.
- FERREIRA, A. C. M., Influência dos agentes tóxicos presentes nos efluentes industriais nos processo que utilizam tratamentos biológicos, *in* Seminário sobre tratamento de efluentes industriais, International Life Sciences Institute, Rio de Janeiro, 1.994, não paginado.
- FUNDAÇÃO IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Anuário estatístico Nacional, Rio de Janeiro, 1.996, não paginado.
- FURTADO, J.S., Prevenção de resíduos na fonte & Economia de água e energia, texto disponível no site [www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producao/limpa](http://www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producao/limpa), Programa de produção limpa do Departamento de Engenharia de Produção & Fundação Vanzolini, versão de novembro de 1.998, 196 páginas.
- FURTADO, J.S., Novas políticas e a indústria social e ambientalmente responsável, texto disponível no site [www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producao/limpa](http://www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producao/limpa), versão sem data acessada em abril de 1.999, 33 páginas.
- GASTALDONI, I., O biogás como combustível automotivo *in* II encontro sobre biogás automotivo - Coletânea dos trabalhos apresentados, EMBRATER, Serviço de extensão rural, EMBRATER/UNESP, Jaboticabal, 1.985, da página 61 até a página 69.
- GESP - Governo do Estado de São Paulo, Meio ambiente – Instrumentos econômicos e financeiros, Secretaria do Meio Ambiente, CPLA, Grupo técnico de legislação ambiental, Papergraf, São Paulo, 1.998, 263 páginas.
- GESP 2 - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio ambiente – Inventário de fontes nacionais e internacionais de cooperação para projetos ambientais do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente - Coordenadoria de Planejamento Ambiental - CPLA, Paper Express, São Paulo, 1.998, 50 páginas.
- GESP 3 - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Entendendo o meio ambiente, Coordenação Fábio Feldmann, São Paulo, SMA, 1.997, 51 páginas.
- GESP 4 - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio ambiente, Guia Didático sobre o Lixo no Mar, Governo do Estado de São Paulo, Novembro de 1.997.
- GESP 5 - Governo do Estado de São Paulo, Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares, Relatório Síntese, Volume 1, Governo do Estado de São Paulo, Março de 1.998.
- GESP 6 - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio ambiente, Diário Oficial do Estado de São Paulo - suplemento, Imprensa oficial do Estado, volume 108, n.º 62, 1º de abril de 1.998, 43 páginas.
- GESP 7 - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio ambiente, Tratados e Organizações internacionais em matéria de meio ambiente, Série "Entendendo o meio ambiente" volume I, 2ª.edição com alterações, Imprensa oficial do Estado, 1.997.
- GOLDEMBERG, J., Energia, meio ambiente & desenvolvimento, tradução de André Koch do livro Energy, environment and development, EDUSP, São Paulo, ISBN 85-314-0452-5, 1.998. página 164.
- GOLDEMBERG, J., Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento, Tradução André Koch, Editora da Universidade de São Paulo, 1.998, 234 páginas.
- GOLDEMBERG, J. O Efeito estufa - S.O.S. Planeta Terra, Editora Brasiliense, São Paulo, ISBN 85 11 28005 7, 1.990, página 11.

- GOLDEMBERG, J., JOHANSSON, T.B., REDDY, A.K.N, WILLIAMS, R.H., Energia para o desenvolvimento, tradução de José R. Moreira, T. A. Queiroz, Editor, São Paulo, 1.988, 101 páginas.
- HESS, L. M. e CAVALCANTI, J. E. W. A., Tratamento de despejos de cervejaria, cópias xerox, 1.971, 15 páginas.
- HIGHAM, I., Economics of anaerobic digestion of agricultural waste - Technical summary, AEA Technology Environment, 13 páginas.
- HINIKER, M., Creating environmental partnerships: JI/AIJ project proposal guide – final draft 4.9, Climate Change Program, International Academy of the Environment, Geneva, 1.997, 118 páginas.
- HOUBRON, E., TORRIJOS, M., & CAPDEVILLE, B., An Alternative use of biogas applied at the water denitrification, *in* V Taller y Seminario Latino americano Tratamiento anaerobio de aguas residuales/Fifth Latin-American workshop seminar Wastewater anaerobic treatment, Chile, não paginado, 1.998.
- IPCC - International Panel on Climate Change, Revised 1.996 IPCC guidelines for national greenhouse inventories: Workbook, IPCC, França, 1.996, (xerox do capítulo 6 "waste" de 6.1 a 6.37).
- IPCC - International Panel on Climate Change, IPCC guidelines for national greenhouse inventories: Workbook, IPCC, França, 1.995, não paginado.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate change 1995, The Science of Climate Change - Summary for Policymakers, Approved by working group I of the IPCC and accepted by the IPCC and Technical summary of the working group I report accepted by the IPCC*, Office Graphics Studio, Madrid, página 26, 57 páginas, 1.995.
- IPI - Institute for Policy Implementation, Post Kyoto Strategies - The CDM, International cooperation and private sector participation - A report based on the proceedings of The Brazil - U.S. Aspen Global Forum, IPI, Graduate School of Public Affairs, University of Colorado at Denver and American Chamber of Commerce / Sao Paulo, Denver, 1.998, 38 páginas.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado, coordenação: Niza Silva Jardim, 1.a edição, São Paulo, IPT/CEMPRE (Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem), 1.995.
- JENS, C. P., Aspectos ambientais da utilização do gás natural - Palestra apresentada no III Congresso Brasileiro de gás, Relatório CETESB, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia, São Paulo, 1.992, 7 páginas.
- KELLY, M., Detendo o aquecimento global, *in* Aquecimento Global - O relatório do Greenpeace, traduzido por Alexandre Lisovsky, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1.992, da página 76 até 101).
- KHALIL, M. A. K., RASMUSSEN, R. A., Global - Atmospheric CH<sub>4</sub>, *in* Trends'90 - A compendium of data on global change, The Carbon Dioxide Information Analysis Center - Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1.990, página 146.
- LEGGETT, J., Aquecimento global - O relatório do Greenpeace, A natureza da ameaça do efeito estufa, traduzido por Alexandre Lisovsky, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1.992, páginas de 12 até 39.
- MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, Efeito Estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima, Departamento de Relações Institucionais do MCT, Brasília, 1.999, 38 páginas.

- MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, Protocolo de Quioto - à Convenção sobre mudança do clima, texto editado e traduzido pelo MCT, Brasília, não datado, 34 páginas.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, Orientações básicas par apresentação de projetos - demanda espontânea, Fundo Nacional do Meio Ambiente, 1.999, 16 páginas.
- MME - Ministério das Minas e Energia, Balanço Energético Nacional, Brasília, 1.996, 150 páginas.
- METCALF & EDDY, INC., Wastewater engineering - Treatment, disposal and reuse, third edition, McGraw-Hill, Inc, New York, 1.991, (páginas 1 a 13).
- MACHADO, N. R. C. F., KROSNOWSKI, L. H., Desativação de carvão ativado animal e vegetal, in II encontro sobre biogás automotivo - Coletânea dos trabalhos apresentados, EMBRATER, Serviço de extensão rural, EMBRATER/UNESP, Jaboticabal, 1.985, da página 11 até a página 17.
- MOURA, L. A. A., Qualidade e gestão ambiental: sugestões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas, São Paulo, Editora Oliveira Mendes, 1.998, 228 páginas.
- NAGEL, P., URTUBIA, A., CHAMY, R. e SCHIAPPACASSE, M., Toxidad metanogénica y biodegradabilidad anaerobia de productos químicos utilizados en una industria cervecera, in V Taller y Seminario Latino americano Tratamiento anaerobio de aguas residuales/Fifth Latin-American workshop seminar Wastewater anaerobic treatment, Chile, não paginado, 1.998.
- NAKICENIVIC, N., GRÜBLER, A., MCDONALD., A. Global Energy - Perspectives, International Institute for Applied Systems Analysis, Cambridge University Press, United Kingdom, 1.998.
- NOGUEIRA, L. A. H., Biodigestão - A alternativa energética, Editora Nobel, São Paulo, 1.986, 93 páginas.
- NUTEK, IEA Bioenergy - Annual report 1.996, Nutek, Stockholm, 1.997, 45 páginas.
- OGUNLESI, A. O., Viabilidade do projeto, in Gasoduto Brasil - Bolívia - Desenvolvimento do gás natural (artigos extraídos de palestras apresentadas no seminário Viabilização do gasoduto Brasil - Bolívia e desenvolvimento do gás natural, FIESP/CIESP, 1.996 (páginas 24 a 32).
- OLIVEIRA, A., Energia e sociedade, in CIÊNCIA HOJE, vol. 5, n.º 29, março de 1.987 (ISSN 0101-8515).
- PATTERSON, M., What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues, Energy policy, vol. 24, n.º 5, Elsevier Science Ltd., Great Britain, pages 377 to 390, 1.996.
- REINFELD, N. V., Sistemas de reciclagem comunitária - Do projeto à administração, tradução de José Carlos B. dos Santos, Editora Makron Books, São Paulo, 1.994, 285 páginas.
- REINOLD, M., Manual prático de cervejaria - 1ª edição, Aden Editora, São Paulo, 1.997, 214 páginas.
- RING, R., Filtration solutions for sour fuels - Energy recovery cogeneration systems, Nelson Division Exhaust & Filtration Systems - Wisconsin, USA, Reprinted from July-august - 1.987, Diesel & Gas Turbine Worldwide, cópia xerox, 2 páginas.
- RUSSOMANO, V.H., Introdução à administração de energia na indústria, Pioneira/EDUSP, São Paulo, 1.987, 262 páginas.
- SALVADOR, N.N.: *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, págs. 03 - 22, 1.991.

