

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL E
TESE DEFENDIDA POR MARCO EDUARDO GOMES
E APROVADA PELO
COMISSÃO JULGADORA EM 29/05/2002.

Carlos Alberto Mariotoni
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO SETOR DE SANEAMENTO
AMBIENTAL NO APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE RESÍDUOS:
“O CASO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS – SP”**

Autor: **Marcos Eduardo Gomes Cunha**
Orientador: **Carlos Alberto Mariotoni**

05/02

I UNICAMP

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

**ANÁLISE DO SETOR DE SANEAMENTO
AMBIENTAL NO APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE RESÍDUOS:
“O CASO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS – SP”**

Autor: Marcos Eduardo Gomes Cunha
Orientador: Carlos Alberto Mariotoni

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

CAMPINAS, 2002

S.P. – BRASIL

UNIDADE Be
Nº CHAMADA T/UNICAMP
0914a
V _____ EX _____
TOMBO BCI 51569
PROC 16.837/02
C _____ D Y _____
PREÇO R\$ 11,00
DATA 15/11/02
Nº CPD _____

CMOD176461-4

BIB ID 267696

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C914a

Cunha, Marcos Eduardo Gomes

Análise do setor de saneamento ambiental no aproveitamento energético de resíduos: o caso do município de Campinas - SP / Marcos Eduardo Gomes Cunha.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Carlos Alberto Mariotoni.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Aterro sanitário. 2. Biogás. 3. Metano. 4. Energia da biomassa. 5. Resíduos como combustível. I. Mariotoni, Carlos Alberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

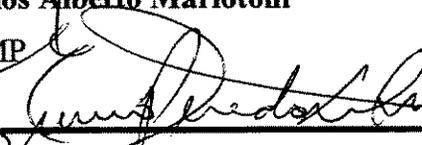
DEPARTAMENTO DE ENERGIA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DO SETOR DE SANEAMENTO
AMBIENTAL NO APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE RESÍDUOS:
“O CASO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS – SP”

Autor: Marcos Eduardo Gomes Cunha
Orientador: Carlos Alberto Mariotoni



Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni
FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Ennio Peres da Silva
IF/UNICAMP



Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo
FEC/UNICAMP

Campinas, 29 de maio de 2002

00254989

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Ivani e meus pais Lacyr e Haydée que ao longo do tempo sempre incentivaram o término de mais uma etapa de minha vida na busca de novos conhecimentos.

Como já dizia o escrito alemão naturalizado suíço (Hermann Hess 1877-1962), "... uma pessoa só cumpre seu mais nobre dever quanto tenta aperfeiçoar os dotes que a natureza lhe deu".

Agradecimentos

Primeiramente, dedico este trabalho ao meu ilustre orientador, professor e sobretudo amigo, Eng.º Carlos Alberto Mariotoni, pelo incentivo, pela franqueza, pela dedicação, pela paciência, e por acreditar finalmente na importância técnica e científica deste trabalho para a sociedade.

A todos professores que de certa forma ajudaram na minha formação na Pós-Graduação, em especial Professor Sergio Bajay pelo ingresso ao curso, Professor Kamal Ismail, Professor Arnaldo Cesar Walter e Ennio Peres da Silva por possibilitarem o meu retorno ao curso, e Professores Sinclair Guy-Mallet, Gilberto Januzzi, Arsênio O. Sevá Filho, Wilson Jardim e Raquel Negrão.

Ao CNPq pelo suporte na bolsa na fase inicial do curso.

À minha amiga e colega de docência na PUC-Campinas Professora Sueli do Carmo Bettine pela ajuda e incentivos na conclusão deste trabalho.

Aos antigos e recentes colegas de curso Márcio Athayde, Gurgel, Marco Antonio, Madureira, Mirko e Tereza, além dos funcionários do NIPE, DE/FEM e Pós-Graduação, em especial para Marcia, Neusa e Rodrigues.

À minha família por todo incentivo e confiança.

À minha esposa pela cumplicidade, paciência e dedicação.

“A curiosidade constante reacende todos os dias o interesse pela vida.”
Roberto Burle Marx (1909-1994), paisagista paulistano,
no livro Arte & Paisagem (Studio Nobel)

Resumo

CUNHA, Marcos Eduardo Gomes, “*Análise do Setor de Saneamento Ambiental no Aproveitamento Energético de Resíduos: O Caso do Município de Campinas – SP*”, : Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 128 p. Dissertação (Mestrado)

Os ecossistemas urbanos diferem-se em sua capacidade de suportar alterações e assimilar resíduos. A flexibilidade é uma medida da capacidade de um sistema de absorver mudanças, e alguns ecossistemas são mais flexíveis que outros. Cada ecossistema tem um domínio de estabilidade característico, no qual o fluxo de energia flui e reflui, e os organismos crescem, reproduzem-se e se adaptam às mudanças. O presente trabalho tem como objetivo a análise do aproveitamento energético de resíduos, notadamente os resíduos sólidos urbanos e lodos de esgoto de ETE's. Uma análise faz-se presente levando-se em conta que o município de Campinas recorrerá, possivelmente num futuro próximo, à disposição de seus resíduos de lodo partindo da premissa relacionada à co-disposição em aterro sanitário (Complexo Delta). Tal sistema de disposição, compartilhado com um sistema de gestão integrada – diante de mudanças político-institucionais e de aperfeiçoamento técnico-econômicos – tem potencial para transformar-se em uma Unidade Receptora e de Tratamento de Resíduos – URTR visando à captação e recuperação do biogás gerado. Este insumo energético após transformado em energia elétrica, demonstra capacidade no suprimento da demanda de energia elétrica necessária para a ETE-Piçarrão a ser construída em local próximo ao Complexo Delta.

Palavras Chave: Resíduo, lodo de esgoto, co-disposição, aterro, biogás e energia.

Abstrat

CUNHA, Marcos Eduardo Gomes, "*Environmental Sanitation Analysis in the energy use of urban wastes: The case of the municipal district of Campinas – SP*", : Mechanical Enginnering College, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 128 p. Dissertação (Mestrado)

The capacity of the urban ecosystems are different in the process of absorption of wastes as well as to support changes. As a given ecosystem has a different level of flexibility of another ecosystem, the capacity of a given ecosystem to absorb changes is measured by its level of flexibility. Each ecosystem has its own features of stability, in which energy and matter flow and back flow. Then the organisms grow and reproduce themselves. This process allows them to adapt to the changes eventually occurred during a given time. Our goal is to analyse the feasibility of using domestic sewage sludge and urban solid waste as input for the Energy Power Plant. Our analysis will use the features of Campinas, as the empirical part of this job, as our premise is that sooner or later, Campinas as well as other cities, will need to recover to this sort of handling process. Our premise is also to consider that the landfills will handle not only the organic domestic solid wastes but also the domestic sewage sludge. This shared disposition system, in partnership with an institutional, political, technical and economical facilities represents an integrated management which has a potential to replace the conventional landfills into an URTR (Solid Waste Acceptance and Treatment Unit). The aim of the URTR is to get and to recover the LFG (landfill gas) generated. This LFG, once is transformed into electric energy, demonstrates capacity to supply electrical energy to the Treatment System of Piçarrão.

Key Words: Waste, sewage sludge, sludge disposal, landfill, landfill gas and energy.

Índice

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Nomenclatura

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 03 |
| 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... | 04 |
| 2. OS RESÍDUOS NO SETOR DE SANEAMENTO AMBIENTAL..... | 08 |
| 2.1 OS RESÍDUOS E SUAS VERSÕES..... | 09 |
| 2.2 OS RESÍDUOS E SUA HISTÓRIA EM CAMPINAS..... | 25 |
| 2.3 UM QUADRO RECENTE DA SITUAÇÃO COMO DIAGNÓSTICO..... | 30 |
| 3. INSTRUMENTOS DE GESTÃO NO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS..... | 39 |
| 3.1 POLÍTICA DE GESTÃO EM SANEAMENTO AMBIENTAL..... | 40 |
| 3.2. UMA ANÁLISE NAS INTERAÇÕES DOS SETORES ELÉTRICO E DE SANEAMENTO AMBIENTAL..... | 48 |
| 3.3. FATORES RELEVANTES E MECANISMOS FACILITADORES NO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS..... | 57 |
| 4. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS NO CONTEXTO DO SANEAMENTO AMBIENTAL..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| 4.1. A ORIGEM ENERGÉTICA DO BIOGÁS..... | 75 |
| 4.2 A BIODIGESTÃO NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS..... | 76 |
| 4.3 CARACTERÍSTICAS E VOLUME DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS..... | 77 |
| 4.4 CONCEPÇÕES TECNOLÓGICAS NO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS..... | 85 |
| 4.5 VIABILIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA NA RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS..... | 92 |
| 4.6 A ENERGIA ELÉTRICA NO CONTEXTO DO SANEAMENTO AMBIENTAL..... | 99 |
| 5. RESULTADOS..... | 105 |
| 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 113 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 120 |
| ANEXOS..... | 128 |
| ANEXO I – MAPA DE CAMPINAS COM LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO DELTA | |
| ANEXO II – ESQUEMA GERAL DAS BACIAS NATURAIS DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS (CENÁRIO 1996/2020) | |
| ANEXO III – CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO DA IMPLANTAÇÃO DE ETE’S EM CAMPINAS | |
| ANEXO IV – PLANILHAS E GRÁFICOS DE CONSUMO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DA SANASA | |

Lista de Figuras

| | |
|---|-------|
| 2.1. COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MÉDIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS | 15 |
| 2.2. COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MÉDIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM ALGUNS MUNICÍPIOS BRASILEIROS | 15/16 |
| 2.3. SITUAÇÃO UGRHI – 05, QUANTO À QUANTIDADE DE LIXO GERADO | 32 |
| 2.4. SITUAÇÃO UGRHI – 05, QUANTO AO NÚMERO DE MUNICÍPIOS | 32 |
| 4.1. DISTRIBUIÇÃO PROPORCIONAL DA GERAÇÃO DE GÁS PARA COMPONENTES RAPIDAMENTE (A) E LENTAMENTE DEGRADÁVEIS (B) | 80 |
| 4.2. PLANTA DE COMPOSTAGEM E RECUPERAÇÃO DE METANO | 87 |
| 4.3. PLANTA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE URTR'S | 91 |
| 5.1. GRÁFICO DE COMPORTAMENTO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO DELTA A DESDE 1996 A 2026 COM ENCERRAMENTO EM 2012 | 108 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-------|
| 2.1. COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PROPRIEDADES TÍPICAS DOS RLE | 18 |
| 2.2. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES | 23 |
| 2.3. EXEMPLOS DE CONCEPÇÕES DE ETE'S E A PRODUÇÃO DE LODOS DE ESGOTO | 24 |
| 2.4. EXEMPLOS DE SISTEMAS DE ETE'S E A PRODUÇÃO DE LODOS DE ESGOTO | 24/25 |
| 2.5. RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS | 33 |
| 2.6. QUADRO DAS CARGAS POLUIDORAS URBANAS DA UGRHI - 05 | 35 |
| 2.7. QUADRO RESUMO DE INDICADORES E DADOS DA SANASA | 36 |
| 3.1. AUMENTO DA COBERTURA E VOLUME DE INVESTIMENTOS PREVISTOS | 44 |
| 3.2. INSTRUMENTOS ECONÔMICOS UTILIZADOS NA HOLANDA | 64 |
| 4.1. EQUIVALENTES CALORÍFICOS DO BIOGÁS (60% CH ₄) | 77 |
| 4.2. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS | 77 |
| 4.3. CARACTERÍSTICAS DO METANO | 77 |
| 4.4. DETALHAMENTO QUALITATIVO DO LIXO (ESTIMATIVO) EM % | 80 |
| 4.5. TAXA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS DISTRIBUÍDA AO LONGO DOS ANOS A PARTIR DO INÍCIO DA DISPOSIÇÃO DE UMA MASSA UNITÁRIA DE LIXO (CNTTP) | 82 |
| 4.6. VAZÕES ATENDIDAS PELA ETE DE BARUERI - SP | 83 |
| 4.7. VAZÕES E POPULAÇÕES ATENDIDAS PELA ETE DE FRANCA - SP | 84 |

| | |
|--|-----|
| 4.8. DADOS OPERACIONAIS DOS DIGESTORES DA ETE-FRANCA (MARÇO DE 1999) | 84 |
| 4.9. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA | 90 |
| 4.10. CÁLCULO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR REGIÃO METROPOLITANA | 92 |
| 4.11. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE SISTEMAS URTR'S PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO | 98 |
| 4.12. ENERGIA POTENCIALMENTE EVITÁVEL COM A RECICLAGEM | 104 |

Nomenclatura

| | |
|-------------|---|
| ABES | Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental |
| ABIQUIM | Associação Brasileira das Indústrias Químicas |
| ABLP | Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Sólidos |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AEA | Agência Européia de Meio Ambiente |
| AICV | Avaliação Integrada do Ciclo de Vida |
| ANA | Agência Nacional das Águas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ASMAE | Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia |
| ASSEMAE | Associação dos Serviços Municipais de Água e Esgoto |
| BAE/UNICAMP | Biblioteca da Área de Engenharia |
| BID | Banco Interamericano de Desenvolvimento |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Social |
| BNH | Banco Nacional de Habitação |
| C&C | Comando e Controle |
| CBH-PCJ | Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá |
| CENBIO | Centro de Referência de Biomassa |

| | |
|-------------|--|
| CER | Certificado de Redução de Emissão (<i>Certified Emissions Reductions</i>) |
| CESB's | Companhias Estaduais de Saneamento Básico |
| CESP | Companhia Energética do Estado de São Paulo |
| CETESB | Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Ambiental |
| CIAS | Consórcio Intermunicipal de Aterro Sanitário |
| CIDA | Agência Canadense de Desenvolvimento Internacional (<i>Canadian International Development Agency</i>) |
| CNEC | Empresa brasileira de consultoria e projetos |
| CNTP | Condições Naturais de Temperatura e Pressão |
| COMAE | Conselho do Mercado Atacadista de Energia |
| COMGÁS | Companhia Estadual de Distribuição de Gás |
| COMLURB | Companhia Municipal de Limpeza Urbana |
| CONSEMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| COPPE | Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia |
| CPFL | Companhia Paulista de Força e Luz |
| CPUC | Comissão de Utilidade Pública do Estado da <i>California</i> (<i>California Public Utilities Commission</i>) |
| CTRE | Central de Processamento e Reciclagem de Entulho |
| CTRI | Central de Tratamento de Resíduos Industriais |
| DAE | Departamento de Água e Esgoto |
| DAEP | Departamento de Água e Esgoto do município de Penápolis |
| DEP | Departamento de Esgotos Pluviais |
| DESAN | Departamento Nacional de Saneamento |
| DLU/SSP/PMC | Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Campinas |

| | |
|------------|---|
| DMAE | Departamento Municipal de Água e Esgoto |
| DMLU | Departamento Municipal de Limpeza Urbana |
| DUMA | Departamento de Urbanismo e Meio Ambiente |
| EIA/RIMA | Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental |
| ELETROBRÁS | Centrais Elétricas Brasileiras S.A. |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ESCO's | Companhias de Performance Energética (<i>Energy Saving Companies</i>) |
| ETA's | Estações de Tratamento de Água |
| ETE's | Estações de Tratamento de Esgoto |
| ETIP | Departamento de Projetos de Inovação Tecnológica em Energia (<i>Energy Technology Innovation Project</i>) |
| FCT/PUC | Faculdade de Ciências Tecnológicas da PUC de Campinas |
| FGTS | Fundo de Garantia por Tempo de Serviço |
| FMI | Fundo Monetário Internacional |
| GCE | Câmara de Gestão da Crise Energética |
| GDL | Gás do Lixo |
| GLP | Gás Liquefeito de Petróleo |
| IBAM | Instituto Brasileiro de Administração Municipal |
| IBGE/PNAD | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios |
| IE | Instrumentos Econômicos |
| IE/UNICAMP | Instituto de Economia |
| IEE/USP | Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP |
| IPCC | Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel Climate Change</i>) |

| | |
|------------|--|
| IPT/CEMPRE | Instituto de Pesquisas Tecnológicas/ Centro Empresarial de Compromisso à Reciclagem |
| IPTU | Imposto Predial Territorial Urbano |
| IQC | Índice de Qualidade de Disposição de Resíduos em Usinas de Compostagem |
| IQR | Índice de Qualidade de Disposição de Resíduos em Aterros |
| ISO | Organização Internacional de Padronização (<i>International Standard Organization</i>) |
| LMOP | Programa de Aproveitamento do Metano em <i>Aterros (Landfill Methane Outreach Program)</i> |
| MAE | Mercado Atacadista de Energia |
| MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| MPO | Ministério do Planejamento e Orçamento |
| NBR | Normatização Brasileira |
| ONG's | Organizações Não Governamentais |
| ONS | Operador Nacional do Sistema |
| OPS | Organização Panamericana de Saúde |
| PD&D | Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração |
| Pe | Potência equivalente |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PLANASA | Plano Nacional de Saneamento Básico |
| PLANIDRO | Empresa brasileira de consultoria e projetos |
| PMSS | Programa de Modernização do Setor de Saneamento |
| PNCDA | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água |

| | |
|---------------|---|
| PND BH | Plano Nacional de Despoluição de Bacias Hidrográficas |
| PNSB | Pesquisa Nacional de Saneamento Básico |
| POWERTECH | Empresa americana de consultoria e projetos |
| PPP | Princípio do Poluidor Pagador |
| PROCEL | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica |
| RLE | Resíduos de Lodos de Esgoto |
| RMC | Região Metropolitana de Campinas |
| RMSP | Região Metropolitana de São Paulo |
| RSDO | Resíduos Sólidos Domiciliares Orgânicos |
| SABESP | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SANASA | Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas |
| SANEPAR | Companhia de Saneamento do Paraná |
| SBPC | Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência |
| SCS Engineers | Empresa americana de consultoria e projetos |
| SEPURB | Secretaria Especial de Planejamento Urbano |
| SFH | Sistema de Financiamento Habitacional |
| SLTI | Sistemas Localizados de Tratamento Individual |
| SMA/SP | Secretaria Estadual de Meio Ambiente |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| SSV | Sólidos Suspensos Voláteis |
| ST | Sólidos Totais |
| SV | Sólidos Voláteis |
| SWECO | Empresa sueca de consultoria e projetos |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |

| | |
|---------|---|
| UASB | Upflow Anaerobic Sludge Blanket |
| UFRJ | Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UGRHI's | Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| UNICAMP | Universidade Estadual de Campinas |
| URTR's | Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos |
| USAID | Agência Norte-Americana de Desenvolvimento <i>Internacional (United States of America International Department)</i> |
| USEPA | Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (<i>United States Environmental Protection Agency</i>) |
| USP-SP | Universidade Estadual de São Paulo |
| UTI | Usina de Tratamento Integrado |

Capítulo 1

Introdução

O setor de saneamento ambiental tem sido objeto de pouco planejamento e de diretrizes políticas ao longo destes últimos 25 anos no Brasil. Desde a paralisação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA), o setor ficou a reboque de ações locais e regionais totalmente dispersas dentro de um contexto de desenvolvimento urbano e industrial com vistas a uma política setorial coesa e interativa sobre o ponto de vista ambiental no âmbito nacional.

Por outro lado, conforme divulgado pelo guia técnico do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM/DUMA & ELETROBRÁS/PROCEL, 1998), o setor de saneamento corresponde 2,1% (5.804 GWh/ano) do consumo de energia elétrica do país.

A maior parcela do consumo de energia atualmente, deriva dos sistemas de abastecimento de água, especificamente da captação, adução e tratamento, que fazem parte essencial do sistema operacional das Companhias de Saneamento. Outra parcela, como é o caso dos sistemas de esgotamento sanitário, especificamente a coleta, afastamento, interceptação e tratamento dos esgotos, tem merecido grande importância e pressões da sociedade civil de através mecanismos de controle, como as agências ambientais e promotorias públicas, que contam com uma legislação recente e bastante apropriada para o atendimento satisfatório da questão.

Observa-se que o setor de saneamento ambiental demanda um melhor posicionamento interativo com outros setores de infra-estrutura urbana. Existem para tanto algumas interações do setor de saneamento ambiental com o setor de energia elétrica, sobretudo com enfoque no aproveitamento dos resíduos como insumo energético, notadamente na geração de energia elétrica a partir do biogás (metano).

Para ilustrar estas interações, o texto resgata a história do município de Campinas com relação ao entendimento, pesquisa, além de práticas desenvolvidas e exercidas sobre o assunto. Continuando o conhecimento, o texto retrata um diagnóstico da Região Metropolitana de Campinas (RMC) e local do município de Campinas quanto às questões dos resíduos sólidos e lodos de estações de tratamento de esgoto e o notório problema ambiental causado pela precariedade no gerenciamento dos resíduos.

Estabelece-se uma análise da situação deste gerenciamento sobre os diversos aspectos políticos, administrativos, institucionais, tributários e sobretudo, sobre aspectos inerentes a uma nova ordem econômica ambiental que poderá acarretar em diversos fatores e mecanismos facilitadores para a viabilização e melhor gerenciamento dos resíduos como insumo energético.

O estado da arte faz-se presente com o conhecimento das formas de geração de biogás aplicadas às tecnologias de geração de energia elétrica, onde destaca-se a tecnologia de aterros sanitários energéticos como uma solução simples e ao alcance no que concerne a viabilização técnica e econômica. A questão é remetida para um estudo de caso atual onde é demonstrado o grande potencial energético ainda não explorado. Contudo, conclui-se que a viabilização de projetos baseados no aproveitamento energético dos resíduos em estudo deve-se ainda à questão técnica e econômica, mas sobretudo, e talvez o mais importante, deve-se também a falta de planejamento nas estruturas institucionais e nos sistemas tarifários tanto do setor de saneamento como o de energia. A questão, assim, passa a merecer uma análise cuidadosa sob o ponto de vista das interações dos setores, das aplicações de mecanismos técnicos e instrumentos econômicos. Tais ações têm sido negligenciadas pelos técnicos e dirigentes públicos por razões políticas e administrativas e, pior que isto, por falta de conhecimento e dados práticos relacionados ao

assunto.

Com isso, este texto, como parte dos pré-requisitos para a titulação de mestrado em planejamento de sistemas energéticos, presta sua contribuição à sociedade civil organizada, aos dirigentes e técnicos públicos e da iniciativa privada, que necessitem de melhor esclarecimento e conhecimento da questão, estabelecendo práticas de desenvolvimento do aproveitamento energético de resíduos a fim de que sejam efetivamente exercidas em prol de todos nós, cidadãos brasileiros.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar o aproveitamento energético dos resíduos sólidos domésticos orgânicos, associados à co-disposição de lodos de esgoto de estações de tratamento de esgoto, e suas perspectivas quanto à viabilidade técnico-econômica aplicados ao setor de saneamento ambiental no município de Campinas, apresentando-se notadamente como opção estratégica no suprimento energético da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas (SANASA).

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

- ✓ Conhecer e diagnosticar a problemática dos resíduos em estudo quanto a composição, produção e estratégias de destinação, disposição e tratamento;
- ✓ Analisar as interações dos setores de saneamento ambiental e de energia elétrica no que concerne ao aproveitamento energético de resíduos;
- ✓ Apontar os fatores relevantes e mecanismos facilitadores para o aproveitamento energético de resíduos;
- ✓ Identificar as tecnologias inerentes para recuperação e aproveitamento energético do biogás

a partir de resíduos;

- ✓ Avaliar as diferentes metodologias de cálculo de geração de biogás em aterros sanitários energéticos;
- ✓ Analisar a viabilidade técnico-econômica do aproveitamento energético de resíduos;
- ✓ Desenvolver e concluir um estudo de caso sobre a questão, com ênfase no setor de saneamento ambiental no município de Campinas.

1.2 Organização do trabalho

O desenvolvimento do trabalho partiu de uma revisão bibliográfica sobre o assunto, visitas técnicas e pesquisas nos principais acervos de instituições de tecnologia e pesquisa que estudam a questão energética e de saneamento. Ressalta-se a importância de contribuições técnicas pessoais de técnicos e pesquisadores especialistas que estudam a questão do aproveitamento energético de resíduos, além das interações realizadas através do *net group* gás-de-aterro e do intercâmbio com a Agência Ambiental Americana (U.S.EPA) através do Programa LMOP - *Landfill Methane Outreach Program da United States Environmental Protection Agency*. Ainda assim, com intuito de obter dados práticos sobre a questão, e através de suas Câmaras de Comércio, desenvolveu-se contatos com empresas estrangeiras norte-americanas e européias de engenharia e consultoria especialista em aproveitamento energético a partir de resíduos, o que resultou em informações técnicas importantes no que tange as perspectivas desta área de conhecimento.

O presente trabalho resume-se basicamente em seis etapas que correspondem aos seis capítulos desta dissertação e está estruturada conforme os itens apresentados a seguir.

1.2.1 Principais aspectos da pesquisa

“A relutância apresentada por potenciais investidores para considerar projetos de gás de aterros é indubitavelmente devida à falta de dados precisos, seja para produção de gás, seja para estudos de mercado para a energia a ser produzida.” Esta afirmação foi relatada pelos técnicos especialistas da U.S.EPA in *2nd International Methane Mitigation Conference* realizado em Novosibirsk, Rússia em junho de 2000. Passados 12 meses deste evento, esta afirmação descrita acima manteve-se com os técnicos da U.S.EPA no Workshop Internacional denominado “Geração de Eletricidade com Gás de Lixo em São Paulo” realizado em São Paulo, Brasil em junho de 2001 (USEPA, 2001).

O Programa LMOP/USEPA tem procurado responder e ajudar os países, entre os quais notadamente o Brasil, no intercâmbio técnico e científico, mas sobretudo em estudos que apontem para a viabilização técnico-econômica no aproveitamento energético do gás de aterro.

Diante de novas perspectivas de estudos e aplicações de projetos sobre o assunto relatado anteriormente, e ainda diante do atual quadro de mudanças na matriz energética brasileira, especialmente no setor elétrico, a presente pesquisa apresenta-se como uma abordagem do aproveitamento energético de resíduos visando sua aplicação no setor de saneamento ambiental.

Assim, no capítulo 1, argumenta-se como introdução ao assunto, o fato de que o setor de saneamento comprovadamente está demandando quantidades significativas no consumo de energia elétrica para o suprimento energético e operacional de suas atividades de captação, adução e tratamento de água. Por outro lado, o setor de saneamento diante de um enfoque mais amplo na área ambiental poderá contribuir para equalização das questões de resíduos, sejam estes sólidos, semi-sólidos ou líquidos, que possuem características peculiares para seu aproveitamento energético em sistemas de destinação e tratamento devidamente desenvolvidos e projetados para tal.

No capítulo 2, observa-se o conhecimento e as definições dos resíduos passíveis de serem

aproveitados energeticamente pelo setor de saneamento ambiental, onde destaca-se os resíduos sólidos domésticos orgânicos e os resíduos de lodo de esgoto.

Para que o setor de saneamento ambiental obtenha resultados positivos na viabilidade técnico-econômica no aproveitamento energético de resíduos, é de fundamental importância a aplicação de instrumentos de gestão que são abordados no capítulo 3.

Procurando abordar o estado da arte do assunto, o capítulo 4 descreve as tecnologias de aproveitamento energético de resíduos, a geração de biogás em aterros e, sobretudo a viabilidade técnico-econômica de projetos que possuem condições geográficas, estruturais e de recursos operacionais capazes de conduzir uma nova ordem econômico-ambiental na análise institucional em termos de planejamento estratégico interativo entre os setores elétrico e de saneamento dentro do contexto do ecossistema urbano.

1.2.2 Estudo de caso, resultados e conclusões

No capítulo 5, tem-se um estudo de caso para aproveitamento energético dos resíduos sólidos domésticos orgânicos e resíduos de lodo de esgoto utilizando-se do sistema de destinação, tratamento e disposição final do Complexo Delta no município de Campinas. Diante das condições técnicas levantadas no sistema do Complexo Delta (Aterros Delta A e B), apresenta-se análise de diversas metodologias e referências bibliográficas no cálculo de geração de biogás.

A partir dos dados apontados no estudo de caso, os resultados apresentados no capítulo 5 levam em consideração as incertezas nas metodologias utilizadas, o que remete a novas pesquisas no que concerne ao desenvolvimento do cálculo de geração de biogás em aterros diante das condições ambientais e tecnológicas de cada sistema e região.

Por fim, o capítulo 6 conclui o trabalho enfatizando a necessidade de novas pesquisas em relação ao aproveitamento energético do gás de aterro, especialmente no Complexo Delta que em particular poderá ser desenvolvido como um sistema de aproveitamento energético e de

tratamento de resíduos sólidos orgânicos domésticos e de resíduos de lodo de esgoto do município de Campinas, servindo assim de suprimento energético e operacional para a ETE-Piçarrão.

Capítulo 2

Os resíduos no setor de saneamento ambiental

Embora exista diversas definições quanto a questão dos resíduos sólidos urbanos, o fato é que em sua maioria, as definições enfatizam que são sobras ou mesmo resíduos, nos estados sólido e semi-sólido, resultantes de atividades da comunidade em geral.

Diante da Política Estadual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos¹, no artigo 3º, onde os resíduos sólidos são definidos como aqueles nos estado sólido e semi-sólido resultantes de processo de produção, transformação, utilização ou consumo em atividade industrial, comercial, de prestação de serviço, agrícola, doméstica ou outra, destinados à reciclagem ou disposição final. Ainda no mesmo artigo 3º, parágrafo único, enquadram-se também como resíduos sólidos: os efluentes líquidos cujas peculiaridades tornem inviável seu lançamento final em rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções tecnicamente ou economicamente inviáveis, e os resíduos gasosos contidos em recipientes.

¹ SÃO PAULO, Projeto de Lei n.º 817 de 1999, que dispõe sobre Política Estadual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em análise pela Comissão de Meio Ambiente da Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo

No que se refere à Política Estadual de Saneamento², no artigo 2º, inciso I, define-se saneamento ou saneamento ambiental como o conjunto de ações, serviços e obras que têm por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo, drenagem urbana, controle de vetores de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializados.

Pelos encaminhamentos propostos em projeto de lei, e pelas definições estabelecidas em leis estaduais, tem-se que dentro da família dos resíduos sólidos urbanos, encontram-se os resíduos sólidos domiciliares, notadamente a fração orgânica com disposição final em Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's), como também os resíduos de lodos de esgoto de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's). Ainda assim, tem-se que o termo saneamento é, notadamente estendido para o termo saneamento ambiental, incluindo-se desta forma as questões relacionadas aos resíduos sólidos, águas pluviais e vetores de doenças transmissíveis.

Portanto, para que se possa relatar sobre o assunto de resíduos sólidos urbanos no setor de saneamento, em particular os Resíduos Sólidos Domiciliares Orgânicos (RSDO) e os Resíduos de Lodos de Esgoto (RLE), é necessário ter conhecimento de: conceitos, definições, origem, composição, produção e suas taxas per capita inerentes à questão.

2.1 Os resíduos e suas versões

A etimologia da palavra lixo, embora controversa, remete sempre à língua latina. Para alguns estudiosos deriva de *lix*, que em latim tem o significado de cinza ou lixívia. Contudo, outros estudiosos entendem que a palavra provém do latim medieval já decadente, onde o verbo *lixare* indicava o ato de polir, debastar, tomando em português a conotação de sujeira, restos ou supérfluo que é removido ou arrancado, na tarefa de lixar materiais diversos como metal, madeira etc (SMA/SP, 1993).