- SCHNEIDER, S. H., Aquecimento global - O relatório do Greenpeace, A ciência da modelagem do clima e uma perspectiva do debate sobre o aquecimento global, traduzido por Alexandre Lissovsky, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1.992, página 59.
- SICCT - SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Subsídios preliminares para definição de uma política tecnológica em digestão anaeróbia - Roteiro para discussão, São Paulo, 1.985, 34 páginas.
- SILVA, A. M. B., Perspectivas de utilização da cogeração a gás em empreendimentos do setor terciário da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de mestrado, COPPE, UFRJ, 1.997.
- SHREVE, R. N., BRIJK JR., J.A., Indústrias de processos químicos, 4<sup>a</sup>. edição, Tradução de Horácio Macedo, Editora Guanabara Dois, 1.980, página 479
- SOARES, H. M., Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), Dissertação de mestrado em química, Escola Politécnica da USP, Orientador Professor Doutor Pedro Além Sobrinho, São Paulo, 1.990, 245 páginas.
- SPIEGEL, M.R., Estatística - Coleção Schaum, tradução de Pedro Cosentino, revisão Carlos José Pereira de Lucena, McGraw - Hill do Brasil, São Paulo, 1.976, página 403 e 407.
- STAUFFER B., FISCHER G., NEFTEL A., OESCHER H., Siple Station - Atmospheric CH<sub>4</sub> from ice cores, *in* Trends'90 - A compendium of data on global change, The Carbon Dioxide Information Analysis Center - Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1.990, página 144.
- TNO - Institute of Environmental and Energy Technology, Landfill gas, recovery and emissions, TNO report number R95-203, Netherlands, 1.995 (annex 1)
- TOMMASI, L.R., Estudo de impacto ambiental, CETESB/Terragraph, São Paulo, 1.994, páginas de 121 a 125.
- UNCED - CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, Agenda 21, tradução do Agenda 21 da United Nations Conference about Environment and Development (UNCED), Reprodução da Agenda 21 publicada no Diário Oficial da União, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 1.997, 383 páginas.
- UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e pelo Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, 1.996, 30 páginas.
- USAID - UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, Energy and sustainable development - The USAID role, editora não especificada, local de publicação não especificado, não datado, 12 páginas.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, A guide for methane mitigation projects - Gas to energy at landfills and open dumps, Draft jan/96, USEPA - Office of air and radiation, editors: Mark Orlic and Tom Kerr, 1.996, 67 páginas.
- USEPA 1 - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Characterization of landfill sites in Brazil for landfill gas recovery - Business focus series, prepared by United States Agency International Development, Office of Energy and Technology Center for Environment, Bureau for Global Programs, Field Support and research., 1.997.
- USEPA 2 - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in Sao

- Paulo, Brazil, Public review draft, USEPA - Methane Branch, Washington, 1.997, não paginado.
- USEPA 3 - UNITENVIRONMENT, STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Energy project landfill gas utilization software (E-Plus) version 1.0, EPA - Landfill methane outreach program, USEPA - Methane Branch, prepared by Dana Slevin e Ranjan Banerji - ICF consulting Associates, Inc., January 1.997, 67 páginas e disquete com software.
- VIEIRA, S.M.M., Tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo - reator UASB, Tese de doutorado em Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública da USP, 1.996, (página 22).
- VIEIRA, S. M. M. e ALVES, J. W. S., Anaerobic treatment and the greenhouse gas emissions reduction, *in* V Taller y Seminario Latino americano Tratamiento anaerobio de aguas residuales/Fifth Latin-American workshop seminar Wastewater anaerobic treatment, Chile, não paginado, 1.998.
- VIEIRA, S. M. M., AUGUSTO, A. C., MIDAGLIA, C. L. V., Banco de dados de locais de tratamento anaeróbio de resíduos no Brasil / Inventário nacional de emissões de metano gerado pelos resíduos no Brasil – Enabling Brazil to fulfill its commitments to the United Nations on Climate Change, Relatório de atividades do projeto Bra/95/G31, CETESB, São Paulo, 1.998, 145 páginas.
- VIEIRA, S. M. M., LUCON, O. S., ALVES, J. W. S, Promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial sewage and wastes - Draft country report - Brazil, relatório elaborado para a Naturgerechte Technologien Bau-und Wirtschaftsberatung GmbH - TBW e Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ, pela CETESB, Divisão de Questões Globais, São Paulo, 1.996, 138 páginas.
- VIEIRA, S. M. M., SOUZA, M. E., CARVALHO, J. L., GARCIA JR, A. D. PACHECO, C. E. M., e BORBA, W., Tratamento de esgotos por digestão anaeróbia, *in* Ambiente, volume 1, n.º 3, São Paulo, 1.987, páginas 132 a 137.
- VON SPERLING, M., Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, volume 1, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, 1995, página 62, 240 páginas.
- WEINER, J., Os próximos cem anos - Em nossas mãos o destino da Terra, Tradução Maria Inês Rolim, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1.992, 278 páginas.
- WCED - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, Nosso Futuro Comum, 2ª edição, tradução de "Our common future do World Committee about Environment and Development (WCED)", Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1.991, 430 páginas.
- WRI - World Resources Institute, A Guide to the global environment - The urban environment 1.996-97, Oxford University Press, Oxford, 365 págs., 1.996.

## Notas

- BRAGA JR, B. P. F., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., VERAS JR, M. S., PORTO, M. F. A., NUCCI, N. L. R., JULIANO, N. M. A., EIGER, S., Introdução à engenharia ambiental, Apostila do curso de engenharia química, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da USP, 1.994, páginas de 169 a 224)

- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatórios de sistemas de tratamento de efluentes, Agência Ambiental de Jacareí - CDJA, não paginado, não publicado, 2000.
- CETESB - Notas do Setor de resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde (ERTR) da CETESB, 1997.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, notas de trabalho do Setor de Efluentes Líquidos, Divisão de Tecnologias de Fontes de Poluição da CETESB, não paginado, não publicado, sem data.
- COAN, O., conversa por telefone com o professor do departamento de Engenharia Rural da UNESP de Jaboticabal, Osvaldo Coan, telefone (015 16) 323 2500.
- DELL'ANGELICA, J.C., SINÓPOLI, C. G., C. y HAEDO, R., Uso de biogás em motores, in V Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento anaerobio de aguas residuales", Fifth Latin-American workshop-seminar "Wastewater anaerobic treatment", Chile, 1.998. 16 páginas.
- FOLHA DE SÃO PAULO - FSP, Indústrias paulistas se rendem ao gás, em 27 de fevereiro de 2000, página 2-8.
- GARCIA, J.R.A.: *Entrevista cedida por telefone à CETESB* pelo Químico da Cia Vigor S.A., São Paulo, 1.997.
- GAZETA MERCANTIL - GM 1, Novas termelétricas gerarão 9,4 mil MW até 2003, em 13 de janeiro de 2000, página A-9.
- GAZETA MERCANTIL - GM 2, Petrobras define lista de novas termelétricas, em 20 de janeiro de 2000, página A-6.
- ETSU, Notas de aula, august, Inglaterra, 1.988.
- JETRO, Toward the creation of a new global environment, editora e local de publicação não declarados, não datado, 36 páginas.
- KANN, Z., Concessão da distribuição de gás canalizado no Estado de São Paulo, Comissão de serviços públicos de energia, palestra apresentada no seminário GÁS 2.001, A cadeia de gás no Brasil e a geração de novos negócios em 24 e 25 de maio de 2000.
- KESSLER T., Mensagem de fax, Dados de produção de biogás pelo tratamento de lodos na ETE Barueri, São Paulo, 2.000.
- NOGUEIRA, L. A. H., Energia: Conceitos e definições - Apostila 1 do COENE - Curso tecnológico de otimização energética, PROCEL, Ministério de Minas e Energia, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, não datado, (páginas de 1 a 27)
- MARTINS, A.R.S., Uso racional de energia térmica - Apostila 5 do COENE - Curso tecnológico de otimização energética, PROCEL, Ministério de Minas e Energia, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, não datado, (páginas de 131 a 191)
- MIGUEZ, L. A. D., A Visão do Brasil sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, resumo do discurso apresentado no seminário de avaliação do COP4, realizado no IEA-USP, 1.998, 3 páginas.
- POWERTECH DO BRASIL - Powertech do Brasil - Energia & Sistemas Ltda., Carta-Estimativa de custos de 01 de setembro de 1.999 do Eng. Zung Che Chu.
- STEWART, G. R., Energy: warming the earth and the atmosphere, cópia xerox do capítulo 3, page 62.