² SÃO PAULO, Lei n.º 7.750 de 31 de março de 1992, que estabelece a Política Estadual de Saneamento

Outra forma utilizada para se referir aos resíduos gerados pelas atividades humanas é, chamá-lo de resíduos sólidos. Esta nomenclatura também pode ser encontrada na literatura.

A palavra resíduo também, deriva do latim *residuu*, significando aquilo que resta de qualquer substância. Logo, porém, foi adjetivada de “sólido” para diferenciar dos restos líquidos lançados com os esgotos domésticos e das emissões gasosas das chaminés à atmosfera (SMA/SP, 1993).

O lixo, na realidade, pode apresentar características de matéria-prima proveniente de recursos não renováveis, cuja produção provoca custos financeiros e energéticos e, pode causar impactos negativos ao ambiente. O ser humano se livra do lixo jogando-o fora de seu alcance, mas não do ambiente em que vive (SODRÉ, 1997).

Ainda o mesmo autor coloca que isso tem um duplo custo. Primeiro, o preço pago pela perda do que serviria como matéria-prima em um novo ciclo de produção. Segundo, o custo da remoção e destinação final do lixo. Enquanto o custo da transformação da matéria-prima está embutido no preço de cada produto, o preço do tratamento dos resíduos recai sobre a sociedade como um todo, sem distinguir o nível de consumo de cada um.

O lixo que foi colocado de lado pela sociedade e pelos administradores públicos tornou-se um risco ao ambiente e à qualidade de vida das pessoas. Para que a humanidade reverta este quadro não são suficientes apenas soluções técnicas e econômicas, deve-se rever os padrões de consumo e comportamento dos indivíduos.

Dessa forma, necessitamos refletir sobre o destino dos resíduos sólidos gerados pelos seres humanos, pois estes, se não tratados da maneira correta, podem contribuir significativamente para a degradação da biosfera em detrimento da qualidade de vida em nosso planeta.

Definição

Os resíduos podem ser encontrado na literatura com definições das mais variadas, porém com aspectos em comum.

Conforme a norma (ABNT/NBR 10.004, 1987), os resíduos sólidos são definidos como:

“Resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Conforme Teixeira (1993), a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é muito ampla e equivoca-se ao incluir os líquidos juntamente com os resíduos sólidos. A norma poderia incluir os líquidos juntamente com os resíduos sólidos para efeito de tratamento, mas não simplesmente denominá-los como resíduos sólidos.

A definição de lixo segundo o IPT/CEMPRE (2000) é a seguinte: restos de atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentando-se no estado sólido, semi-sólido ou semilíquido, ou seja, com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente.

Para Campbell, citado por Teixeira (1993), “resíduos são sempre descritos como uma fonte potencial de matéria prima para alguém, no local errado e no tempo errado”.

Segundo a definição de Campbell citado por Teixeira (1993), *“é interessante por expressar a relatividade do conceito de resíduo, pois parte da premissa de que algo que é resíduo para alguém é passível de se tornar matéria-prima para outra pessoa. Isso é correto até*

certo ponto, mas a descrição não reconhece a realidade de que há restrições técnicas e econômicas à completa reciclagem e reutilização.”

Conforme Batalha, citado em SMA/SP (1993), resíduo sólido pode ser definido como: “material inútil, indesejável ou descartado, com conteúdo líquido insuficiente para que possa fluir livremente nos estados sólidos e semisólidos resultantes de atividades da comunidade, sejam eles de origem doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e industrial.”

De acordo com Tchobanoglous, Theisen & Eliassen (1993), os resíduos sólidos são todos os resíduos que procedem de atividades humanas e de animais que são normalmente sólidos e que são descartados como inúteis e indesejados. O termo inclui todas as massas heterogêneas de resíduos de comunidades urbanas e mesmo acumulações mais homogêneas da agricultura, industriais e minerais.

Segundo Gendebien et al, citado por Teixeira (1993), definem resíduos sólidos municipais e urbanos como sendo resíduos domésticos aqueles gerados pela população e, geralmente, coletados em casas individuais, mais os resíduos de composição similar gerados por unidades comerciais e industriais.

Origem

Segundo Lima (1995), os fatores que regem a origem e produção do lixo são, basicamente, dois: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. Os resíduos urbanos, tornam-se sério problema para os órgãos responsáveis pela limpeza pública, pois diariamente grandes volumes de toda a natureza são descartados no meio urbano, necessitando um destino final adequado. Entretanto, a escassez de recursos técnicos e financeiros vem limitando os esforços no sentido de ordenar a disposição dos resíduos, que terminam por ser lançados diretamente no solo, no ar e nos recursos hídricos.

Conforme Schneider (1994), dentro desse contexto caracteriza-se a inescapabilidade do lixo, pois os processos aos quais está associado o processo de geração são, ao menos neste

momento, igualmente crescentes, desordenados e ininterruptos. Não há como conter em um curto espaço de tempo o avanço da densidade demográfica, do processo de industrialização e da tecnologia. Sendo assim, teremos que conviver por muito tempo ainda com o aumento a cada instante da massa de resíduos quantitativa e qualitativamente.

De acordo com Lima (1995), alguns dos fatores que influenciam a origem e geração dos resíduos sólidos, são:

- ✓ Número de habitantes do local;
- ✓ Área relativa de produção;
- ✓ Variações sazonais;
- ✓ Condições climáticas;
- ✓ Hábitos e costumes da população;
- ✓ Nível educacional;
- ✓ Poder aquisitivo;
- ✓ Tempo de coleta;
- ✓ Eficiência da coleta;
- ✓ Tipo de equipamento de coleta;
- ✓ Disciplina e controle dos pontos produtores; e.
- ✓ Leis e regulamentações específicas.

O mesmo autor ressalta como um dos fatores mais importantes para a origem e formação dos resíduos sólidos os aspectos econômicos. Quando ocorrem variações na economia de um sistema, seus reflexos são imediatamente percebidos nos locais de disposição e tratamento do lixo. Outros fatores também são importantes, como as migrações periódicas nas férias de verão e inverno. Nestes períodos, com a paralisação das atividades escolares, ocorrem consideráveis mudanças na rotina dos estabelecimentos comerciais e industriais, principalmente nas cidades turísticas.

Segundo Tchobanoglous, Theisen & Eliassen (1993), a origem dos resíduos sólidos em uma comunidade são, em geral, relativas ao uso da terra e ao zoneamento. Portanto, pode-se classificar inúmeras fontes dos resíduos, sendo mais comuns as seguintes: residenciais, comerciais, institucionais, construção e demolição, serviços municipais, estações de tratamento, resíduos sólidos municipais, industriais e agrícolas.

Composição

A composição dos resíduos sólidos é função de cada atividade desenvolvida pelo homem e sofrem variações com o decorrer do tempo em função do desenvolvimento de uma região e das modificações advindas da transformação dos processos industriais.

Expresso em kg/m^3 é o peso do lixo em relação ao volume. Para efeito de dimensionamento de equipamentos, o seu conhecimento é de fundamental importância. No Brasil, em função da grande quantidade de material orgânico no lixo, o peso específico varia entre 148 kg/m^3 a 178 kg/m^3 . No caminhão compactador apresenta peso específico de 237 a 415 kg/m^3 . Em aterros, o peso específico é de 356 a 1.009 kg/m^3 .

A título de ilustração a figura 2.1. (CAMPINAS, 1996) e as figuras 2.2. (IPT/CEMPRE, 2000), ilustram a composição percentual média dos resíduos sólidos domésticos de algumas cidades brasileiras.

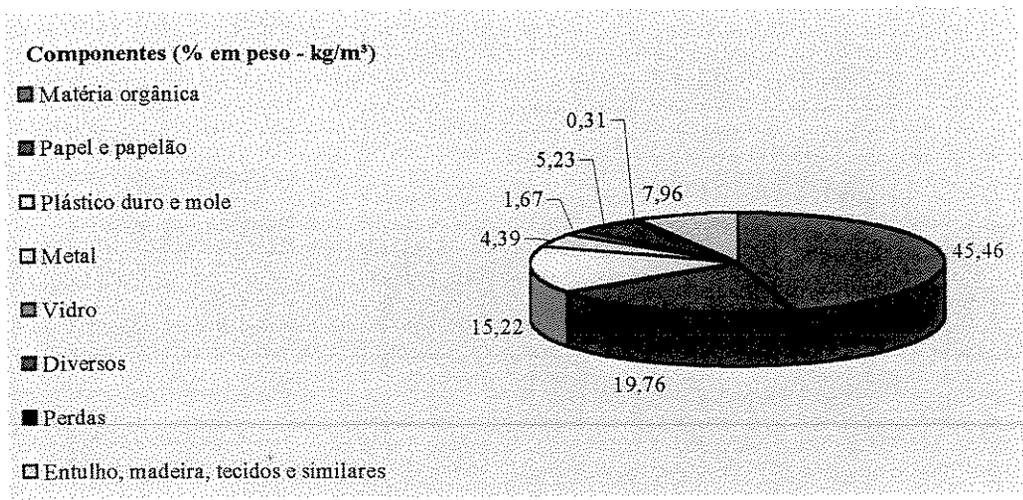
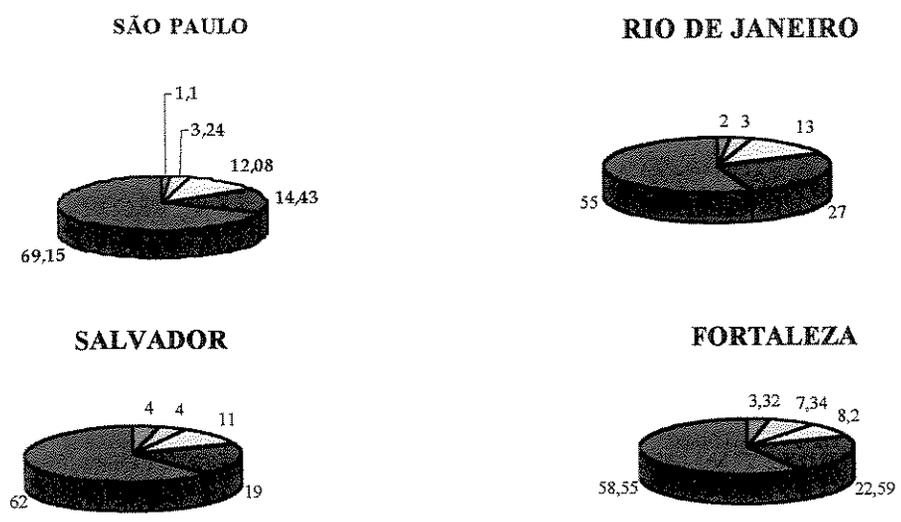
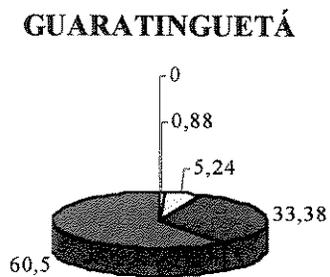
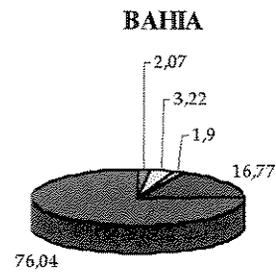
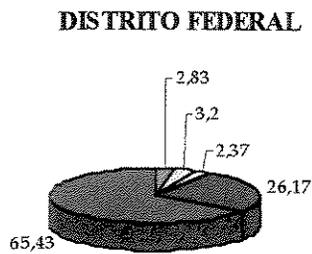
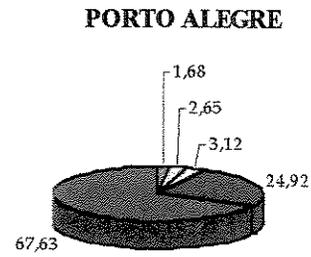
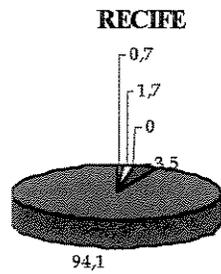


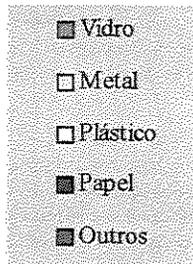
Figura 2.1. - Composição percentual média dos resíduos sólidos domiciliares no município de Campinas - CAMPINAS (1996)



Figuras 2.2. - Composição percentual média dos resíduos sólidos domiciliares em alguns municípios brasileiros - IPT/CEMPRE (2000)



LEGENDA



Figuras 2.2. - Composição percentual média dos resíduos sólidos domiciliares em alguns municípios brasileiros - IPT/CEMPRE (2000)

No caso dos esgotos, segundo Andreoli, Lara & Fernandes (1999) todos os sistemas de tratamento de esgotos produzem Resíduos de Lodos de Esgotos (RLE). Esta é uma denominação genérica para os sólidos que se acumulam no sistema e que devem, periódica ou continuamente, de acordo com o sistema de tratamento, serem descartados.

Lodo é o termo utilizado para os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgotos antes do tratamento adequado para disposição final. O lodo poderá ser primário, secundário, digerido ou desidratado, e o que os diferencia são os processos de tratamento onde são gerados. No caso, do lodo primário, este é oriundo da fase preliminar do tratamento, chamado de tratamento primário, dentro do contexto amplo de um sistema de tratamento de esgotos.

O lodo primário nada mais é do que o esgoto sanitário com seus materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão muito mais concentrados sendo, portanto, ainda mais agressivo do que o próprio esgoto e necessita ser tratado para estabilizar a matéria orgânica e diminuir o seu volume, de modo a permitir uma disposição adequada do lodo.

O lodo secundário tem natureza bastante distinta, em relação ao lodo primário. O lodo secundário tem seus componentes, em sua maior quantidade, gerados no processo biológico, sendo assim constituídos principalmente por microrganismos, produtos extracelulares e resíduos que não foram removidos no tratamento primário das ETE's.

Por outro lado, o lodo digerido e desidratado constituem de resíduos que passaram por processos de adensamento, estabilização e digestão biológica, tornando-se inertes e estáveis para posterior destinação em sistemas de condicionamento, desaguamento ou mesmo de secagem de lodo. A seguir tem-se a tabela 2.1. onde apresenta-se a composição físico-química e propriedades típicas dos Resíduos de Lodo de Esgoto (RLE).

Tabela 2.1. : Composição físico-química e propriedades típicas dos RLE

| Parâmetros | Unidade | Lodo Primário | | Lodo Secundário | | Lodo Desidratado | |
|------------------------|--------------------|---------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|
| | | Faixa | Típico | Faixa | Típico | Faixa | Típico |
| pH | - | 5,0-8,0 | 6,0 | 6,5-7,5 | 7,0 | 6,5-7,5 | 7,0 |
| Sólidos totais ST | % | 2,0-8,0 | 5,0 | 6,0-12,0 | 10,0 | 6,0-12,0 | 10,0 |
| Nitrogênio total | % de ST | 1,5-4,0 | 2,5 | 1,6-6,0 | 3,0 | 2-6 | 3,5 |
| Fósforo | % de ST | 0,8-2,8 | 1,6 | 1,5-4,0 | 2,5 | 0,5-4,0 | 2,5 |
| Potássio | % de ST | 0-1 | 0,4 | 0-3,0 | 1,0 | 0-0,5 | 0,2 |
| Sólidos voláteis SV | % de ST | 60-80 | 65 | 50-70 | 60 | 30-60 | 40 |
| Sólidos secos | % | 2-6 | 4 | 0,5-2 | 1 | 15-35 | 25 |
| Peso específico (lodo) | kg/cm ³ | ~ 1,02 | | ~ 1,05 | | ~ 1,10 | |
| Energia contida (lodo) | MJ/kgSV | 10-22 | | 12-20 | | 25-30 | |

Fontes: ANDREOLI (1999) adaptado de: METCALF & EDDY (1991)
 SABESP (2001) adaptado de: ANDREASEN & NIELSEN (1992)

Produção

“No decorrer deste século, para se atender as necessidades humanas, foi se desenhando uma equação desbalanceada: retirar, consumir e descartar. É exatamente na ponta dessa equação que está um dos maiores problemas da sociedade moderna - a produção de lixo” (SMA/SP, 1998a).

Portanto, tem-se que através das atividades diárias dos seres humanos em sociedade, o lixo é gerado e os fatores que regem sua origem e produção são, basicamente, dois: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. Com o aumento da população visto nos últimos anos, juntamente com a expansão da industrialização, maiores quantidades de produtos são necessários para atender a uma demanda cada vez maior.

Segundo Sodré (1997), vive-se, hoje, em uma sociedade global de massas onde impera a produção em série e a distribuição massiva de produtos e serviços. As agressões ao ambiente constituem uma constante, e os consumidores acabam por perceber a natureza como uma série de objetos a serem consumidos, ou seja, destruídos, não relacionando seu ato de consumir com as conseqüências que o mesmo causa ao meio ambiente.

A sociedade moderna foi condicionada a um aumento de consumo e à cultura do descarte. Essa cultura levou à produção de toneladas de lixo, que na maioria das vezes, não tem destino

correto SMA/SP (1998b). Assim se faz adequado citar o que propõe a Agenda 21 ³: “a sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação de um volume cada vez maior de resíduos. Os Governos, juntamente com a indústria, as famílias e o público em geral, devem realizar um esforço conjunto para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados”.

Segundo Tchobanoglous, Theisen & Eliassen (1993), as instalações, atividades e locais onde são gerados os resíduos podem ser vistas a seguir, de acordo com suas fontes específicas:

- ✓ Residenciais: são resíduos gerados em residências unifamiliares e multifamiliares, edifícios de pouca, média e grande altura.
- ✓ Comerciais: são resíduos gerados em lojas, residências, mercados, edifícios de escritórios, hotéis, motéis, lojas de impressos, mecânicas, etc.
- ✓ Institucionais: são resíduos gerados em escolas, hospitais, prisões, centros governamentais.
- ✓ Construção e demolição: são resíduos gerados em novas construções, reparos/reformas, demolições de edifícios, quebra de pavimento.
- ✓ Serviços municipais: são resíduos gerados em limpeza de ruas, praças, parques, praias e outras áreas de recreação.
- ✓ Estação de tratamento: são resíduos gerados em estações de tratamento de água, esgoto e processos de tratamento industriais.
- ✓ Resíduos sólidos municipais: são resíduos gerados em todas as fontes acima citadas.

³ Agenda 21: Documento da II Conferência Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida no Rio de Janeiro em 1992 - ECO92 que tem como pressuposto a definição de princípios e diretrizes visando o desenvolvimento sustentável. Este documento define estratégias e linhas de ação num dinâmico processo de interação entre a sociedade civil e o setor público visando os direitos e responsabilidades das nações na procura do progresso e o bem-estar da humanidade.

- ✓ Industriais: são resíduos gerados em construções, fabricações, leves e pesadas manufaturas, refinarias, indústrias químicas, demolições, etc.

- ✓ Agrícolas: culturas, horta, vinhedos e outros.

Segundo Figueiredo (1993), existem vários fatores responsáveis pelo agravamento da intensidade de geração dos resíduos, das disponibilidades e das limitações do reaproveitamento dos mesmos. Dentre estes fatores, dois são particularmente importantes: o aumento do consumo e a produção de materiais “artificiais”, ou seja, produzidos artificialmente por síntese química. A relevância do primeiro fator está na estreita relação entre o aumento populacional e a geração de resíduos, com o agravante do crescimento na geração per capita de resíduos, imposto pelos padrões de consumo das sociedades atuais, firmados em uma racionalidade econômica que não mais se sustenta do ponto de vista ambiental, e caracterizados pela adoção, por parte das elites dominantes, de conceitos e programas de desenvolvimento antagônicos a uma relação harmônica do homem com seu habitat. O segundo fator está relacionado tanto à variedade quanto à “evolução” dos tipos de resíduos gerados em decorrência do desenvolvimento tecnológico. Neste sentido, observa-se que a intensificação tecnológica tem exigido a elaboração de materiais, construtivos ou energéticos, cada vez mais complexos com relação às suas composições e concentrações. Estes materiais, via de regra não degradáveis naturalmente em curto prazo de tempo, apresentam um alto potencial de agressão ao ambiente.

Nesta direção, Figueiredo (1994) salienta que neste final de século os países desenvolvidos vêm apresentando modelos de desenvolvimento baseados em teorias neoliberalistas acarretando o aumento exponencial de consumo de bens e produtos, onde a consequência intrínseca na área da engenharia sanitária e ambiental tem sido identificada através da geração dos resíduos. Sejam estes resíduos líquidos ou sólidos, na verdade o que acontece é o desperdício acentuado, coincidentemente, nas mudanças de políticas econômicas e de desenvolvimento industrial nos últimos 30 anos. Por outro lado, os países em desenvolvimento vêm apresentando a mesma tendência na aplicação dos modelos de desenvolvimento, principalmente na última década da

chamada globalização das economias que tanto defendem os neoliberais.

Como exemplo desta tendência somente no município de São Paulo que, após oito meses da efetivação do Plano de Estabilização do Presidente Fernando Henrique Cardoso (Plano Real), a geração média de lixo domiciliar passou de 8 mil para 13 mil toneladas ao dia. Somente nos municípios localizados a oeste da Região Metropolitana de São Paulo, portanto dez municípios, o volume de lixo aumentou entre 8% e 10% no período 1994-1997. Assim a média de geração de lixo domiciliar *per capita* passou de 0,6 kg/hab/dia para 0,8 kg/hab/dia, sendo que em alguns pontos da RMSP a geração de lixo chegou a 1,0 kg/hab/dia (GAZETA MERCANTIL, 1998).

Observando-se um comentário feito pela economista Maria da Conceição Tavares⁴ sobre o que ocorreu a partir de julho de 1994, onde: “...os brasileiros sofreram um aumento do poder de compra dos salários ocasionado pela moeda estabilizada, super oferta de alimentos e a queda de preços internacionais agrícolas ocasionando um forte impacto sobre o preço da cesta básica. Houve, portanto, uma brutal transferência de renda do campo para a cidade tornando o poder de compra dos trabalhadores urbanos acessível a vários produtos e por consequência aumento para o consumo de bens duráveis”, pode-se explicar um pouco o porque do aumento da geração de lixo e esgotos nos grandes centros urbanos brasileiros.

Ainda no Brasil, como exemplo, a média histórica de geração de esgoto urbano *per capita* era de 150 litros/habitante/dia. Levantamentos efetuados nos grandes centros urbanos através do IBGE/PNAD (1996) apontam que a média de geração de esgoto urbano *per capita* passou para 200 litros/habitante/dia.

⁴ TAVARES, M. C.: Poder, Dinheiro e Vida Intelectual. In: HADDAD, F.: **Desorganizando o consenso: nove entrevistas com intelectuais à esquerda**. Editora Vozes, Coleção Zero à Esquerda, 1998.

Taxa de Produção

De acordo com Tchobanoglous, Theisen & Eliassen (1982), devem ser usadas diferentes unidades de expressão para diferentes fontes de produção. A seguir serão especificadas as fontes com suas devidas unidades de medida:

- ✓ Residencial: devido à natureza relativamente estável dos resíduos residenciais em um dado local a unidade de expressão mais comumente usada é quilos por habitante por dia.
- ✓ Comercial: a taxa de produção de resíduos comerciais também se tem expressado em quilos por habitante por dia. Essa prática tem sido utilizada por conveniência, pois agrega pouca informação útil sobre a natureza da produção dos resíduos sólidos, sendo muito mais significativo relacionar as quantidades produzidas ao número de clientes, e o valor da venda em dólar ou alguma unidade parecida.
- ✓ Estação de tratamento: a taxa de produção de resíduos nas ETA's e ETE's são comumente expressadas em m³/dia ou kg/dia de lodo seco, devendo sempre destacar a concentração de sólidos.
- ✓ Industrial: idealmente, os resíduos produzidos nas atividades industriais devem expressar em base de alguma medida que reproduza a produção, tal como quilos por automóvel.
- ✓ Agrícola: os resíduos produzidos nas atividades agrícolas devem também expressar em base de alguma medida que reproduza a produção, por exemplo: quilos de resíduos por tonelada de produto cru.

Segundo SMA/SP (1993), seguramente existe na atividade humana um grande desperdício de material nutritivo. A produção média diária de uma pessoa é de 0,6 kg de lixo sendo que 85% do total gerado é constituído de matéria orgânica biodegradável. Além disso, cada 10 milhões de habitantes produzem em média 5 mil toneladas de material reciclável ou 2 milhões de toneladas anualmente. A tabela 2.2. ilustra resumidamente a taxa de produção de resíduos sólidos

domiciliares per capita em função da população.

Tabela 2.2.: Produção de resíduos sólidos domiciliares

| População (habitantes) | Produção de lixo per capita (kg/hab.dia) |
|------------------------|--|
| Até 100 mil | 0,4 |
| 100 mil a 200 mil | 0,5 |
| 200 mil a 500 mil | 0,6 |
| > 500 mil | 0,7 |

Fonte: SMA/SP (1998a)

No caso dos esgotos, conforme Andreoli, Lara & Fernandes (1999), diversos são os fatores que afetam a quantidade de lodo produzido pelo sistema de tratamento de esgotos. Os principais destacam-se:

- ✓ Carga orgânica do esgoto a ser tratado: o teor de sólidos voláteis está diretamente ligado à quantidade de lodo produzido. Efluentes com maior carga orgânica geram maior quantidade de lodo;
- ✓ Tipo de tratamento utilizado: a tecnologia e concepção de tratamento têm influência direta na quantidade de lodo produzida. São bem conhecidas as diferenças dos processos de tratamento biológico aeróbio e anaeróbio;
- ✓ Eficiência do sistema de tratamento: quanto maior for a eficiência do sistema de tratamento e a qualidade dos efluentes tratados, maior será a produção de lodo. Existe, portanto uma relação direta entre a qualidade dos afluentes, a produção de lodo e a qualidade dos efluentes tratados. A tabela 2.3. ilustra os tipos de tratamento de esgoto e a taxa de produção de lodo requerida.

A seguir destaca-se na tabela 2.4. exemplo de Sistemas de Tratamento difundido e bastante utilizados pelos municípios e Companhias de Saneamento no Brasil.

Tabela 2.3.: Exemplos de concepções de ETE's e a produção de lodos de esgoto

| Concepção de Tratamento | Quantidade de Lodo Produzida (m ³ /hab./ano) |
|-------------------------------------|---|
| Tratamento primário | 0,6-13,0 |
| Lagoa facultativa primária | 0,037 |
| Lagoa facultativa | 0,03-0,08 |
| Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa | 0,01-0,04 |
| Lagoa aerada facultativa | 0,03-0,08 |
| Lodos ativados convencionais | 1,1-1,5 |
| Lodos ativados (aeração prolongada) | 0,7-1,2 |
| Lodos ativados (fluxo intermitente) | 0,7-1,5 |
| Filtro biológico (baixa carga) | 0,4-0,6 |
| Filtro biológico (alta carga) | 1,1-1,5 |
| Biodiscos | 0,7-1,0 |
| Reator anaeróbio de manta de lodo | 0,07-0,1 |
| Fossa séptica – filtro anaeróbio | 0,07-0,1 |

Fonte: ANDREOLI (1999) adaptado de: ARCEIVALA (1981); EPA (1979, 1981,1992); METCALF & EDDY (1991); VIEIRA (1993); SPERLING (1995) e NASCIMENTO (1997).

Tabela 2.4.: Exemplos de sistemas de ETE's e a produção de lodos de esgoto

| Sistema de Tratamento | Massa de Lodo Produzida (base seca) (g SST*/hab.dia) | Massa de Lodo Produzida (base seca) (g SSV**/hab.dia) | Volume de Lodo Produzido (base úmida) (litros de lodo/hab.dia) |
|---|---|---|---|
| Tratamentos Primários (Decantador Primário) | 27 – 33 | 21 - 27 | 0,68 – 3,3 |
| Tratamentos Primários (Flotador por Ar Difuso) | | | |
| - Sem desaguamento | 60 – 70 | 39 – 47 | 2,0 – 7,0 |
| - Com desaguamento | 40 – 47 | 20 – 24 | 0,16 – 0,19 |
| Tratamentos Anaeróbios | | | |
| - Decanto-Digestores (fossas sépticas e tanques imhoff) | 0,005 – 0,007 | - | 0,33 – 0,55 |
| - Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB) | | | |
| Sem desaguamento | 7 – 15 | - | 0,18 – 1,0 |
| Com desaguamento | - | - | 0,03 – 0,06 |
| - Filtros Anaeróbios | 3 | - | 0,1 – 0,2 |
| - Lagoas Anaeróbias | 0,000014 | - | 0,07 – 0,11 |
| Tratamentos Aeróbios | | | |
| - Lodos Ativados (convencional) | | | |
| Sem desaguamento | 28 – 32 | 21 –26 | 3 – 10 |
| Com desaguamento | 35 – 40 | - | 0,14 – 0,16 |
| - Lodos Ativados (aeração prolongada) | | | |
| Sem desaguamento | 38 – 43 | 28 – 32 | 5 – 12 |
| Com desaguamento | 38 – 43 | - | 0,19 – 0,21 |
| - Lodos Ativados (alta carga) <i>deep shaft</i> | 60 – 65 | - | 0,30 – 0,34 |
| - Filtro Biológico (alta carga) | | | |
| Sem desaguamento | 28 – 32 | 21 – 26 | 3 – 10 |
| Com desaguamento | 35 – 40 | - | 0,14 – 0,16 |
| - Lagoas Aeradas e Lagoa de Decantação | | | |
| Sem desaguamento | 0,000020 | - | 1,5 |
| Com desaguamento | 0,000080 | - | 0,10 |

continuação na página seguinte

Tabela 2.4.: Exemplos de sistemas de ETE's e a produção de lodos de esgoto (continuação)

| Sistema de Tratamento | Massa de Lodo Produzida (base seca) (g SST*/hab.dia) | Massa de Lodo Produzida (base seca) (g SSV**/hab.dia) | Volume de Lodo Produzido (base úmida) (litros de lodo/hab.dia) |
|---|---|---|---|
| Tratamentos Combinados (Anaeróbio/Aeróbio) | | | |
| - Reator UASB seguido de Lodo Ativado | | | |
| Sem desaguamento | 22 – 30 | - | 0,55 – 2,0 |
| Com desaguamento | - | - | 0,09 – 0,12 |
| - Reator UASB seguido de Filtro Biológico | | | |
| Sem desaguamento | 25 – 30 | - | 0,63 – 2,0 |
| Com desaguamento | - | - | 0,10 – 0,12 |
| - Reator UASB seguido de Biodisco | | | |
| Sem desaguamento | 25 – 30 | - | 0,63 – 2,0 |
| Com desaguamento | - | - | 0,10 – 0,12 |

Fonte: SABESP (2001) adaptado de: SOBRINHO, P. A. (2001).

* SST – sólidos em suspensão totais

** SVT – sólidos em suspensão voláteis

2.2 Os resíduos e sua história em Campinas

Campinas, nos anos 50, sediava a primeira reunião da Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência – SBPC, na sede da Fazenda Matto Dentro, hoje transformada em Parque Ecológico. Campinas tinha 145 mil habitantes, consolidava-se a via Anhanguera, a comunidade científica encontra abrigo nas universidades (CAMPINAS, 1996) que chegam à cidade, e expandia-se mais e mais a vida urbana.