## CD-ROM

- MICROSOFT, Office, texto eletrônico original gerado por software da família Office.
- MICROSOFT, Windows, plataforma operacional de trabalho Windows.

FERREIRA A.B.H., Dicionário Eletrônico AURÉLIO 2.0, Baseado no Novo dicionário da língua Portuguesa de Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, Editora Nova Fronteira, Lexikon Informática, 1.996.

### Sites de Internet

- AG - AMBIENTE GLOBAL, <http://www.ambienteglobal.com.br> em 08/03/1.999.
- AJAX ENGINES, [http://dSPACE.dial.pipex.com.town.terrace/aef98\\_sourgas.html](http://dSPACE.dial.pipex.com.town.terrace/aef98_sourgas.html) em 23/05/1.999.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, <http://www.anp.gov.br> em 29/05/2000.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, <http://www.cetesb.br>, em 08/03/1.999.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, <http://www.bndes.gov.br>, em agosto de 2.000.
- EDL - ENERGY DEVELOPMENTS, Energy developments is an independent power producer and equipment packager, <http://www.edl.com.au>, 2000.
- GREENPEACE, Greenpeace report - O que é produção limpa?, texto disponível para download no site <http://www.greenpeace.org>, 1.997, em 12/06/1.999.
- GTZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT, [http://gate.gtz.de/biogas/AF\\_biogas.html](http://gate.gtz.de/biogas/AF_biogas.html), Information and Advisory Service on Appropriate Technology - ISAT - GTZ, Biogas, em 20/03/2000.
- MCT- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Kyoto Protocol, Conference of the Parties Third session, Kyoto, December, 1.997, <http://www.mct.gov.br/GABINETE/CPMG/CLIMATE/PROGRAMA/INGL/LOZA01.HTM> em 17/04/1.998.
- MCT(2)- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, A Comunicação Nacional, <http://www.mct.gov.br/GABINETE/CPMG/CLIMATE/PROGRAMA/PORT/homeclim.htm> em 08/03/1.999.
- PETROBRAS, PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., <http://www.petrobras.br> em 08/03/1.999
- SESP - SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, <http://www.energia.sp.gov.br>, em agosto de 2.000.
- UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM, <http://www.undp.org.br>, em 15/09/1.999.
- UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, <http://www.unfccc.org/fccc/docs/protintr.html> em 01/04/1.998
- UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, <http://www.unfccc.org> em 29/03/1.999.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY, Climate change, arquivo para download no site da EPA: <http://www.epa.gov>, em 1.998.

## **Anexos**

**Anexo 1 - Textos relacionados ao tema**

- ACARESC, Santa Catarina. Passos para construção do biodigestor modelo indiano. Florianópolis, 1.984. 17 páginas
- ACEC. As águas usadas industriais: uma nova fonte de energia - o tratamento por via de fermentação anaeróbia. Bélgica (BE), ACEC, s.d. 11 páginas
- AGENCIA FEDERAL DEL MEDIO AMBIENTE DE ALEMANIA, Tratamiento de estiércol líquido en instalaciones de biogas. San Jose, GTZ, 1.994. 31 páginas
- ALMANÇA, R. A., Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia elétrica - estudo de caso. São Paulo, USP, 1.994. 241 páginas
- ALONSO, L. R., Produção de biogás a partir do tratamento de esgotos. São Paulo, 1.984. 30 páginas
- BARTLETT, D.C. Digester gas: an energy resource. Stabilization D. Sewage Sludge, 017. s.L. s.d. 17 pages
- BATISTA, L., Fernandes. Construção e operação de biodigestores: modelo indiano. Brasília, EMBRATER, 1.981. 27 páginas (Series Manuais, 024)
- BRAILE, P. M., Controle de despejos industriais, CETESB, São Paulo, 1.971. 223 páginas.
- BRAILE, P. M.; HESS, M. L.; BARNES, G. E., Tratamento e recuperação de despejos industriais. Wupperverband (DE), SUSEME, sem data não paginado.
- BUREN, E. A. V., The Chinese development of biogas and its applicability to east Africa. Nairobi (KE), UNEP, 1.979. 13 pages
- CAMPOS, J. F. F.; ORTH, M. H. A.; LINDENBERG, R. C., Energia alternativa proveniente do lixo *in* Congresso Bras. de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, CETESB, 1.981. 20 páginas.
- CANTANHEDE, A. L. G., SILVA, E.M.R., MONTEIRO, J. H. R. P., Recuperação de gases de aterro sanitário do Caju e sua utilização em veículos da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, COMLURB, 1.985. 60 páginas.
- CANTANHEDE, A. L. G.; GIMENO, A.; GOMES, A., P., Aproveitamento do potencial energético de resíduos sólidos no Rio de Janeiro, *in* Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Santo Domingo, Rio de Janeiro, CEG/COMLURB, 1.978. 61 páginas
- CETESB, Nota técnica sobre tecnologia de controle: fabricação de cervejas e refrigerantes, São Paulo, CETESB, 1.992. 27 páginas. (v.24)
- CETESB, São Paulo. Recuperacion de gas metano de relleno sanitario. São Paulo, CETESB, 1.982. 133 páginas
- CHYNOWETH, D. P.; ISAACSON, R., Anaerobic digestion of biomass. London, Elsevier Applied Science, 1.987. 279 pages
- DANESE, M., Geração e utilização de biogás. São Paulo, ABACE, 1.981. 21 páginas
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. Methods for the examination of waters and associated materials: the analysis of sludge digester gas (1.979 version). London, HMSO, 1.980. 21 pages
- DIAS, M. S. R. C., FRANCISCO Jr., R., COTAIT, N., Partida e operação do primeiro digestor anaeróbio de fluxo ascendente para o tratamento de efluentes de cervejarias, Revista do couro, 16 (75) : 50-54, julho - agosto, Rio Grande do Sul, 1.990, 4 páginas.
- EGGELING, G.; STEPHAN, B., Biogas in the peoples Republic of China. Bremen (DE), 1.971. 63 pages

- EMBRATER, Brasília. Bibliografia sobre biogás: atual. 2.ed. Brasília, EMBRATER, 1.984. 50 páginas
- EMBRATER, Encontro sobre biogás automotivo: coletânea dos trabalhos apresentados, Jaboticabal, 1.985, EMBRATER, 1.986. 102 páginas
- FEEMA, Rio de Janeiro. Utilização de resíduos de favelas na produção de biogás para uso comunitário. Rio de Janeiro, FEEMA, 1.983. 60 páginas
- FERRERO, G. L., FERRANTI, M.P.; NAVEAU, H. Anaerobic digestion and carbohydrate hydrolysis of waste. London, Elsevier Applied Science, 1.984. 517 pages
- GASI, T. M. T.; CONCEIÇÃO N., J., FERREIRA, E.F., Biodigestão anaeróbia do aguapé: levantamento da literatura e ensaios preliminares de hidrólise. São Paulo, CETESB, 1.986. 80 páginas
- GOMES, I. C., Aspectos energéticos e aproveitamento do gás de aterros sanitários, *in* Seminário sobre Aterros Sanitários. São Paulo, COMGAS, 1.981. 16 páginas
- GUNNERSON, C. G.; STUCKEY, D. C. Integrated resource recovery: aerobic digestion - principles and practices for biogas systems. Washington , World Bank, 1.986. 155 pages
- HESS, M. L. e CAVALCANTI, J.E.W. A., Tratamento de despejos de cervejaria. PLANIDRO, São Paulo, 1.971. 32 páginas.
- HOESLE, U., Biogas technology and site-oriented agriculture. s.L. s.d. 2 pages
- IPT, São Paulo. Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão. São Paulo, IPT, 1.982. 2v.
- IPT, São Paulo. Determinação de ácidos voláteis. São Paulo, IPT, 1.982. n. p.
- ISWA. INTERNATIONAL DIRECTORY OF SOLID WASTE MANAGEMENT, 1.997-8: the ISWA yearbook; Risk management for landfill disposal of solid waste; United we stand - divided use fall; Waste minimization using economic instruments: successful case studies; Biogas utilization: trace component problems and solution; Side loading refuse collection vehicles: a new groups breaking product; From transfer station to integrated waste processing facilities: a conceptual evolution; Biological waste treatment techniques from an ecological view point; Utilization of sewage sludge in biological reclamation of fly-ash dumps; Composting and biological drying: a bridge in next century for advanced organic waste treatment. Denmark (DK), ISWA, 1.997. 568 pages
- JI-QIN N., NYNS, E.J., Biomethanation: a developing technology in Latin America. Brussels, Catholic University of Louvain/BORDA, 1.993. 286 pages
- KONZEN, E. A. Manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia, EMBRAPA, 1.983. 32 páginas
- LIDON, B., SOLA, G. Application du biogaz a la petite irrigation. Ouagadougou (HV), CIEH, 1.982. 82 pages (3 maps)
- LYRA, M. S., Biodigestão, *in* Seminário sobre Geração e Utilização de Biogás. São Paulo, CNI/ABACE, 1.981. 26 páginas.
- MARCHAIM, U. Anaerobic digestion of agricultural wastes the economics lays in the effluent uses. Israel (IL), s.d. 12 pages
- MARCHAIM, U., Project NEFAH: more energy and production from agricultural wastes. s.L. 1.981. 4 pages
- MCGARRY, M. G.; STAINFORTH, J., Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China. Ottawa (CA), IDRC, 1.978. 94 páginas.
- MENEZES, M.A.A. Estação móvel para beneficiamento de gás de lixo destinado ao uso veicular. Rio de Janeiro, KOMPAC, 1.985. 15 páginas.

- MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA, O biogás e sua tecnologia, Rio de Janeiro, CAEEB, 1.981. 36 páginas
- MULLER, K; RETTENBERGER, G., Bundesminister für Forschung und Technologie, RFA. Gasabsauge-und gasverwertungsanlagen an mulldeponien: anleitung zur entwicklung sicherheitstechnischer konzepte. Bonn (DE), Bundesminister für Forschung und Technologie, 1.986. 183 pages
- MUNIZ, A.C.; BASTOS N., DEMETRIO; Z., BELA J. E., Aspectos da produção de biogás numa comunidade. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas da Marinha, 1.981. 15 páginas
- MYERS, N. Bio-energy for Kenya: some technical possibilities, *in* International Workshop on Energy and Environmental in East Africa, Nairobi, UNPE, 1.980. 7 pages.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Methane generation from human, animal, and agricultural wastes. Washington , 1.977. 131 páginas
- NOVAES, R. F. V., RECH, C. M., FIGUEIREDO, M. G., Microbiologia da digestão anaeróbia, CETESB, São Paulo, s.d. 21 páginas
- OBLADEN, N.L.; AISSÉ, M. M., A energia das biomassas: biodigestão, *in* Congresso Bras. de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curitiba, 1.983. 65 páginas.
- PESQUISA BIBLIOGRAFICA CETESB
- SECRETARIA DA INDUSTRIA, COMERCIO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, Subsídios preliminares para definição de uma política tecnológica em digestão anaeróbia - roteiro para discussão, Programa estadual de biotecnologia - sub-programa de digestão anaeróbia, 1.985. 34 páginas
- SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL, BRASÍLIA. Biogás: guia de informações e bibliografia básica. Brasília, SII/CII, 1.983. 2v.
- SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL, Biomassa, biocombustíveis, bioenergia. Brasília, 1.982. 100 páginas
- SILVA, N. A., Construção e operação de biodigestor: modelo chinês. 3.ed. Brasília, EMBRATER,
- SOARES, H. M., Digestão anaeróbia de efluentes de fabricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), Tese apresentada a: USP/EP. Mestrado, São Paulo, USP/EP, 1.990. 253 páginas.
- SOUZA, M. E., Produção de biogás. s.L., s.d. 1 página
- SOUZA, M.E., CETESB, São Paulo. Problemática da digestão anaeróbia dos resíduos industriais, *in* Simpósio Latino Americano sobre Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. São Paulo, CETESB, s.d. 38 páginas
- THOMAS, D.B.; TINOULALI, H.; CHINSMAN, B., La produccion de fertilizante de biogás como procedimiento de gestion del medio ambiente rural en Africa. s.L. s.d. 5 páginas
- TRIGO, O. Biogás oferece soluções energéticas baratas. s.L., 1.990. 8 páginas
- UNEP. Projeto biogás - Projeto Rondon. Jaboticabal, UNESP/CNPq, s.d. 34 páginas
- UNESCO. Analisis tecnologico de la generacion de biogas. Montevideo (UY), UNESCO, 1.984. 78 páginas
- UNIVERSIDAD DE CHILE. Diseno de un relleno sanitario para la extraccion y aprovechamiento del biogas. Santiago (CL), Universidade de Chile, 1.983. n.p
- VEIT, M. A., CORIOLANO, J.V., CONSOLMAGNO, M., Avaliação dos custos e benefícios no aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários. *In* Congresso Bras. de Engenharia Sanitária e Ambiental São Paulo, HICSAN, 1.983. 20 páginas.

- VIEIRA, S. M. M., AUGUSTO, A. C., MIDAGLIA, C. L. V., Inventario brasileiro de gás metano gerado por resíduos. São Paulo, CETESB, 1.999. 145 páginas
- VIEIRA, S. M. M., Digestor anaeróbio de fluxo ascendente. s.L., 1.988. 4 páginas
- VIJAYALEKSHMY, V. Biogas technology resource index. India (IN), Tata Energy Research Institute, 1.985. 125 pages

## **Anexo 2 - LDRS**

Sistema	Município	Estado	Tipo
Aterro Sanitário de Rio Branco - ACRE	Rio Branco	AC	Aterro Municipal
Aterro de Arapiraca	Arapiraca	AL	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Maceió	Maceió	AL	Aterro Controlado Municipal
Aterro Sanitário de Feira de Santana	Feira de Santana	BA	Aterro Municipal
Lixão do Cururupe	Ilhéus	BA	Lixão Municipal
Aterro Metropolitano Lauro Freitas	Lauro de Freitas	BA	Aterro Controlado Solução Conjunta
Aterro de Canabrava - Salvador	Salvador	BA	Aterro Controlado Municipal
Aterro Metropolitano Centro - Salvador	Salvador	BA	Aterro Controlado Solução Conjunta
Aterro Metropolitano Simões Filho	Simões Filho	BA	Aterro Controlado Solução Conjunta
Lixão de Vitória da Conquista	Vitória da Conquista	BA	Lixão Municipal
Aterro Metropolitano Oeste - Fortaleza	Fortaleza	CE	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Cariacica	Cariacica	ES	Aterro Municipal
Aterro Vila Nova (Serra)	Serra	ES	Aterro Controlado Municipal
Aterro de Materiais Inertes	Vitória	ES	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Vitória	Vitória	ES	Aterro Municipal
Limpeza Urbana	Anápolis	GO	Lixão Municipal
Aterro de Goiânia	Goiânia	GO	Aterro Municipal
Aterro Municipal de Luziânia	Luziânia	GO	Aterro Municipal
Lixeira Estrada do Arroz	Imperatriz	MA	Lixão Municipal
Aterro Sanitário da Ribeira	São Luís	MA	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Celular BR-040	Belo Horizonte	MG	Aterro Municipal
CTRS de Betim	Betim	MG	Aterro Municipal
Aterro Sanitário do Perobas	Contagem	MG	Aterro Municipal
Aterro de Divinópolis	Divinópolis	MG	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Varjão	Ibirité	MG	Lixão Municipal
Aterro de Ipatinga	Ipatinga	MG	Aterro Municipal
Aterro de Juiz de Fora	Juiz de Fora	MG	Aterro Controlado Municipal
Aterro Sanitário de Montes Claros	Montes Claros	MG	Aterro Controlado Municipal
Aterro de Santa Luzia	Santa Luzia	MG	Aterro Municipal

Sistema	Município	Estado	Tipo
Lixão de Sete Lagoas	Sete Lagoas	MG	Lixão Municipal
Aterro Uberlândia	Uberlândia	MG	Aterro Municipal
Aterro de Campo Grande	Campo Grande	MS	Aterro Municipal
Depósito de Lixode Cuiabá	Cuiabá	MT	Lixão Municipal
Usina de Triagem e Compostagem de Cuiabá	Cuiabá	MT	Aterro Municipal
Vazadouro de Jaguarana	Paulista	PE	Lixão Municipal
Biorremediação	Petrolina	PE	Aterro Municipal
Aterro de Muribeca - Recife	Recife	PE	Aterro Controlado Municipal
SLAM	Parnaíba	PI	Aterro Municipal
Aterro Teresina	Teresina	PI	Aterro Municipal
Aterro Municipal de Cascavel	Cascavel	PR	Aterro Municipal
Aterro Sanitário da Cachimba - Curitiba	Curitiba	PR	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu	Foz do Iguaçu	PR	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Guarapuava	Guarapuava	PR	Lixão Municipal
Aterro Colônia Santa Rita	Paranaguá	PR	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Duque de Caxias	Duque de Caxias	RJ	Aterro Municipal
Aterro e Usina de Adrianópolis	Nova Iguaçu	RJ	Aterro Municipal
Usina I - Duarte da Silveira	Petrópolis	RJ	Aterro Municipal
Usina II - Pedro do Rio	Petrópolis	RJ	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Bulhões	Resende	RJ	Aterro Municipal
Aterro Controlado de Cidade Nova - Natal	Natal	RN	Aterro Controlado Municipal
Aterro de Porto Velho	Porto Velho	RO	Aterro Municipal
Prefeitura Municipal de Alvorada	Alvorada	RS	Lixão Municipal
Pedreira da Fumaça	Bagé	RS	Lixão Municipal
Aterro Sanitário de Canoas	Canoas	RS	Aterro Municipal
Central de Reciclagem de Lixo	Novo Hamburgo	RS	Aterro Municipal
Usina de Reciclagem de Res Sol	Passo Fundo	RS	Aterro Municipal
Aterro Metropolitano Santa Tecla	Porto Alegre	RS	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Porto Alegre - Extrema	Porto Alegre	RS	Aterro Municipal