Assim, em 1960, Campinas era conhecida como “cidade modelo”, começando a operar o Aeroporto Internacional de Viracopos, além da implantação de importantes centros industriais como a Refinaria de Paulínia, firmando-se neste período, a transição de uma economia de base agrícola e rural, café notadamente nos anos 20 e 30, para uma sociedade de caráter urbano e industrial. Na década de 60, a despeito de sua fisionomia urbanizada, a política de limpeza urbana consistia basicamente na coleta dos resíduos domésticos e na varrição de ruas da cidade. Esses serviços eram executados pela Administração Direta e os resíduos eram utilizados como recurso para recuperar a topografia de terrenos em áreas públicas que apresentavam processos avançados de erosão. Nesse período, Campinas apresentava um perfil de centro urbano médio, que viria a se modificar substancialmente na década seguinte, quando o município assume características de

sede regional.

Com o intenso fluxo migratório da década de 70, a cidade começa a experimentar os problemas comuns a inúmeros centros urbanos. Campinas cresce e começa a sentir fortes demandas sociais por emprego, habitação, saúde, educação e especialmente saneamento. Crescem assim as dificuldades para dar conta dos resíduos gerados que aumentam em volume e complexidade. Esse período, conseqüentemente, vai gerar novas situações e dificuldades para o gerenciamento dos resíduos sólidos. Tem início, por falta de locais apropriados, a desova de resíduos industriais nas áreas de periferia, nos rios e nos córregos. O crescimento populacional, por sua vez, influi significativamente na produção de lixo doméstico e aumenta o descarte indiscriminado de entulho de obras.

Em 1974, o então DAE de Campinas transforma-se na atual SANASA, uma empresa de economia mista com a maioria das ações pertencentes ao poder público (99,99%). A empresa tem como meta principal a promoção da qualidade de vida da comunidade de Campinas, atendendo com excelência suas necessidades de saneamento básico. Oportunamente, a empresa SANASA configurou-se como a primeira cidade do Brasil na adição de flúor no tratamento de água. O resultado foi uma sensível diminuição de incidência de cárie na população. Esse tipo de ação tem norteado a conduta da empresa, já apontada como a primeira empresa municipal de saneamento básico do país (SANASA, 2001a).

Até 1972, o sistema de coleta de lixo ainda era totalmente realizado pela Prefeitura, mas iniciou-se a disposição em um único local, chamado Lixão da Pirelli (assim denominado pela proximidade da área com as indústrias Pirelli). Neste mesmo ano, foi elaborado pela empresa PLANIDRO – Engenheiros Consultores S/A, o “Plano Diretor de Esgotos de Campinas”, com a finalidade de planejar e traçar diretrizes na questão da coleta, afastamento e tratamento dos esgotos sanitários de responsabilidade do então DAE de Campinas.

A questão da disposição de lixo foi agravando-se quando, em 1984, em decorrência das novas demandas e do aumento do volume gerado de resíduos, teve início o processo de

privatização da coleta regular, como forma de aperfeiçoar a eficiência dos serviços e de liberar recursos humanos e equipamentos para a Prefeitura para as funções de fiscalização e monitoramento. Assim, a disposição final de resíduos sólidos, de lixão a céu aberto, passou para um aterro energético, tendo sido implantado o aterro do Parque Santa Bárbara.

Por outro lado, a questão de saneamento em 1988, então institucionalizada através da empresa de economia mista SANASA, demandou estudos e projetos no que concerne ao sistema de esgotamento sanitário, elaborado pela CNEC – Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A denominado “Diagnóstico e Estudo Preliminar do Sistema Proposto”. Com este trabalho tinha-se algumas diretrizes pré-estabelecidas quanto à questão dos resíduos líquidos domésticos do município de Campinas (SANASA, 2001a).

Em uma data simbólica, no dia 7 de setembro de 1992, o então intitulado Aterro de Santa Bárbara foi fechado precocemente, embora ainda tivesse algum tempo de vida útil. Este fechamento foi em caráter estritamente político do poder público municipal atendendo a reivindicações e pressões das populações e comunidades da área do entorno do Aterro. Durante todo o tempo de operação, foram dispostas nesse local aproximadamente 1.260 mil toneladas de resíduos, em uma área de 42 hectares (CAMPINAS, 1996).

Neste período deu-se início a uma série de conflitos e indagações técnicas, principalmente por parte de entidades técnicas e ambientalistas no sentido de que tanto as áreas do Lixão da Pirelli quanto à do Aterro Santa Bárbara fossem objeto de remediação, encerramento e monitoramento ambiental, obedecendo às práticas de engenharia sanitária e ambiental estabelecidas e fiscalizada pelos organismos ambientais competentes.

Este assunto foi levado em “banho-maria” até que no início de 1993, quando um projeto de caracterização do risco ambiental da área do Lixão da Pirelli foi iniciado com intuito de recuperação e devolução do espaço à população como área controlada, monitorada e equipada para lazer. No mesmo sentido, um plano de encerramento foi iniciado e posteriormente proposto e aprovado pela CETESB para a área do Aterro Santa Bárbara.

Também no início de 1993, os detalhamentos e estudos para escolha de uma nova área para disposição e tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, já estimados em 500 toneladas diárias, foram feitos paralelamente à elaboração do Plano Diretor do Município de Campinas, tendo sido assim consideradas as características de uso e ocupação do solo, infra-estrutura, bem como as ambientais. A área escolhida foi denominada Complexo Delta, que tendo em vista o montante elevado para desapropriação da área total, decidiu-se implantar em primeiro lugar o Aterro Delta A, em 600 mil metros quadrados do terreno, ficando para um segundo momento a viabilização do Aterro Delta B, com acesso a partir do primeiro aterro. A grande urgência em utilizar o aterro, uma vez que constituía o único local para onde poderiam ser encaminhados os resíduos, determinou sua implantação em caráter emergencial, enquanto se elaborava o Estudo de Impacto Ambiental para encaminhamento à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (CAMPINAS, 1995).

Em 1994, visando o planejamento da questão dos resíduos sólidos com o planejamento urbano, deu-se prosseguimento ao Projeto do Complexo Delta que refletia a prática de ações para situações emergentes de atuação integrada com relação às soluções para o manejo dos resíduos sólidos num contexto de abrangência e amplitude local e regional. Através do Departamento de Limpeza Urbana deu-se a proposta de opção por reunir os quatro sistemas de tratamento (Usina de Tratamento Integrado – UTI, que inclui as linhas de reciclagem, compostagem e incineração; Central de Tratamento de Resíduos Industriais – CTRI; Central de Processamento e Reciclagem de Entulho – CTRE e os aterros que integram o Complexo Delta). Esta proposta não foi efetivamente implantada devido a não aprovação, por parte da Secretaria do Meio Ambiente do Estado e do CONSEMA, do EIA/RIMA, impossibilitando o empreendimento de ser licenciado ambientalmente por completo. Isto foi constatado principalmente por questionamentos técnicos e ambientais da implantação, operação e monitoramento do sistema de incineração (CAMPINAS, 1994).

Projeto PHOENIX

Em CAMPINAS (1984) o estudo da temática do lixo produzido no meio urbano no município de Campinas teve suas diretrizes iniciais de planejamento com o Projeto Phoenix,

idealizado pela gestão municipal em 1984. Através de um convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Campinas, a Faculdade de Ciências Tecnológicas da PUC-Campinas (curso de Engenharia Sanitária), e mais tarde a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, o Projeto Phoenix consistia no desenvolvimento técnico-científico na área de saneamento ambiental, no intuito de diretrizes para uma Política Municipal de Destinação e Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos na produção de: combustível sólido, ração animal, tijolos, composto orgânico a partir do lixo.

Um dos produtos práticos do Projeto Phoenix no município de Campinas foi sem dúvida à implantação do Aterro Sanitário Energético de Santa Bárbara, até hoje objeto de estudos e levantamentos de dados para pesquisa e desenvolvimento técnico na área de saneamento ambiental. Uma das linhas de pesquisa foi o aproveitamento energético do biogás. Tal projeto teve o apoio da CPFL e demais empresas que conseguiram viabilizar a coleta de biogás do aterro, onde este foi tratado e purificado para servir de combustível para a frota de caminhões de lixo que serviam à coleta no município de Campinas. Esta linha de pesquisa foi aos poucos sendo abandonada em função da baixa do preço do petróleo e, sobretudo pela baixa eficiência que os motores apresentavam com a utilização do biogás.

Complexo DELTA

O Complexo Delta, idealizado pela gestão municipal em 1996, configurava-se como um Sistema Integrado de Tratamento e Destinação de Resíduos Sólidos de concepção abrangente, de acordo com os diferentes resíduos a serem tratados: os resíduos domiciliares, os hospitalares, os industriais e da construção civil. O modelo tecnológico foi elaborado dentro de uma concepção de Usina de Tratamento Integrado onde se previa unidades de: segregação/triagem, compostagem, incineração e aterramento. O Projeto foi muito criticado pela mídia e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente, primeiro pela forma precipitada que foi conduzido o processo de licitação na implantação do empreendimento, e segundo, o mais importante, pelo fato do empreendimento não estar sendo devidamente licenciado através da aprovação dos Estudos de

Impacto Ambiental pelo CONSEMA e pela SMA/SP.

Atualmente, o Projeto Complexo Delta conta com a implantação e operação do Aterro Delta A, da Usina de Desinfecção de Resíduos Hospitalares (Sistema de Microondas) e com projeto para futura área do Aterro Delta B (ANEXO I).

2.3 Um quadro recente da situação como diagnóstico

Tratamento de resíduos sólidos

O Estado de São Paulo abrange 645 municípios, com uma população urbana total de 31 milhões de habitantes distribuídos por 22 UGHRI's (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos), que representam basicamente as principais bacias hidrográficas do Estado. A realização do Inventário 2000 dá continuidade aos inventários anteriores, conforme estabelecido na Resolução SMA 13, de 27 de fevereiro de 1998, atendendo às metas estabelecidas pela Diretoria de Controle de Poluição Ambiental da CETESB, e constitui-se em elemento insubstituível de avaliação, bem como de acompanhamento da evolução da situação ambiental do Estado, no que se refere à destinação final de resíduos sólidos domiciliares.

O preenchimento das planilhas de avaliação do Índice de Qualidade de Aterros de Lixo (IQR) ou Índices de Qualidade de Usinas de Compostagem de Lixo (IQC) é, atualmente, prática rotineira nas Agências Ambientais da CETESB, sendo utilizadas em todas as inspeções aos locais de destinação de resíduos.

Conforme publicação no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 17/04/1999, o Governo Estadual fixou “a meta de 80% para o número dos municípios do Estado nos quais, até o final de dezembro de 2002, o lixo deverá receber tratamento adequado”.

De forma resumida, pode-se extrair do inventário de resíduos de 2000 que dos 645 municípios do Estado:

- ✓ 1 município (Águas de Lindóia) deposita seus resíduos fora do Estado de São Paulo, logo, o número total de municípios a ser considerado é 644;
- ✓ 57 municípios estão reunidos em soluções conjuntas para destinação de seus resíduos em usinas de compostagem e aterros, centralizados em 19 municípios-sedes;
- ✓ 48 municípios estão reunidos em soluções conjuntas para destinação de seus resíduos em aterros, centralizados em 21 municípios-sedes;
- ✓ 9 municípios estão reunidos em soluções conjuntas para destinação de seus resíduos em usinas de compostagem, concentrados em 3 municípios-sedes;
- ✓ em todo o Estado, há 24 usinas de compostagem que recebem os resíduos de 30 municípios;
- ✓ no município de São Paulo foram considerados 3 aterros, sendo 2 sanitários (Bandeirantes e Sítio São João) e um de resíduos inertes (Aterro Itatinga), além de 2 usinas de compostagem (São Matheus e Vila Leopoldina);
- ✓ alguns municípios possuem mais de um lixão em atividade simultaneamente, assim, há mais 9 instalações a serem consideradas;
- ✓ para os 645 municípios, tem-se um total de 611 instalações de destinação final de resíduos no Estado, sendo 587 aterros ou lixões e 24 usinas de compostagem;
- ✓ do total de empreendimentos existentes no Estado, 360 possuem Licença de Instalação (LI) e 225 possuem Licença de Funcionamento (LF) (em 1999 eram 225 LI e 189 LF);
- ✓ o IQR médio do Estado vem melhorando a cada ano, assim temos os seguintes valores: IQR(1997) = 4,04; IQR(1998) = 5,48; IQR(1999) = 6,01; e IQR(2000) = 6,11, notando que

a situação geral, na média, vem melhorando sistematicamente.

A Região Metropolitana de Campinas localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - UGRHI 05, sendo que somente o município de Engenheiro Coelho localiza-se na UGRHI 09 - Mogi Guaçu. A UGRHI 05, dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, é constituída por 57 municípios que possuem uma área total de 13.825 km² e uma população urbana total superior a 4 milhões de habitantes. Esses municípios geram, em conjunto, 2.196,7 toneladas de lixo por dia, o que consubstancia uma média de 0,54 kg/hab/dia (CETESB, 2001).

O relatório síntese do “Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2000” mostra os seguintes resultados em relação aos 19 municípios da Região Metropolitana de Campinas, em resumo:

- ✓ Dos 19 municípios, 6 (seis) apresentam Índice de Qualidade de Aterros de Lixo - IQR ou Índices de Qualidade de Usinas de Compostagem de Lixo - IQC com valores abaixo de 6,0, ou seja, estão em condições irregulares; 4 (quatro) apresentam IQR ou IQC entre 6,1 e 8,0, ou seja, estão em situação controlada e 9 (nove) apresentam IQR ou IQC maior ou igual a 8,1, isto é, estão em condições consideradas adequadas.
- ✓ Dos 19 municípios pelo censo IBGE/2000, 10 (dez) apresentam população inferior a 50.000 habitantes, três apresentam população entre 50.001 e 100.000 habitantes, cinco apresentam população 100.001 e 250.000 habitantes e 1 município apresenta população superior a 500.000 habitantes.

A seguir tem-se na tabela 2.5. e figuras 2.3. e 2.4. um quadro sistemática da situação dos resíduos sólidos nos municípios pertencentes da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 05 e da Região Metropolitana de Campinas – RMC.

Tabela 2.5. - Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Campinas

| Município | População Urbana 1997 | Lixo (t/dia) 1997 | Destinação Final em 1997 | IQR 1997 | IQR 1998 | IQR 1999 | IQR 2000 | População Urbana 2000 | Lixo (t/dia) 2000 |
|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Americana | 167.790 | 83,89 | Aterro | 4,3 | 5,5 | 4,7 | 4,7 | 181.650 | 90,8 |
| Arthur Nogueira | 23.275 | 9,31 | Aterro | 4,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 | 30.437 | 12,2 |
| Campinas | 872.652 | 610,86 | Aterro | 7,5 | 4,4 | 5,6 | 6,5 | 951.824 | 666,3 |
| Cosmópolis | 37.767 | 15,11 | Lixão | 2,3 | 1,7 | 2,6 | 2,8 | 42.511 | 17,0 |
| Engenheiro Coelho | 5.934 | 2,37 | Lixão | 1,6 | 2,8 | 2,4 | 8,3 | 7.004 | 2,8 |
| Holambra | 1.686 | 0,67 | Aterro em Valas | 8,7 | 8,8 | 8,2 | 9,3 | 3.958 | 1,6 |
| Hortolândia | 115.720 | 57,86 | Aterro | 6,1 | 7,2 | 6,9 | 5,1 | 151.669 | 75,8 |
| Indaiatuba | 119.346 | 59,67 | Lixão | 4,1 | 4,8 | 6,3 | 8,7 | 144.528 | 72,3 |
| Itatiba | 63.604 | 25,44 | Aterro | 4,8 | 6,1 | 7,1 | 8,5 | 65.602 | 26,2 |
| Jaguariúna | 21.202 | 8,48 | Lixão | 2,6 | 4,7 | 3,8 | 9,4 | 25.669 | 10,3 |
| Monte Mor | 29.100 | 11,64 | Lixão | 3,1 | 7,7 | 8,1 | 7,1 | 33.980 | 13,6 |
| Nova Odessa | 34.318 | 13,73 | Aterro | 6,8 | 7,5 | 8,1 | 9,3 | 41.106 | 16,4 |
| Paulínia | 39.972 | 15,99 | Aterro Controlado | 6,6 | 6,0 | 8,9 | 8,9 | 50.677 | 20,3 |
| Pedreira | 29.937 | 11,97 | Aterro | 4,8 | 6,1 | 6,5 | 6,4 | 34.155 | 13,7 |
| Santa Bárbara D'Oeste | 158.122 | 79,06 | Aterro | 7,5 | 7,3 | 7,1 | 7,1 | 167.574 | 83,8 |
| Santo Antônio de Posse | 12.110 | 4,84 | Lixão | 1,6 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 14.673 | 5,9 |
| Sumaré ** | 166.909 | 83,45 | Lixão | 6,1 | 7,2 | 6,9 | 5,1 | 193.266 | 96,6 |
| Valinhos | 69.748 | 27,90 | Aterro | 9,0 | 8,8 | 8,5 | 8,3 | 78.319 | 31,3 |
| Vinhedo | 37.967 | 15,19 | Aterro | 7,9 | 8,5 | 8,7 | 8,7 | 46.063 | 18,4 |
| Total | 2.007.159 | 1.137,43 | Média | 5,3 | 5,8 | 6,1 | 6,8 | 2.264.665 | 1.274,80 |

Fonte: Companhia Estadual de Tecnologia em Saneamento Ambiental - CETESB - Diretoria de Controle de Poluição Ambiental. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares - 1997, 1998, 1999 e 2000.

* o município de Jaguariúna tem terceirizado a destinação/disposição dos resíduos no Aterro particular em Paulínia - SP

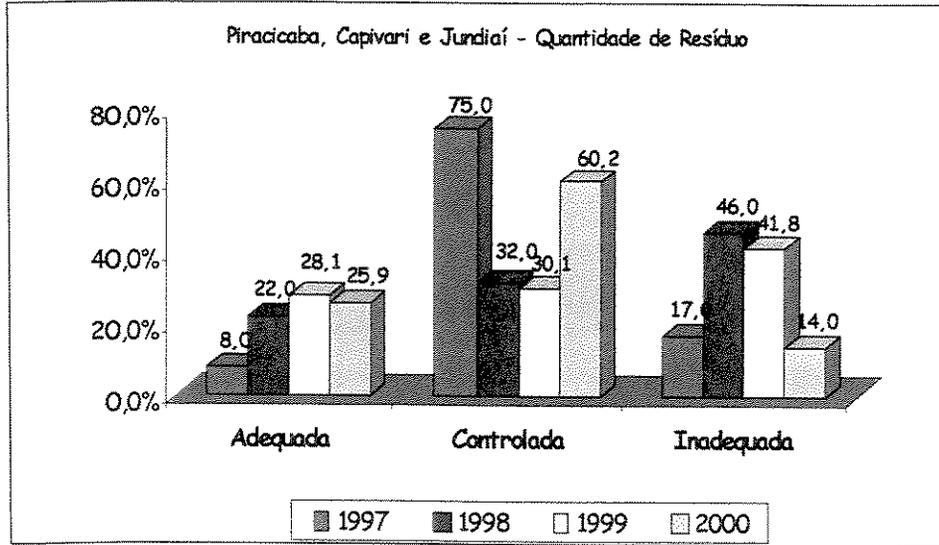
** o município de Sumaré tem acordo para destinação/disposição dos resíduos no Aterro do município de Hortolândia

IQR < 6,0 - sistemas de disposição/tratamento de resíduos sólidos em condições irregulares

6,0 ≤ IQR ≤ 8,0 - sistema de disposição/tratamento de resíduos sólidos em condições controladas

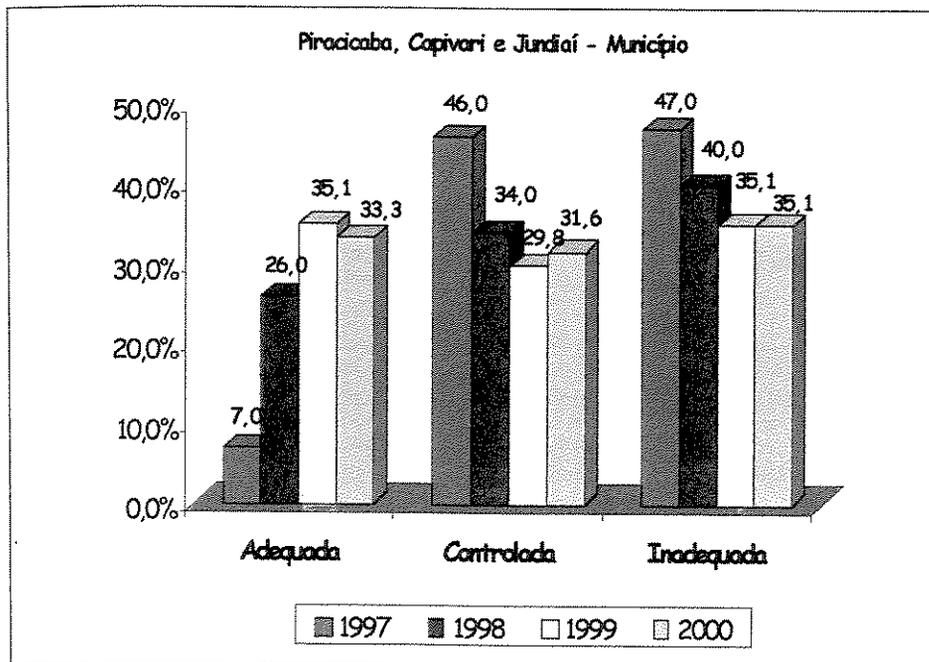
IQR > 8,0 - sistema de disposição/tratamento de resíduos sólidos em condições adequadas

Figura 2.3. - Situação UGRHI - 05, quanto à quantidade de lixo gerado



Fonte: CETESB (2001) - Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2000

Figura 2.4. - Situação UGRHI - 05, quanto ao número de municípios



Fonte: CETESB (2001) - Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2000

Tratamento de esgotos

Em 1999, o Consórcio Intermunicipal das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá contava com 42 municípios consorciados, registrando um aumento de índice de tratamento de esgoto entre os anos de 1989 e 1999 de 3% para 12% (CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL, 2001). Da mesma forma, o Comitê de Bacias, através do Relatório Zero (Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 05) elaborado pelo Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação (CETEC), apontava para as cargas poluidoras urbanas dos seus 57 municípios registrando um aumento do índice de tratamento de esgoto para 28,69% (CBH-PCJ, 2001) conforme pode ser observado no quadro abaixo:

Tabela 2.6. – Quadro das cargas poluidoras urbanas da UGRHI 05 (1999)

| Cargas Poluidoras Urbanas | Cargas em kg DBO ₅ /dia Potencial Poluidor | Cargas em kg DBO ₅ /dia Potencial Remanescente |
|---------------------------|--|--|
| Bacia do Rio Jundiá | 31.682 | 31.359 |
| Bacia do Rio Capivari | 24.166 | 24.053 |
| Bacia do Rio Atibaia | 35.193 | 33.702 |
| Bacia do Rio Camanducaia | 3.789 | 3.622 |
| Bacia do Rio Corumbataí | 8.196 | 7.934 |
| Bacia do Rio Jaguari | 14.587 | 12.783 |
| Bacia do Rio Piracicaba | 88.600 | 86.040 |
| TOTAL | 202.053 (100%) | 144.081 (71,31%) |

Fonte: CBH-PCJ (2001) - Relatório Zero de 1999

Estes índices de aumento em tratamento de esgoto têm sido uma constante nos municípios pertencentes a UGRHI 05. Conseqüentemente, a questão do tratamento e destinação final de lodos de esgoto, além da emissão de metano, será pauta de discussão e estudos mais aprofundados no sentido de encaminhamento de uma solução técnico-econômica.

Já no município de Campinas, a SANASA em 1994, através de sua equipe técnica, elaborou o Programa de Coleta e Tratamento de Esgotos do município de Campinas. Em estudos mais recentes, foram definidos doze setores de esgotamento sanitário, nos quais prevê-se a implantação de 16 ETE's, além das existentes (Samambaia, CIATEC, Icarai, Santa Rosa, ETE Arboreto/Jequitibás e Hortências e ETE Conjunto Habitacional "H" – CDHU). Desta forma,

atualmente o índice de tratamento de esgotos no nível secundário é da ordem de 6% e no nível primário, da ordem de 4%, totalizando 10% em relação à população total do município. Estima-se também que, atualmente, 10% da população não atendida com rede coletora possui sistemas localizados de tratamento individual – SLTI, compostos principalmente de fossas sépticas, filtros biológicos e sumidouros. Um resumo dos dados apresentados pela SANASA em março de 2001 pode ser observado no quadro abaixo:

Tabela 2.7. – Quadro resumo de indicadores e dados da SANASA (março 2001)

| Indicadores | Dados |
|--|-------------------------|
| Número de ligações de esgoto | > 183.000 ligações |
| Número de economias de esgoto | > 299.000 economias |
| Atendimento em coleta e afastamento de esgoto | 88% |
| Atendimento em tratamento de esgoto | 10% |
| Atendimento em tratamento de esgoto (conforme legislação ambiental vigente) | 4% |
| ETE's – Sistemas de Esgotamento | 21 |
| - Existentes | 4 |
| - Previstas | 17 |
| ETE's Loteamentos | 28 |
| - Existentes | 4 |
| - Previstas | 24 |
| ETE's Empreendimentos | 61 |
| - Existentes | 30 |
| - Previstas | 31 |
| - UNICAMP | 01 (30.000 habitantes) |
| Volume de esgoto gerado (m ³) | 4.313.074 |
| Volume de esgoto tratado (m ³) | 425.549 |
| Volume de esgoto a ser tratado (m³) | 3.887.525 |
| Custos previstos para obras de coleta e afastamento | US\$ 64 milhões |
| Custos previstos para obras de tratamento de esgoto | US\$ 74 milhões |
| Custos Totais Estimados | US\$ 138 milhões |

Fonte: SANASA (2001a)

Dados de Emissões de Metano pela disposição e tratamento de resíduos sólidos e de tratamento de esgotos no Brasil

Devido à decomposição natural de resíduos sólidos sob condições anaeróbicas, as Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's) são fonte de emissões de metano. Estima-se que em todo o planeta essas emissões atinjam 20 a 70 milhões de toneladas de CH₄ ao ano

(ALVES, 2000).

Conforme Alves & Vieira (1998), pela metodologia do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1996) foram obtidos como estimativa para as emissões de metano oriundas do tratamento de resíduos líquidos de origem doméstica e comercial os valores respectivos de 39,34 e 43,09 GgCH₄/ano para 1990 e 1994.

Existem diferentes metodologias de estimativa de emissões de metano pelas URTR's. Pela metodologia do IPCC (1996), as emissões líquidas de metano por resíduos sólidos no Brasil para os anos de 1990 e 1994 são respectivamente 617,95 e 676,89 gigagramas por ano (ALVES & VIEIRA, 1998).

Segundo Alves (2000), para um URTR específico a metodologia da USEPA (1997c) tem apresentado uma adequação em termos de resultados comparativos, propondo uma avaliação preliminar de viabilidade econômica de recuperação do biogás gerado pelas URTR's, onde é verificado um tamanho economicamente explorável das URTR's.

Ainda segundo Alves (2000), supondo que cada pessoa produz em média, no Brasil, 182 kg de lixo por ano ou 0,5 kg/hab/dia, e desses, podendo-se estimar que 80% tenha destino em URTR's, portanto 20% são resíduos recicláveis ou reutilizados, cada tonelada de lixo em URTR'S produz, até se decompor totalmente, de 400 a 500 m³ de biogás com composição aproximada de 50% em metano.

Segundo Kessler (2000), o inventário de produção de gás metano realizado pela CETESB, (1998), em convênio com o Ministério de Ciências e Tecnologia, indica a possibilidade de estar disponível de 303 a 578 milhões de m³ de gás metano por ano, somente em base de 13 aterros. A USEPA levantou a viabilidade de recuperação do biogás de URTR's no Brasil e no Estado de São Paulo, onde no primeiro levantamento foram considerados 13 URTR's localizados nas maiores cidades do país, e no segundo 6 URTR's da RMSP. No município de Campinas foram considerados pelo estudo da USEPA os dois URTR's (Aterro de Santa Bárbara e Aterro Delta A). Ainda no Estado de São Paulo foram avaliados: Aterro Bandeirantes (São Paulo), Aterro Lara

(Mauá), São João (São Paulo), Aterro Vila Albertina (São Paulo), Aterro Santo Amaro (RMSP), Aterro Sapopemba (RMSP), Aterro São Mateus (RMSP) e Aterro Jacuí (RMSP) (USEPA, 1997b).

Capítulo 3

Instrumentos de gestão no aproveitamento energético de resíduos

Efetivamente existe algo em comum no modelo atual praticado na gestão dos setores de saneamento e elétrico. Ambos, apresentam-se diante de indefinições e mudanças que derivam da falta de uma política de planejamento setorial consistente que atenda as demandas prementes da sociedade civil brasileira.

Tais constatações podem ser observadas por exemplo na substituição das regras do mercado atacadista de energia anunciadas em janeiro de 2002 pelo Governo Federal através do Ministério de Minas e Energia (MME). O instituído Mercado Atacadista de Energia (MAE) substituído pelo Mercado Brasileiro de Energia (MBE) será regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde procura-se assim, um novo direcionamento regulatório e de viabilização de novos projetos para o setor. Entre as mudanças, está a possível alteração ou mesmo flexibilização nos critérios utilizados para fixação do Valor Normativo (VN) pela ANEEL. Esse indicador funciona como limite para repasse dos preços de compra de energia às tarifas.

Por outro lado, no setor de saneamento, dado a inoperância quase absoluta do Governo Federal na definição de uma política nacional, e enquanto não se define novas regras para o setor, a iniciativa privada visando à privatização, tem apostado em novas formas de fazer-se presente dentro de um negócio que necessitará investir maciçamente nos próximos quinze anos, pelo menos para atender a demanda reprimida e sustentar um mínimo aceitável de 100% da população

com acesso à água, sendo 80% ligados à rede de água tratada e 80% ligados à rede coletora de esgoto com tratamento adequado em atendimento à legislação ambiental vigente.

Se diante dos fatos que os setores de saneamento e elétrico estão passando por mudanças, o que leva uma nova visão institucional, política, e sobretudo de gestão e planejamento, é notório observar a importância na integração destes setores em certos segmentos, no caso aqui em estudo, o aproveitamento energético de resíduos.

Esta parte do trabalho fundamenta-se nos instrumentos e mecanismos de gestão que possam vir a facilitar ou mesmo induzir um processo de interação entre os setores em estudo. Estes instrumentos de gestão devem estar sustentados em uma nova ordem econômica onde a viabilização de um projeto, que apresenta-se com características de ganhos ambientais diretos e indiretos, não deve ser descartado pelo simples fato que este não torna-se competitivo em termos do lucro em cima do capital investido.

Com vista neste entendimento, resgata-se a seguir um pouco da história recente do setor de saneamento, transpassando pelas políticas atuais e locais nas áreas de saneamento e resíduos sólidos.