Sistema	Município	Estado	Tipo
Aterro Sanitário de Porto Alegre - Zona Norte	Porto Alegre	RS	Aterro Municipal
Usina de Reciclagem e Compostagem de Lixo Domiciliar	Santa Cruz do Sul	RS	Aterro Municipal
Aterro Caturrita	Santa Maria	RS	Aterro Municipal
Aterro Municipal Sapucaia do Sul	Sapucaia do Sul	RS	Aterro Controlado Municipal
Formaco (LPSC Florianópolis e Região)	Biguaçu	SC	Lixão Particular Solução Conjunta
Parada	Blumenau	SC	Aterro Municipal
Aterro Municipal de Concórdia	Concórdia	SC	Lixão Municipal
Aterro do Sangão	Forquilha	SC	Aterro Municipal Solução Conjunta
Aterro Sanitário da Canhaduba - Itajaí	Itajaí	SC	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Municipal	Joinville	SC	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Salto Grande	Americana	SP	Aterro Municipal
Aterro de Amparo	Amparo	SP	Aterro Municipal
Lixão de Araçatuba	Araçatuba	SP	Lixão Municipal
Usina de Reciclagem e Compostagem de Lixo	Araraquara	SP	Lixão Municipal
Aterro Municipal de Araras	Araras	SP	Aterro Municipal
Aterro Municipal para Rejeitos	Assis	SP	Aterro Municipal
Lixão de Atibaia	Atibaia	SP	Lixão Municipal
Aterro Sanitário	Batatais	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Bauru	Bauru	SP	Aterro Municipal
Aterro Municipal Botucatu	Botucatu	SP	Aterro Municipal
Aterro de Bragança Paulista	Bragança Paulista	SP	Aterro Municipal
Estação de Trat Resíduos Sólidos - Urbam	Caçapava	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Municipal de Caieiras	Caieiras	SP	Aterro Municipal
Complexo Delta	Campinas	SP	Aterro Municipal
Aterro de Caraguatatuba	Caraguatatuba	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro de Catanduva	Catanduva	SP	Aterro Municipal
Lixão de Cruzeiro	Cruzeiro	SP	Lixão Municipal
Aterro de Cubatão	Cubatão	SP	Aterro Municipal

Sistema	Município	Estado	Tipo
Lixão de Embu	Embu	SP	Lixão Municipal
Aterro de Fernandópolis	Fernandópolis	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Franca 2	Franca	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Franca 1	Franca	SP	Aterro Municipal
Aterro de Franco da Rocha	Franco da Rocha	SP	Aterro Municipal
Aterro Guarujá	Guarujá	SP	Aterro Municipal
Aterro Cabuçu	Guarulhos	SP	Aterro Controlado Municipal
Lixão Ibiúna	Ibiúna	SP	Lixão Municipal
Lixão de Cardeal	Indaiatuba	SP	Lixão Municipal
Lixão do Vergara	Itanhaem	SP	Lixão Municipal
Lixão de Itapetininga	Itapetininga	SP	Lixão Municipal
Aterro Municipal de Itapevi	Itapevi	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro Itapira	Itapira	SP	Aterro Municipal
Aterro sanitário de Itatiba	Itatiba	SP	Aterro Municipal
Lixão Municipal de Jaboticabal	Jaboticabal	SP	Lixão Municipal
Aterro de Jacareí	Jacareí	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Jales	Jales	SP	Aterro Municipal
Aterro de Jandira	Jandira	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro de Leme	Leme	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro Lençóis Paulista	Lençóis Paulista	SP	Aterro Municipal
Aterro Limeira	Limeira	SP	Aterro Controlado Municipal
Lixão Lorena	Lorena	SP	Lixão Municipal
Lixão de Marília	Marília	SP	Lixão Municipal
Construtora Bema	Matão	SP	Aterro Municipal
Lara Comércio e Prestação de Serviços Ltda	Mauá	SP	Aterro Municipal Solução Conjunta
Aterro de Mirassol	Mirassol	SP	Aterro Municipal
Aterro de Mogi-Guaçu	Mogi-Guaçu	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Mogi-Mirim	Mogi-Mirim	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Olímpia	Olímpia	SP	Aterro Municipal

Sistema	Município	Estado	Tipo
Aterro Osasco	Osasco	SP	Aterro Municipal
Aterro Municipal de Ourinhos	Ourinhos	SP	Aterro Municipal
Aterro Penápolis	Penápolis	SP	Aterro Municipal
Aterro Pindamonhangaba	Pindamonhangaba	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro Piracicaba	Piracicaba	SP	Aterro Municipal
Aterro Rio Claro	Rio Claro	SP	Aterro Municipal
Sistema Integrado de Lixo de Salto	Salto	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro Sanitário de Santa Barbara D'Oeste	Santa Barbara D'Oeste	SP	Aterro Municipal
Lixão Municipal de Santana de Parnaíba	Santana de Parnaíba	SP	Lixão Municipal
Aterro Controlado da Alemoa	Santos	SP	Aterro Controlado Municipal
Aterro Sanitário do Município de São Carlos	São Carlos	SP	Aterro Municipal
Construfert	São José do Rio Preto	SP	Aterro Municipal
Aterro São José dos Campos	São Jose dos Campos	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Bandeirantes	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de São Matheus	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitario Jacuí	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Santo Amaro	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Sapopemba	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Sítio São João	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário Vila Albertina	São Paulo	SP	Aterro Municipal
Lixão da Fazenda Butantã	São Roque	SP	Lixão Municipal
Lixão de Sambaiatuba	São Vicente	SP	Lixão Municipal
Aterro Sanitário de Sertãozinho	Sertãozinho	SP	Aterro Municipal
Aterro de Sorocaba	Sorocaba	SP	Aterro Municipal
Aterro sanitário em trincheiras	Taquaritinga	SP	Aterro Municipal
Aterro Municipal de Taubaté	Taubaté	SP	Aterro Municipal
Aterro Tupã	Tupã	SP	Aterro Municipal
Aterro Ubatuba	Ubatuba	SP	Aterro Controlado Municipal

<b>Sistema</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>	<b>Tipo</b>
Aterro de Valinhos	Valinhos	SP	Aterro Municipal
AMSC Jundiaí e Região	Várzea Paulista	SP	Aterro Municipal Solução Conjunta
Aterro de Votorantim	Votorantim	SP	Aterro Municipal
Aterro de Votuporanga	Votuporanga	SP	Aterro Municipal
Aterro Sanitário de Palmas	Palmas	TO	Aterro Controlado Municipal

### **Anexo 3 - ETAE**

Ano	Sistema	Município	Estado	Atividade	Volume Total CH <sub>4</sub>
1.993	SABESP - ETE Pinheiros	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	0
1.993	CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	0
1.993	Município de São Paulo - Ipiranga -ETE Jesus Neto	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	0
1.996	Município de Rio Claro - Ajapí	Rio Claro	São Paulo	Esgoto doméstico	36
1.996	Município de Piracicaba	Piracicaba	São Paulo	Esgoto doméstico	1
1.996	Município de Cosmópolis - Parque Dona Ester	Cosmópolis	São Paulo	Esgoto doméstico	408
1.996	Laticínios Noiva da Colina Ltda	Piracicaba	São Paulo	Laticínios	1
1.996	Indústria Müller 51	Pirassununga	São Paulo	Engenho de aguardente	6.858
1.996	Indústria de Frios Xavier	Rio Claro	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	36
1.996	Abatedouro Avícola Sorocaba Ltda	Sorocaba	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	680
1.996	Frigorífico Rajá	Piracicaba	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	1
1.996	Indústria e Comércio de Bebidas Carmignani S/A	Piracicaba	São Paulo	Produção de refrigerantes	1
1.996	Fricock - Frigorificação Avicultura Indústria e Comércio Ltda	Rio Claro	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	36
1.996	Fricock - Frigorificação Avicultura Industria e Comercio Ltda	Rio Claro	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	36
1.996	Etti Produtos Alimentícios	Cajamar	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	44
1.996	Cooperativa de Laticínios Claro	Rio Claro	São Paulo	Laticínios	36