3.1 Política de gestão em saneamento ambiental

Segundo Barbosa, Bettine & Demanboro (1999), algumas medidas adotadas entre 1964 e 1967 vieram a moldar a instituição de políticas explícitas para o Setor de Saneamento. Entre elas destacam-se:

a) Criação do Banco Nacional da Habitação (BNH) em 1964, que mais tarde (1968) passaria a administrar o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e o Sistema Financeiro de Saneamento (SFS);

b) Empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) para implantação do Programa de Abastecimento de Água para pequenas comunidades, sendo o primeiro programa

federal de financiamento do setor, a partir do fundo de Investimentos Sociais, criado em 1965. Eram beneficiadas as cidades com menos de 40 mil habitantes, através dos Departamentos ou Serviços Autônomos de Água e Esgotos que obtinham financiamento para 50% dos investimentos necessários à construção de sistemas de abastecimento; e,

c) A criação do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) em 13 de setembro de 1966 que substituiu a estabilidade de emprego de trabalhadores com mais de dez anos de serviço consecutivo na mesma empresa. Este instrumento tinha (e ainda tem) a dupla função de fundo indenizatório e fonte de financiamento da política habitacional de interesse social.

Em 1969 a junta militar formada pelos ministros da Marinha, do Exército e da Aeronáutica, que governou o país de 31.08.69 a 31.10.69 editou o Decreto-Lei no. 949 que autorizou o BNH a aplicar os recursos do FGTS nas operações de financiamento do Setor de Saneamento.

Entre 1964 e 1970 vários Planos de Governo foram estabelecidos (Plano Decenal 1967/76, Plano Estratégico de Desenvolvimento para 1967/70, Metas e Bases para Ação do Governo de 1969), mas nenhum deles alterou o quadro do Setor de Saneamento no país, quanto à ampliação da cobertura dos serviços.

O Setor de Saneamento só viria a experimentar avanços significativos a partir de 1971 com a instituição do PLANASA pelo BNH. O PLANASA foi criado para buscar “a ampliação da oferta de serviços de abastecimento de água e de esgotos sanitários, de modo a satisfazer adequadamente as demandas ditadas pelo crescimento populacional urbano, pela dinamização dos programas habitacionais e pela expansão da atividade industrial” (PIRES, 1995).

O modelo institucional e financeiro implantado no país a partir da década de 70, através do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) e do Sistema Financeiro de Saneamento (SFS), foi responsável por um importante crescimento dos índices de cobertura dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Por outro lado, constatam-se ainda déficits significativos que refletem o padrão desigual de crescimento trilhado pela economia do país nas últimas décadas.

Conforme Barbosa, Bettine & Demanboro (1999), um dos problemas na implantação do PLANASA refere-se ao fato de diversos municípios de grande e médio porte não terem aderido ao Plano por já disporem de serviços municipais bem estruturados e, ao entregarem suas concessões às Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESB's) então criadas, teriam que arcar com os municípios menos viáveis. No total, mais de 1.000 municípios não se filiaram ao PLANASA, e por esse motivo ficaram sem receber financiamentos do BNH/SFS. Em 1984 essas prefeituras criaram a Associação dos Serviços Municipais de Água e Esgoto (ASSEMAE), que vem se contrapondo ao processo de privatização ora em curso.

A expansão do nível de cobertura do atendimento urbano de água é reconhecida no documento “Política Nacional de Saneamento” onde se diz que “ é notável, por exemplo, que um país cuja população urbana tenha aumentado 113% em 21 anos, passando de 52 milhões de pessoas em 1970 para 120 milhões em 1995, tenha conseguido elevar, nesse mesmo período, o nível de abastecimento de água em domicílios ligados à rede geral, de 60% para 90%. Por outro lado, é lamentável que mais de 11,5 milhões de pessoas que residem em cidades ainda não tenham acesso à água através de rede canalizada”(BRASIL, 1997).

Estudos sobre o setor demonstram que a inexistência de uma política de saneamento tem gerado ações desarticuladas e desordenadas. A desarticulação institucional manifesta-se na coexistência de múltiplos agentes públicos federais atuando no setor, com a superposição de competências, baixa eficiência do processo decisório e evidente pulverização na aplicação de recursos públicos.

Em janeiro de 1995, o governo federal criou a Secretaria de Política Urbana (SEPURB - sucedendo o PLANASA), no âmbito do Ministério do Planejamento e Orçamento, com a função de articular as políticas setoriais de habitação, saneamento e desenvolvimento urbano. Assim, passam a constituir atribuições da SEPURB, entre outras, “formular e propor a Política Nacional de Saneamento, em sintonia com a Política Nacional de Saúde, a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Meio ambiente” e “instituir mecanismos indicadores de desempenho que reflitam melhorias das condições de saúde, como resultado da execução da Política Nacional de Saneamento” (BRASIL, 1995).

O setor de saneamento, assim como vários setores de infra-estrutura, estão passando por uma transição. Uns já se encontram com arcabouços jurídico-legais e oportunidades mais avançadas (energia e telecomunicações, particularmente) enquanto que outros ainda estão em processo de estruturação como é o caso do saneamento.

Os principais desafios em pauta são: a redução do descompasso entre os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário; o estabelecimento de um nível de tarifa compatível com a capacidade de pagamento do consumidor; e a constituição de um marco regulatório adequado à realização de concessões ao setor privado.

Segundo o documento “Política Nacional de Saneamento” BRASIL (1997), elaborado pelo Ministério de Planejamento e Orçamento para “responder às demandas e exigências da sociedade brasileira e fomentar um ambiente de eficácia e modernidade na prestação dos serviços” prevê três princípios essenciais:

- ✓ “A universalização do atendimento, de forma que seja viabilizada a oferta essencial de serviços, ou seja, aquela indispensável à vida e à salubridade ambiental;
- ✓ A participação dos diversos agentes envolvidos na formulação da política e na gestão dos serviços (União, estados, municípios, prestadores de serviços, usuários e outros), cabendo destacar o papel do Estado, sobretudo da União, como principal indutor das transformações propostas; e.
- ✓ A descentralização, como princípio fundamental que se contrapõe ao modelo anterior, que praticamente excluiu os municípios e centralizou as ações nos níveis federal e estadual, prática que, aliás, não se coaduna com os atuais dispositivos constitucionais”.

Os objetivos e metas contidos no documento são:

- ✓ Aumentar a cobertura na perspectiva da universalização dos serviços, garantindo o atendimento, em nível essencial, a cada família;

- ✓ Assegurar instrumentos para o exercício do controle social sobre a prestação dos serviços;
- ✓ Criar estruturas administrativas flexíveis e auto-suficientes;
- ✓ Fomentar programas de qualidade e produtividade na gestão e prestação dos serviços;
- ✓ Promover programas de gerenciamento da demanda e conservação da água; e,
- ✓ Fortalecer a parceria entre os setores público e privado.

O mesmo documento vai além, ao afirmar que o governo federal estabeleceu programas em que estão previstos investimentos da ordem de R\$ 9,5 bilhões em 4 anos (1996-1999). Estas metas financeiras indicadas na Tabela 3.1. não foram atingidas o que reforça a convicção que o governo federal não cumpriu e, mais grave ainda, não está cumprindo com suas diretrizes orçamentárias básicas para o setor de saneamento. Os recursos necessários para a eliminação do déficit de cobertura são estimados em R\$ 25 bilhões; sendo que com o crescimento esperado para a população até o ano 2010, os recursos estimados somam R\$ 42 bilhões, ou o equivalente a R\$ 4,2 bilhões por ano, onde a média de investimento já deveria ter sido iniciada a partir de 2000.

Tabela 3.1. - Aumento da cobertura e volume de investimentos previstos

| Serviço | Pop. Urbana Atendida (Milhões) | Valor dos Investimentos (R\$ Bilhões) | Aumento da Cobertura (%) |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Abastecimento de Água | 15 | 2,8 | de 86 para 96 |
| Esgotamento Sanitário (coleta) | 19 | 4,5 | de 49 para 65 |
| Esgotamento Sanitário (tratamento) | 31 | 1,5 | de 20 para 44 |
| Resíduos sólidos | 14 | 0,7 | de 78 para 83 |

Fonte: BRASIL (1997) - Política Nacional de Saneamento elaborado pelo MPO/SEPURB

Entretanto, o “modelo” dependente adotado para a economia brasileira tem impactado negativamente o desenvolvimento do setor saneamento, tanto no que se relaciona com o alcance

da meta de universalização dos serviços, como na participação dos municípios e das entidades representativas de classe nas discussões da nova ordem institucional para o Setor.

O projeto elaborado pela Câmara dos Deputados PLC-199/93⁵, após sofrer tramitação de dois anos, foi integralmente vetado pelo atual Presidente da República.

Barbosa, Bettine & Demanboro (1999) salientam que o Projeto de Lei foi construído pelo conjunto das entidades de saneamento, que representam trabalhadores, prestadores de serviços estaduais e municipais. O PLC 199/93, que expressava o consenso para uma política do setor para o País, reconhece a competência municipal na organização e prestação dos serviços de saneamento, cria o Conselho Nacional de Saneamento de caráter sanitário e adota os critérios de salubridade ambiental para a aplicação de recursos públicos, dentre outros.

Num balanço do setor apresentado, para o período 1995/1998, são apresentados os cortes orçamentários que o setor sofreu, a saber:

- ✓ Em 1995, cerca de R\$ 1,7 bilhão deixaram de ser aplicados em saneamento, com a extinção dos Ministérios da Integração Regional e do Bem-Estar Social, que abrigavam a Secretaria Nacional de Saneamento;
- ✓ No mesmo ano, apenas 15% dos R\$ 773 milhões em recursos do FGTS disponíveis no Pró-Saneamento foram contratados pela Caixa Econômica Federal (CEF), que operava o programa;
- ✓ No ano de 1996, dos R\$ 800 milhões aprovados pelo Conselho Nacional de Saúde, para a Fundação Nacional de Saúde, R\$ 400 milhões foram remanejados para a recém-criada Secretaria de Política Urbana, que não tem qualquer função executiva e apenas fórmula política para o saneamento;

⁵ PLC-199/93 – Projeto de Lei da Câmara Federal que estabelecia a Política Nacional de Saneamento

- ✓ No mesmo ano, menos de 20% dos recursos do FGTS para o Pró-Saneamento foram efetivamente contratados. O fundo, que tinha R\$ 1,2 bilhão disponível, só contratou R\$ 204,4 milhões; e,
- ✓ Em 1998, o programa FGTS - Pró-Saneamento, contou com R\$ 500 milhões a menos que o montante disponibilizado em 1997.

Já um outro projeto de lei elaborado pelo Senado, o PLS-266/96⁶, não especifica como será exercida, na prática, a prevista titularidade conjunta entre municípios e Estado. Este projeto também foi vetado pelo executivo federal ficando de reavaliar a questão.

Mais recentemente, com o agravamento da situação externa o Banco Central editou a resolução 2.521/98, que bloqueou os financiamentos para o setor público, incluindo recursos do BNDES e FGTS que não tenham sido aprovados até a data de 8 de julho de 1998.

Novamente, agora o executivo federal estabelece um novo projeto de lei para o setor de saneamento com a proposta do recente PL 4.147/01, que atualmente encontra-se em tramitação em regime de urgência constitucional para votação em plenário da Câmara Federal.

Em resumo, a questão está sendo o crescente distanciamento do discurso do Governo com a prática nas políticas adotadas para o setor saneamento. Dependendo do rumo dos acontecimentos, poder-se-á caminhar para uma privatização apressada, tendo em vista o afã dos Estados e Municípios (donos de empresas e concessões na área) em arrebanhar recursos, atualmente escassos conforme comentado anteriormente. Ainda assim, a questão da titularidade das concessões, com destaque as regiões metropolitanas, envolvem uns 300 municípios, que representam 60% do faturamento anual de R\$ 10 bilhões do setor, tem constitucionalmente os municípios como donos das concessões, sendo muito complicado para as CESB's, que operam os sistemas interligados nas regiões metropolitanas uma indefinição jurídica sobre o assunto. Qualquer que seja o rumo a ser definido, ele não pode atropelar principalmente a obrigatoriedade

⁶ PLS-266/96 – Projeto de Lei do Senado Federal que dispunha as diretrizes para o setor de saneamento para os poderes concedentes para um inter-relacionamento entre a União, Estados e Municípios

e a urgência da universalização dos serviços, o respeito à legislação de recursos hídricos e à legislação ambiental.

De outra forma, encontra-se em discussão na Câmara Federal, 57 projetos de lei para uma proposta dispondo sobre a Política Nacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Recentemente, foi elaborado pelo relator o Deputado Federal Emerson Kapaz, uma proposta unificada para projeto de lei, intitulado Relatório Preliminar da Política Nacional de Resíduos Sólidos, para abertura de discussão com a sociedade civil organizada (KAPAZ, 2001).

Em Campinas, a atual SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A apresentou-se como uma das raras exceções de empresas municipais que não aderiram ao PLANASA, ou seja, não concedeu à prestação de seus serviços à companhia do seu Estado, fator este preponderante na política daquela ocasião.

Agora, a mesma empresa encontra-se institucionalmente contra as diretrizes apontadas para o projeto de lei PL 4.147/01 do Governo Federal, o que traz de volta a liderança e o posicionamento político importante do município de Campinas nas questões relacionadas ao setor de saneamento.

Um diagnóstico do setor de saneamento ambiental, mais especificamente das áreas de resíduos sólidos e esgotos sanitários, tem como premissa básica o conhecimento do quadro de um passado recente, combinado com dados mais atualizados da região de interesse que é o município de Campinas.

Decorrente dos fatos históricos e políticos e, sobretudo, da importância do município de Campinas, através de sua empresa de saneamento ambiental, é necessário que um novo modelo de gestão seja interagido com os demais setores indispensáveis para o desenvolvimento de uma política de saneamento ambiental sustentável.

3.2 Uma análise nas interações dos setores elétrico e de saneamento ambiental

As interações entre o setor elétrico e de saneamento ambiental têm fundamental importância dentro do contexto do planejamento de uma gestão integrada a qual demandam os grandes centros e conglomerados urbanos, notoriamente as regiões metropolitanas.

Em face de uma situação precária de planejamento, diretrizes e políticas com vista à integração dos setores, a questão dos resíduos urbanos tornou-se um grande desafio que os municípios enfrentam. O crescimento acelerado e desordenado dos municípios, principalmente próximos as regiões metropolitanas, dificultam ações planejadas dentro do espaço urbano no sentido de que, as áreas adequadas para disposição de resíduos urbanos sejam reservadas. Assim, no Brasil nos últimos anos, com raras exceções, tem-se seguido essa tendência de falta de planejamento, onde são adotados constantemente modelos de gestão dos resíduos urbanos sem que haja uma prévia adaptação à situação sócio-ambiental do município.

Para tanto, alguns aspectos importantes devem ser objeto de uma análise sobre o que realmente facilitaria, no caso de uma proposta de aproveitamento energético de resíduos, se houvesse por parte dos setores de saneamento ambiental e elétrico um esforço efetivo na interação de conhecimentos e, sobretudo, no investimento de recursos. Para que a questão dos resíduos urbanos, notadamente, os resíduos sólidos de Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's) e os lodos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's), comecem a fazer parte de uma agenda comum entre os setores, é necessário destacar alguns aspectos que possuem interação entre si.

Aspecto do Ambiente Urbano

O conceito de ecossistema é uma ferramenta poderosa na compreensão do ambiente urbano: ele oferece uma estrutura para a percepção dos efeitos das atividades humanas e de suas inter-relações; facilita a avaliação dos custos e benefícios de ações alternativas; abarca todos os organismos urbanos, a estrutura física da cidade e os processos que fluem por ela; e é apropriado ao exame de todos os níveis da vida, de uma lagoa na cidade à megalópole. Ver a cidade como

um ecossistema permite a cada indivíduo perceber seu impacto cumulativo sobre a cidade. Um conhecimento da dinâmica do sistema produz uma apreciação diferente para os limites no espaço e no tempo do que a normalmente permitida nos objetivos do dia-a-dia, e esclarece os objetivos imediatos de projetar apenas dentro de limites políticos e períodos de tempo menores que algumas gerações humanas.