Ano	Sistema	Município	Estado	Atividade	Volume Total CH <sub>4</sub>
1.996	Companhia Antartica Paulista	Jaguariuna	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	693
1.996	CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	40
1.996	Butilamil Industrias Reunidas S/A	Piracicaba	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	1
1.996	Balas São João S/A	Rio Claro	São Paulo	Outros produtos alimentares	36
1.996	Heublein do Brasil Comercial e Industrial Ltda	Sorocaba	São Paulo	Produção de refrigerantes	680
1.996	Só Fruta Industria Alimentícia Ltda	Jose Bonifacio	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	10
1.996	Usina São Martinho S/A - Açúcar e Álcool	Pradópolis	São Paulo	Açucar e álcool	3.728
1.996	Usina Costa Pinto S/A	Piracicaba	São Paulo	Processo de lavagem de cana	1
1.996	Spaipa SA - Industria Brasileira de Bebidas	Marilia	São Paulo	Produção de refrigerantes	6
1.996	Município de São Paulo - Ipiranga -ETE Jesus Neto	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	40
1.996	Skol	Guarulhos	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	336
1.996	SABESP - ETE Pinheiros	São Paulo	São Paulo	Esgoto doméstico	40
1.996	Quaker Brasil Ltda	Guarulhos	São Paulo	Industria de óleo	336
1.996	Pirassununga Papel e Papelão	Pirassununga	São Paulo	Fabricação de celulose, papel e papelão	6.858
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Queimados	Rio Janeiro	de Fabricação de cerveja	845
1.997	Cooperativa Central de Laticínios do Estado de São Paulo	Guaratinguetã	São Paulo	Laticínios	298
1.997	Cooperativa Nacional Indústria	Agro Ribeirao Preto	São Paulo	Laticínios	756

Ano	Sistema	Município	Estado	Atividade	Volume Total CH <sub>4</sub>
1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Rio de Janeiro	de Rio Janeiro	de Fabricação de cervejas e refrigerantes	2.432
1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	2.663
1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	1.769
1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	1.021
1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	850
1.997	Sucocítrico Cutrale	Araraquara	São Paulo	Produção de sucos	3.266
1.997	Cooperativa Nacional Indústria	Agro Ribeirão Preto	São Paulo	Laticínios	298
1.997	Usina Costa Pinto S/A	Piracicaba	São Paulo	Processo de lavagem de cana	6
1.997	Sucocítrico Cutrale	Araraquara	São Paulo	Produção de sucos	452
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Queimados	Rio de Janeiro	de Fabricação de cerveja	476
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cerveja	2.663
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cerveja	1.769
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cerveja	1.021
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Jacarei	São Paulo	Fabricação de cerveja	850
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Araraquara	São Paulo	Fabricação de cerveja	3.266
1.997	Cervejaria Kaiser do Brasil	Araraquara	São Paulo	Fabricação de cerveja	452
1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Ponta Grossa	Paraná	Fabricação de cerveja	2.628
1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Gravataí	Rio Grande do Sul	Fabricação de cerveja	191
1.997	Cervejaria Antartica Niger S/A	Ribeirão Preto	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	756
1.997	Cervejaria Antartica Niger S/A	Ribeirão Preto	São Paulo	Fabricação de cervejas e refrigerantes	298
1.997	Butilamil Industrias Reunidas S/A	Piracicaba	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	6

Ano	Sistema	Município	Estado	Atividade	Volume Total CH <sub>4</sub>
1.997	Pirassununga Papel e Papelão	Pirassununga	São Paulo	Fabricação de celulose, papel e papelão	0
1.997	Indústria Müller 51	Pirassununga	São Paulo	Engenho de aguardente	0
1.997	Prefeitura Municipal de Esteio	Esteio	Rio Grande do Sul	Esgoto doméstico	3.355
1.997	Mauri Brasil Indústria e Comércio Importação	Pederneiras	São Paulo	Outros produtos alimentares	839
1.997	Laticínios Noiva da Colina Ltda	Piracicaba	São Paulo	Laticínios	6
1.997	Município de Pederneiras - Guaianas	Pederneiras	São Paulo	Esgoto doméstico	839
1.997	Consoni & Cia	Porto Ferreira	São Paulo	Fecularias ( lavagem da mandioca )	0
1.997	Refrescos Ipiranga S/A	Ribeirao Preto	São Paulo	Produção de refrigerantes	298
1.997	Indústria de Bebidas Antartica do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	de Rio Janeiro	de Fabricação de cervejas e refrigerantes	2.432
1.997	Indústria e Comércio de Bebidas Carmignani S/A	Piracicaba	São Paulo	Produção de refrigerantes	6
1.997	Refrescos Ipiranga S/A	Ribeirao Preto	São Paulo	Produção de refrigerantes	756
1.997	Rica Reginaves	Rio Janeiro	de Rio Janeiro	de Matadouros e frigoríficos	2.432
1.997	Indústria de Bebidas Antartica	Natal	Rio Grande do Norte	Fabricação de cervejas e refrigerantes	1.742
1.997	Hospital Carlos Chagas	Rio Janeiro	de Rio Janeiro	de Esgoto doméstico	2.432
1.997	Município de Pederneiras Vanglória	Pederneiras	São Paulo	Esgoto doméstico	839

Ano	Sistema	Município	Estado	Atividade	Volume Total CH <sub>4</sub>
1.997	Frigorífico Rajá	Piracicaba	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	6
1.997	Santista Alimentos	Esteio	Rio Grande do Sul	Outros produtos alimentares	3.355
1.997	Município de Piracicaba	Piracicaba	São Paulo	Esgoto doméstico	6
1.997	Indústria de Bebidas Antarctica Polar	Estrela	Rio Grande do Sul	Fabricação de cervejas e refrigerantes	298
1.998	Leiner Davis Gelatin	Maringá	Paraná	Industria de couro, peles e produtos similares	2.330
1.998	Pif Paf S/A Industria e Comércio	Visconde do Rio Branco	Minas Gerais	Matadouros e frigoríficos	830
1.998	Município de Maringá - ETE 2	Maringá	Paraná	Esgoto doméstico	2.330
1.998	Município de Maringá - ETE 1	Maringá	Paraná	Esgoto doméstico	2.330
1.998	Município de Maringá - ETE 3	Maringá	Paraná	Esgoto doméstico	2.330
1.999	Indústria e Comércio de Bebidas Carmignani S/A	Piracicaba	São Paulo	Produção de refrigerantes	6
1.999	Município de Piracicaba	Piracicaba	São Paulo	Esgoto doméstico	6
1.999	Butilamil Industrias Reunidas S/A	Piracicaba	São Paulo	Industria de produtos alimentícios	6
1.999	Frigorífico Rajá	Piracicaba	São Paulo	Matadouros e frigoríficos	6
1.999	Usina Costa Pinto S/A	Piracicaba	São Paulo	Processo de lavagem de cana	6
1.999	Vinícola Aurora	Bento Gonçalves	Rio Grande do Sul	Produção de vinho	29
1.999	Laticínios Noiva da Colina Ltda	Piracicaba	São Paulo	Laticínios	6

## Anexo 4 - ETAE no Estado de São Paulo (I)

#	Município	Responsável pelo sistema	Ano de funcionamento	Situação do sistema	Tipo de tecnologia empregada
1	Águas de São Pedro	Jardim Califórnia	1.990	Operação	Filtro anaeróbio
2	Agudos	Brahma	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
3	Alto Alegre	Sabesp	1.979	Operação	Lagoa anaeróbia
4	Andradina	Tratamento Figueira	1.990	Operação	Lagoa anaeróbia
5	Andradina	Tratamento P Jordão	1.992	Operação	Lagoa anaeróbia
6	Andradina	Tratamento São Pedro	1.996	Operação	Lagoa anaeróbia
7	Araçoiaba da Serra		1.990	Operação	Lagoa anaeróbia
8	Araraquara	Cutrale	1.989	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
9	Araraquara	Kaiser	1.995	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
10	Araras	Saema	1.998	Constão em Andamento	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
11	Arealva	Jacuba	1.997	Operação	Filtro anaeróbio
12	Arealva	Recanto Vale do Sol	1.980	Operação	Lagoa anaeróbia
13	Areiópolis		1.992	Operação	Lagoa anaeróbia
14	Auriflama	Laticínios Leco	1.984	Operação	Filtro anaeróbio
15	Barbosa		1.985	Operação	Lagoa anaeróbia
16	Barretos	Leilac Produtos Lácteos	0	Operação Parcial	Filtro anaeróbio
17	Barretos	Anglo Alimentos	1.974	Operação	Lagoa anaeróbia
18	Barretos	Ind. e Com. de Carnes Minerva	1.993	Operação	Lagoa anaeróbia
19	Barretos	Imbor - Ind. Vale Rio Grande	1.992	Operação Paralisada	Lagoa anaeróbia
20	Barueri	ETE DirecTV	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
21	Bebedouro	Laticínios Catupiry	1.986	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
22	Bertioga	Lagoas da Rivieira	1.987	Operação	Lagoa anaeróbia
23	Bocaina	Pedro Alexandrino	1.988	Operação	Filtro anaeróbio
24	Bocaina		1.988	Operação	Lagoa anaeróbia
25	Bofete	Sabesp Bofete	1.992	Operação	Filtro anaeróbio
26	Boituva	Jardim São Paulo	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
27	Boraceia		1.994	Operação	Lagoa anaeróbia
28	Botucatu	Laticínios Cambará	1.993	Operação	Filtro anaeróbio
29	Botucatu	Rubião Júnior	1.997	Construção em Andamento	Lagoa anaeróbia
30	Botucatu	Rubião Júnior	1.996	Operação Paralisada	Filtro anaeróbio
31	Botucatu	César Neto	1.993	Operação	Filtro anaeróbio
32	Botucatu	Vitoriana	1.993	Operação	Filtro anaeróbio
33	Buritama	ETE Buritama	1.972	Operação Parcial	Lagoa anaeróbia
34	Cabreúva	Jacaré	1.988	Operação	Lagoa anaeróbia
35	Cajamar	Etti	1.985	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
36	Cajobi	Sabesp	1.992	Operação	Sistema australiano
37	Cajuru	Frigorífico Gold Meat	1.998	Construção em Andamento	Filtro anaeróbio
38	Campinas	ETE Icarai	1.996	Operação	Filtro anaeróbio
39	Campinas	ETE de Ciatec	1.994	Operação	Lagoa anaeróbia
40	Campinas	Danone	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
41	Campos do Jordão	ETE Campos do Jordão	1.998	Projeto Paralisado	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
42	Casa Branca	ETE Laticinio Argênio	1.998	Projeto em Andamento	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
43	Catanduva	Laticínios Matinal	1.997	Construção em Andamento	Filtro anaeróbio
44	Cesário Lange		1.992	Operação Paralisada	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
45	Charqueada		1.996	Operação	Lagoa anaeróbia
46	Colina	Fricol - Frig. Colina	1.989	Operação	Filtro anaeróbio
47	Conchal	Fleischmann & Royal	1.989	Operação Paralisada	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
48	Cosmópolis	ETE Pq. D. Ester	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
49	Elias Fausto	Carimã	1.993	Operação Paralisada	Filtro anaeróbio
50	Estrela doeste	Sabesp	1.996	Operação	Sistema australiano
51	Fernandópolis	Só Nata	1.991	Operação	Filtro anaeróbio
52	Fernandópolis	Alcoeste Destilaria	1.989	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
53	Floreal	Sabesp	1.992	Operação	Sistema australiano
54	Guaratingueta	Leite Paulista	1.993	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
55	Guaruja	Cutrale	1.989	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
56	Guaruja	Colônia Férias Guarujá-AFPESP	1.998	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
57	Guarulhos	Quaker Brasil	1.993	Operação Paralisada	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
58	Guarulhos	Skol	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
59	Holambra	Prefeitura Municipal Holambra	1.998	Construção em Andamento	Reator anaeróbio de fluxo ascendente

#	Município	Responsável pelo sistema	Ano de funcionamento	Situação do sistema	Tipo de tecnologia empregada
60	Holambra	Prof. Holambra	1.998	Construção Andamento	em Lagoa anaeróbia
61	Holambra	Agro Pecuária Holambra	1.975	Operação	Lagoa anaeróbia
62	Ibiuna		1.986	Operação Paralisada	Lagoa anaeróbia
63	Ipeuna		1.976	Operação	Lagoa anaeróbia
64	Itacemópolis	ETE Itacemópolis	1.990	Construção Paralisada	Lagoa anaeróbia
65	Itatinga	Lobo	1.995	Operação	Filtro anaeróbio
66	Itatinga		1.992	Operação	Lagoa anaeróbia
67	Itupeva	Monte Serrat	1.988	Desativado	Filtro anaeróbio
68	Jacarei	Kaiser	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
69	Jacarei	Kaiser	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
70	Jacarei	Brahma	1.997	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
71	Jacarei	Kaiser	1.997	Operação	Reator anaeróbio c/ circulação interna
72	Jaguariuna	Antártica Paulista	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
73	Jarinu		1.981	Operação	Lagoa anaeróbia
74	José Bonifácio	Só Fruta	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
75	Leme	Taima Aguas Minerais	1.998	Construção Andamento	em Reator anaeróbio de fluxo ascendente
76	Lindóia	Assoc. Func. Pub. ESP	1.997	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
77	Lins	Flor da Nata	1.990	Operação	Filtro anaeróbio
78	Lins	Coop. Lact. Linense	1.989	Operação	Filtro anaeróbio
79	Louveira	Avícola Paulista	1.993	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
80	Macatuba		1.993	Operação	Lagoa anaeróbia
81	Marília	Spaipa	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
82	Matão	Citrosuco Paulista	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
83	Mogi-Guaçu	Refinaria de Milho Brasil Ltda	1.997	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
84	Mogi-Mirim	Cervejarias Cintra	1.994	Operação Paralisada	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
85	Monte Alto	Gessy Lever	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
86	Monte Alto	Sabesp - Alvorada	1.987	Operação	Sistema australiano
87	Monte Alto	Sabesp - Vale dos Sonhos	1.986	Operação	Sistema australiano
88	Monte Aprazível	Sabesp	1.989	Operação	Sistema australiano
89	Morungaba		1.986	Operação	Lagoa anaeróbia
90	Nova Granada	Sabesp	1.995	Operação	Lagoa anaeróbia
91	Osasco	Indústria Paulista de Explosivo	1.994	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
92	Paranapua	Sabesp	1.990	Operação	Sistema australiano
93	Pederneiras	Guaianas	1.994	Operação	Filtro anaeróbio
94	Pederneiras	Vangloria	1.996	Operação Paralisada	Filtro anaeróbio
95	Pederneiras	Mauri Brasil	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
96	Pedranópolis		1.989	Operação	Lagoa anaeróbia
97	Piracicaba	Laticínios Noiva da Colina	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
98	Piracicaba	Butilamil	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
99	Piracicaba	Semae-ETE Dois Córregos	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
100	Piracicaba	Usina Costa Pinto	1.974	Operação	Lagoa anaeróbia
101	Piracicaba	Frigorífico Rajá	1.988	Operação	Lagoa anaeróbia
102	Piracicaba	Carmignani	1.979	Operação	Lagoa anaeróbia
103	Piracicaba	ETE Piracicamirim	1.998	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
104	Pirassununga	Pirassununga Papel e Papelão	1.988	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
105	Pirassununga	Industrias Müller	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
106	Porto Ferreira	Consoni & Cia	1.987	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
107	Potirendaba	Laticínio Matinal	1.987	Operação	Filtro anaeróbio
108	Pradópolis	Usina São Martinho	1.995	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
109	Pratânia	Pratinha	1.992	Operação	Filtro anaeróbio
110	Presidente Alves	Sabesp	1.996	Operação	Sistema australiano
111	Registro	Sabesp - ETE Registro	1.989	Operação	Lagoa anaeróbia
112	Ribeirão Preto	Antártica Niger	1.986	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
113	Ribeirão Preto	Refrescos Ipiranga	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
114	Ribeirão Preto	Leite Nilza	1.986	Desativado	Filtro anaeróbio
115	Rio Claro	Fricock	1.995	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
116	Rio Claro	Balas São João	1.995	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
117	Rio Claro	ETE Ajapi	1.992	Operação	Lagoa anaeróbia
118	Rio Claro	Coop. Lact. Rio Claro	1.987	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
119	Rio Claro	Frios Xavier	1.979	Operação	Lagoa anaeróbia
120	Rio Claro	Fricock	1.982	Operação	Lagoa anaeróbia
121	Rio das Pedras	Nechar	1.989	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente

#	Município	Responsável sistema	pelos Ano de funcionamento	Situação de Operação do sistema	Tipo de tecnologia empregada
122	Riolândia	Sabesp	1.981	Operação	Lagoa anaeróbia
123	Saltinho		1.995	Operação	Lagoa anaeróbia
124	Salto	Eucatex	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
125	Salto de Pirapora		1.992	Operação Paralisada	Filtro anaeróbio
126	Santa Albertina	Sabesp	1.989	Operação	Sistema australiano
127	Santa Barbara doeste	Tecclagem Wiesel	1.992	Desativado	Lagoa anaeróbia
128	Santa Cruz das Palmeiras	Bebidas Santa Cruz	1.997	Construção em Andamento	em Reator anaeróbio de fluxo ascendente
129	São Bernardo do Campo	Frigorífico Marba	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
130	São Bernardo do Campo	ETE São Bernardo do Campo	1.998	Projeto Paralisado	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
131	São João da Boa Vista	Dedini Açúcar e Alcool	1.986	Desativado	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
132	São José do Rio Preto	Sebosol	1.995	Operação	Filtro anaeróbio
133	São Manuel	Cervejaria Belco	1.998	Operação	Lagoa anaeróbia
134	São Paulo	Sabesp - ETE Jesus Neto	1.985	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
135	São Paulo	Sabesp - ETE Ribeirão Pires	1.994	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
136	São Paulo	CETESB	1.986	Operação Paralisada	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
137	São Roque	Paisagem Colonial	1.996	Operação	Filtro anaeróbio
138	São Sebastião	Village de Camburizinho	1.994	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
139	São Sebastião	Praia do Juquey	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
140	São Sebastião	Empresa Itaima/Mencasa/Autar	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
141	São Sebastião da Gramma	Laticínios São Miguel	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
142	Serra Negra	Frigocharque Serra Negra	1.988	Operação	Filtro anaeróbio
143	Sete Barras	Sabesp - ETE Sete Barras	1.994	Operação	Lagoa anaeróbia
144	Sorocaba	Heublein	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
145	Sorocaba	Avícola Sorocaba	1.997	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
146	Sud Menucci	Sabesp	1.992	Operação	Sistema australiano
147	Sumaré	Jd. Santa Maria	1.992	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
148	Taquaritinga	Conservas Colombo	1.989	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
149	Taquaritinga	Frigorífico Taquaritinga	1.991	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
150	Taquaritinga	Guari Fruits	1.992	Desativado	Filtro anaeróbio
151	Taquaritinga	Fábrica Peixe	1.988	Operação	Filtro anaeróbio
152	Tatui	Manoel Guedes	1.993	Operação	Filtro anaeróbio
153	Tatui		1.993	Operação	Lagoa anaeróbia
154	Tatui		1.979	Operação	Lagoa anaeróbia
155	Tietê	Ind. Com. Carnes Jumirim	1.988	Operação	Filtro anaeróbio
156	Tietê	Bebidas Xereta	1.987	Operação	Filtro anaeróbio
157	Tietê	Frangoeste	1.996	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
158	Tietê	Avícola Dakar	1.995	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
159	Ubatuba	Condomínio Saco do Ribeira	1.993	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
160	Urânia	Sabesp	1.974	Operação	Sistema australiano
161	Valinhos	CHR-Hansen	1.990	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
162	Valinhos	Prodesa	1.998	Projeto Concluído	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
163	Vinhedo	Shopping Serra Azul	1.992	Operação	Filtro anaeróbio
164	Vinhedo	Frigorífico Planalto	1.980	Operação Paralisada	Lagoa anaeróbia
165	Votuporanga	Só Nata	1.988	Operação	Reator anaeróbio de fluxo ascendente

## **Anexo 5- ETAE no Estado de São Paulo (II)**

A seguir foram listadas as vinte e oito ETAE localizadas no Estado de São Paulo que apresentam dados a respeito das estações anaeróbias de tratamento de esgotos. Dentre as informações disponíveis no banco de dados foram selecionadas as mais relevantes para se estabelecer um perfil da situação.

A coluna “Número CETESB do sistema de tratamento no município” indica quando são encontrados mais de um sistema em um mesmo município. As colunas “Vazão do afluente” e “Concentração do efluente” referem-se a dados médios anuais fornecidos pelos responsáveis pela operação da estação de tratamento. A coluna “Volume do reator” dá o volume total dos reatores anaeróbios da estação de tratamento. A coluna “Origem do afluente” refere-se à fonte emissora deste que pode ser Industrial (I), Doméstica (D) ou mista - Industrial e Doméstica (I/D).

Esta tabela está em ordem alfabética de acordo com a coluna “Município”.

Município	Número CETESB do sistema de tratamento no município	Ano de referência da informação	Nome da empresa	Ramo da atividade	Vazão afluente (m <sup>3</sup> /h)	Concentração do afluente (kgBOD/m <sup>3</sup> )	Subproduto	Quantidade (T/ano)	Destino dado ao subproduto	Volume do reator (m <sup>3</sup> )	Origem do afluente (I, D ou I/D)
Araraquara	1	1.997	Suco cítrico Cutrale	Produção de sucos	300,00	0,96	Lodo	4,80	Reuso na industria	2.000	I
							Biogás	3.265,87	Queima	2.000	I
	2	1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Fabricação de cerveja	200,00	1,35	Lodo	249,66	Reuso na agricultura	1.460	I
							Biogás	452,11	Queima	1.460	I
Cajamar	1	1.996	Etti Alimentos	Produtos alimentícios	126,00	0,53	Lodo	3,60	Reuso na agricultura	1.685	I
							Biogás	43,62	Dispersão na atmosfera	1.685	I
Cosmópolis	1	1.996	Município de Cosmópolis - Parque Ester	de Esgoto doméstico	62,28	0,42	Biogás	408,23	Queima	838	S
Guaratinguetá	1	1.997	Cooperativa Central de Laticínios do Estado de São Paulo	Laticínios	50,00	3,15	Lodo	487,00	Partida outros reatores	1.547	I
							Biogás	298,01	Queima	1.547	I
Guarulhos	2	1.996	Skol	Fabricação de cervejas e refrigerantes	334,00	1,05	Biogás	335,53	Queima	1.920	I

Município	Número CETESB sistema tratamento no município	Ano do referência de informação	Nome da empresa	Ramo da atividade	Vazão de afluente (m³/h)	Concentração do afluente (kgBOD/m³)	Subproduto	Quantidade (T/ano)	Destino dado ao subproduto	Volume do reator (m³)	Origem do afluente (I, D ou I/D)
Jacarei	1	1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Fabricação de cerveja	110,00	2,13	Lodo	1.642,50	Aterro Sanitário	2.000	I
							Biogás	1.769,01	Queima	2.000	I
	2	1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Fabricação de cerveja	65,00	2,13	Lodo	1.022,00	Aterro Sanitário	965	I
							Biogás	1.020,58	Queima	965	I
	3	1.997	Companhia Cervejaria Brahma	Fabricação de cervejas e refrigerantes	350,00	3,00	Biogás	2.662,70	Queima	2.300	I/S
	4	1.997	Cervejaria Kaiser Brasil	Fabricação de cerveja	120,00	1,35	Lodo	2.409,00	Aterro Sanitário	664	I/S
							Biogás	850,49	Queima	664	I/S
	Jaguariuna	1	1.996	Companhia Antártica Paulista	Fabricação de cervejas e refrigerantes	500,00	0,86	Biogás	692,73	Queima	3.600
José Bonifácio	1	1.996	Só Industria Alimentícia Ltda.	Fruta Industria produtos alimentícios	20,00	0,90	Lodo	1.080,00	Reuso na agricultura	396	I
							Biogás	10,07	Dispersão na atmosfera	396	I

Município	Número CETESB sistema de tratamento no município	Ano de referência de informação	Nome da empresa	Ramo da atividade	Vazão de afluente (m³/h)	Concentração do afluente (kgBOD/m³)	Subproduto	Quantidade (T/ano)	Destino dado ao subproduto	Volume reator (m³)	Origem do afluente (I, D ou I/D)
Marília	1	1.996	Spaipa SA - Indústria Brasileira de Bebidas	Produção de refrigerantes	22,54	0,16	Biogás	6,46	Queima	500	I
Pederneiras	3	1.997	Mauri Brasil Indústria e Comércio Importação	Outros produtos alimentares	50,00	7,00	Lodo	130,00	Reuso na agricultura	2.325	I
							Biogás	838,84	Queima	2.325	I
Piracicaba	1	1.996	Laticínios Noiva da Colina Ltda.	Laticínios da	2,50	0,93	Biogás	0,61	Queima	500	I
	2	1.996	Butilamil Industrias Reunidas S/A	Industria produtos alimentícios	3,33	6,00	Lodo	0,02	Reuso na agricultura	800	I
	3	1.997	Município de Piracicaba	Esgoto doméstico	6,06	0,50	Biogás	5,58	Dispersão na atmosfera	50	S
Pirassununga	1	1.997	Pirassununga Papel e Papelão	Fabricação de celulose, papel e papelão	80,00	1,68	Lodo	0,07	Partida outros reatores	720	I
							Biogás	0,26	Dispersão na atmosfera	720	I

Município	Número CETESB do sistema de tratamento no município	Ano de referência de informação	Nome da empresa	Ramo da atividade	Vazão de afluente (m³/h)	Concentração do afluente (kgBOD/m³)	Subproduto	Quantidade (T/ano)	Destino dado ao subproduto	Volume reator (m³)	Origem do afluente (I, D ou I/D)
							Lodo	365,00	Queima	720	I
	2	1.996	Indústria Müller 51	Engenho de aguardente	28,00	1,30	Lodo	21,90	Partida outros reatores	300	I
							Biogás	6.858,32	Queima	300	I
Porto Ferreira	1	1.997	Consoni Cia	& Fecularias lavagem da mandioca)	( 9,30	1,01	Biogás	0,28	Queima	200	I
Pradópolis	1	1.996	Usina São Martinho - Açúcar e Álcool	São Açúcar álcool	e 100,00		Lodo	500.000,00	Reuso na agricultura	na 5.000	I
							Biogás	3.728,16	Produção de energia	de 5.000	I
Ribeirão Preto	1	1.997	Cervejaria Antártica Níger S/A	Fabricação de cervejas e refrigerantes	de 115,00	1,71	Lodo	3.900,00	Disposição no solo	1.900	I
	2	1.997	Refrescos Piranga S/A	Produção de refrigerantes	de 38,00	1,19	Biogás	298,25	Queima	735	I
							Lodo	5,00	Recirculação	735	I
							Biogás	755,57	Queima	1.900	I