O fluxo e a transformação da energia e da matéria-prima forjam as ligações entre o ar, o solo e a água do ecossistema urbano e os organismos que nele vivem. Estabelecendo os caminhos ao longo dos quais a energia e a matéria fluem através do ecossistema urbano, podem-se também traçar as rotas ao longo das quais os poluentes se disseminam e determinar onde a energia é despendida e armazenada. A maior parte dos processos que governam o movimento da energia e da matéria através do ecossistema urbano já foram observados: processos de ganho e perda de calor, erosão, ciclo hidrológico, fotossíntese, respiração e cadeia alimentar. Como o ciclo hidrológico, os ciclos de nutrientes do carbono, do nitrogênio e do fósforo também ligam os organismos vivos ao ar, a terra e à água.

Desta forma a urbanista Spirm (1995), sustenta que os ecossistemas diferem-se em sua capacidade de suportar alterações e assimilar resíduos. A flexibilidade é uma medida da capacidade de um sistema de absorver mudanças, e alguns ecossistemas são mais flexíveis que outros. Cada ecossistema tem um domínio de estabilidade característico, no qual o fluxo de energia e matéria flui e reflui, e os organismos crescem, reproduzem-se e se adaptam às mudanças. Uma comunidade ecológica pode suportar perturbações consideráveis, enquanto elas não excederem a capacidade de resposta do sistema. O conhecimento dos limites dentro dos quais um dado sistema pode reagir permite seu uso para o processamento de resíduos humanos, protegendo ao mesmo tempo sua integridade. As condições limite da maioria dos ecossistemas não são bem compreendidas, mas representam uma das maiores contribuições potenciais dadas pelos ecologistas ao projeto e planejamento da cidade.

Assim, da mesma forma que o planejamento urbano, o planejamento de setores estratégicos, como o setor de energia elétrica e de saneamento ambiental, passa obrigatoriamente pelo conceito de ecossistema comentado e também possuem seus fluxos de energia próprios,

podendo estes estar perfeitamente interagindo, pelo simples fato de fazerem parte de um mesmo ecossistema, no caso o ambiente urbano.

Para que isso ocorra deve-se remeter a questão, segundo Sachs (1986), ao estudo de alguns paradigmas de conceitos e preconceitos que deverão ser quebrados na prática, e para que isto ocorra, a tarefa do planejador, por conseguinte, consiste em harmonizar interesses sócio-econômicos, ecológicos e culturais, definindo uma estratégia de ecodesenvolvimento que consiga um equilíbrio entre dois princípios éticos complementares e intimamente ligados: a solidariedade sincrônica com todos os homens da nossa geração, em geral e individualmente, e a solidariedade diacrônica com as gerações futuras.

Para entendermos melhor “velhos preconceitos”, segundo Sachs (1986), três condições são fundamentais:

1. Um grande conhecimento das culturas e dos ecossistemas, bem como daquilo que as diferentes culturas aprenderam sobre os seus ecossistemas;

Encontra-se aqui um grande preconceito das instituições em fazer por onde estar disponível a informação correta e suficientemente atualizada. A pesquisa, em sua análise e interpretação, é de fundamental importância na percepção da cidade como um todo. A informação errada e o difícil acesso a ela torna inútil o reconhecimento do ecossistema. Outro preconceito está na falta de interesse de entender à essência da cultura local. Facilitar mecanismos para que a população perceba o contexto do seu próprio meio ambiente, requer uma nova visão da cultura e da vida cotidiana, reformulando os valores e estilos de vida.

2. Um grande envolvimento dos cidadãos, pois são estes que estão aptos a identificar suas necessidades, para decidir suas compensações e distribuições de ganhos, trazendo o peso do presente em relação ao futuro, dentro de uma perspectiva local;

Outro preconceito dos políticos e pseudoformadores de opinião, pois tais pessoas aproveitam do instrumento do planejamento participativo na direção da popularidade, poder de

liderança e política, em benefício próprio. A imposição de políticas públicas e suas descontinuidades por interesses políticos e de curto prazo levam à dificuldade neste processo.

3. Um grande domínio institucional no planejamento requerendo mecanismos autônomos e multidisciplinares, os quais facilitarão o processo decisório em conformidade com as necessidades apontadas pela sociedade local.

As instituições encontram-se altamente burocratizadas, centralizadas e auto-perpetuantes. O modelo institucional atual não contempla sistemas independentes e autônomos e, um novo modelo institucional certamente deverá ser trabalhado lentamente requerendo paciência onde só será aprendida através da experiência, tanto positiva como negativa. Para isso não deverá ser esquecida a dimensão do tempo ao nos prepararmos para a ação.

Aspecto do Serviço Público

Para entender melhor as interações dos setores em estudo é necessário definir o que está sendo contemplado quando da descrição dos setores envolvidos.

No caso do setor de energia elétrica os serviços públicos estão relacionados das seguintes formas segundo Jannuzzi (2000):

- ✓ Pela falta de interesse de empresas privadas ou indivíduos em produzi-los;
- ✓ Pela definição do CPUC, em 1994 - *Califórnia Public Utilities Commission* (Agência de Regulação para empresas que operam serviços públicos na Califórnia) que define que os bens públicos são a eficiência energética, fontes renováveis, proteção ambiental, pesquisa, desenvolvimento e demonstração em áreas de interesse público, e a manutenção de programas para atender a população de baixa renda.

No caso do setor de saneamento ambiental os serviços públicos estão relacionados das seguintes formas:

- ✓ Pela definição na Lei Estadual n.º 7.750/92, artigo 2º, parágrafo I, que estabelece a Política do Estado de São Paulo para o setor de saneamento, onde considera que saneamento ou saneamento ambiental, como o conjunto de ações, serviços e obras que têm por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo, drenagem urbana, controle de vetores de doenças transmissíveis e demais serviços/obras especializados (SERHO, 2001).

Como discutido anteriormente, os setores elétrico e de saneamento estão sendo objeto de reformas pelo Governo Federal, cuja proposta tem como justificativa as seguintes prerrogativas, observadas segundo constatações de Biondi (1999) e segundo o Projeto de Lei Federal n.º 4.147/01:

- ✓ universalização (equidade) dos serviços – refere-se a assegurar procedimentos e garantias de serviços para todos os consumidores/usuários de energia elétrica e de saneamento;
- ✓ Insuficiência da capacidade do poder público de novos investimentos para atender a demanda – refere-se a possibilidade de comercialização e/ou privatização dos setores elétrico e de saneamento;
- ✓ Captação de recursos financeiros na comercialização e/ou privatização para amortização da dívida pública externa e interna – refere-se aos recursos financeiros oriundos da venda de companhias estatais dos setores elétrico e de saneamento que possam ser objeto de amortização da dívida pública, especialmente da dívida externa, em atendimento aos compromissos assumidos pelo Governo Federal junto ao Fundo Monetário Internacional (FMI); e,
- ✓ Diminuição da participação do poder público nos setores elétrico e de saneamento – refere-se a reestruturação dos setores e agentes envolvidos através da competitividade do mercado privado, transformando a participação do poder público em agente de fiscalização e regulação.

O objeto da reforma do setor energético, segundo Jannuzzi (2000), está quase que totalmente baseado no estudo realizado pelo Departamento de Energia, Meio Ambiente e Tecnologia da Agência de Desenvolvimento Norte-Americana (USAID) que categoriza em cinco os tipos principais de reformas realizadas no setor elétrico a partir de uma análise comparativa entre vários países. São elas: comercialização, privatização, desverticalização, competição para o mercado atacadista e varejista, e regulação.

Pelo fato das interações dos setores elétrico e de saneamento quanto ao aspecto do bem público, estarem sendo de certa forma “renegadas ou esquecidas” pelo mercado privado que está sendo aos poucos detentor das companhias, recentemente as companhias elétricas e brevemente as companhias de saneamento, cabe única e exclusiva responsabilidade das Agências Reguladoras (ANEEL, 1996)⁷ e (ANA, 2000)⁸, que foram devidamente instituídas e são geridas pelo poder público, facilitar as interações dos setores envolvidos para que todas as características do bem público sejam atendidas pelas companhias sejam elas públicas e/ou privadas.

Uma interação bastante relevante dos setores envolvidos faz-se presente quando da aplicação por completo das políticas federal e estadual de recursos hídricos⁹ com o advento da criação dos comitês e agências de bacias hidrográficas e seus mecanismos de gestão integrada. No caso a água, notoriamente um bem público, constituirá também, com a aplicação da nova política, num bem econômico, e sua utilização e lançamento serão objetos de cobrança através de tarifas que serão geridas pelos comitês e agências de bacias. Tem-se assim na mesma mesa de negociação a questão dos recursos hídricos e suas interfaces com as companhias de energia elétrica e de saneamento ambiental.

Aspecto das Externalidades

Outro conceito muito relevante tanto para o setor de energia elétrica como para o setor de saneamento ambiental, segundo De Moura (2000), e que foi desenvolvido pelo economista inglês Pigou em 1920, que estabeleceu que existe externalidades quando a produção e/ou operação de

⁷ ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Lei de Criação n.º 9.427 de 26/12/1996

⁸ ANA – Agência Nacional das Águas - Lei de Criação n.º 9.984 de 17/07/2000

uma empresa (ou um consumo individual) que afeta o processo produtivo ou um padrão de vida de outras empresas ou pessoas, na ausência de uma transação comercial entre elas. Normalmente esses efeitos não são avaliados em termos de preços. O conceito de externalidades, portanto são efeitos sobre terceiros ou sobre a sociedade como um todo causado por atividades na produção e/ou operação de sistemas que não são capturados adequadamente através de mecanismos de preços. No caso específico do setor de saneamento ambiental o presente texto aborda especificamente como externalidades os resíduos sólidos domésticos orgânicos e lodos de esgotos.

As externalidades podem ser positivas quando beneficiam outros ou negativas quando trazem prejuízos. No caso específico do setor de energia elétrica este pode apresentar diversas externalidades negativas nos diferentes impactos sociais e ambientais. Como exemplo, a construção de usinas hidrelétricas e a conseqüente formação de áreas inundadas por conta da formação do barramento dos cursos d'água ou ainda a construção de usinas termelétrica e a conseqüente demanda hídrica necessária para resfriamento do sistema, além da poluição atmosférica intrínseca.

Por outro lado também, no setor de saneamento ambiental os resíduos em estudo já são considerados externalidades negativas do setor podendo transforma-se em externalidades positivas com a interação com o setor de energia elétrica através do seu aproveitamento como insumo energético. Da mesma forma, tanto o setor elétrico como o setor de saneamento podem beneficiar-se do aproveitamento dos resíduos como insumo energético, onde tecnicamente o setor elétrico contará estrategicamente com outra alternativa para suprir os picos das demandas de energia e o setor de saneamento agregará um valor econômico direto/indireto para suas externalidades.

No aspecto das externalidades também se observa, segundo Veiga (1992), a necessidade do planejamento onde o que se verifica nas instituições é o intitulado conceito da linguagem econômica convencional de planejamento estratégico. Mas este tipo de planejamento está longe de atingir os objetivos verdadeiros das necessidades iminentes do bem-estar da comunidade local,

⁹ Lei Federal n.º 9.433/97 e Lei Estadual n.º 7.663/91

e por consequência disso, está bem distante do planejamento participativo e sistêmico tão necessários para amenizar os efeitos das externalidades.

Prova disso, é que os problemas das externalidades aqui em estudo não são encarados de maneira consistente e sustentável, trabalhar com a causa e não com o efeito, ou pior, da forma que são geridas estão proporcionando outras externalidades, ou quando verificadas, interiorizando-as através de mecanismos de valorização e valoração dos efeitos. Parte do pressuposto que a valoração econômica não é o único caminho possível para que se alcance as causas e um planejamento das ações compatíveis com a aspiração a um desenvolvimento sustentável.

Aspecto do Mercado Ambiental

A questão dos resíduos em estudo está sendo observada a partir do momento que os limites de aceitabilidade sócio-ambiental estão sendo exauridos. O bem-estar da sociedade está sendo afetado na medida que se observa o mau cheiro do rio, a qualidade da água do poço e o lixo estão sendo jogados sem critérios mínimos no fundo de nossos quintais. Além disso, a capacidade de assimilação do ambiente natural: - água, terra e ar – não poderá ser analisado de maneira quantitativa, e sim qualitativamente levando-se sempre em conta que os recursos são finitos.

Existem interações no contexto da responsabilidade social e ambiental que é de fato muito relevante no aspecto de alternativas energéticas renováveis, na proteção e controle ambiental, na Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração (PD&D) e na imagem das empresas (*green marketing*).

A questão da responsabilidade social e ambiental está relacionada com diversos fatores dos quais destacamos os mais relevantes para os setores em estudo. São eles:

- ✓ Fatores relacionados ao bem-estar e a qualidade de vida da comunidade;

- ✓ Fatores relacionados à pressão e conscientização ecológica, através de *stakeholders*¹⁰, organizações não-governamentais, sociedade civis organizadas, e, sobretudo, do próprio poder público através da legislação ambiental vigente com instrumentos fiscalizadores como: ministério público, agências de fiscalização ambiental e conselhos de meio ambiente deliberativo;
- ✓ Fatores relacionados à qualidade do produto e/ou serviço: neste caso refere-se a aplicação de normas de qualidade e certificação internacionais como a ISOs 9.002 e 14.001, além de seus mecanismos de aplicação e gerenciamento como a avaliação do ciclo de vida de produtos e serviços (AICV) em cada sistema produtivo; e
- ✓ Fatores relacionados à eficiência técnica (ecoeficiência) utilizando-se de sistemas que proporcionem menor entropia e alta sustentabilidade social, econômica e ambiental.

Acrescenta-se o fato, no caso específico do setor elétrico, uma nova dinâmica concorrencial ameaçando abrir fendas no padrão estanque de interação entre as várias indústrias energética, colocando-se três questões que são relativas às integrações vertical e horizontal e à diversificação quanto ao aspecto estrutural e empresarial do setor.

Segundo Souza Jr. et. al. (1999), a integração vertical tem sido, até o presente momento, a forma clássica de organização industrial do setor energético. Entretanto, ela já começa a ser contestada por várias formas de desregulamentação, ou melhor, re-regulamentação. Atualmente, constata-se um duplo movimento de integração vertical: são empresas petrolíferas buscando oportunidades de diversificação em atividades correlatas e empresas de gás natural procurando penetrar diretamente na produção de eletricidade.

Já a integração horizontal refere-se essencialmente à diversificação, tratando-se da possibilidade para uma determinada empresa, de atuar em diferentes mercados correlatos, de forma simultânea, em função dos sinais de estímulo daí provenientes. Souza Jr. et. al. (1999) destaca ainda que estruturas de integração horizontal na indústria energética possibilitam o

¹⁰ *stakeholders* – formadores de opinião e/ou líderes locais

desenvolvimento de sistemas energéticos economicamente mais eficazes e melhor enquadrados em relação às exigências de preservação ambiental.

Outro fator preponderante poderá efetivamente traçar novos caminhos convergentes no que tange ao aproveitamento energético do gás metano, por exemplo. A questão da Convenção de Mudança do Clima, que como foi determinado pelas Nações Unidas (Protocolo de Quioto), onde trata dos gases de efeito estufa que devem ser reduzidos dentro de um cronograma ainda em discussão, será notoriamente um fator indutor da área ambiental para que o setor de saneamento e de energia possa conjuntamente analisar a possibilidade de aproveitamento energético do gás metano oriundo dos aterros sanitários e de sistemas de tratamento de esgotos. Segundo Kessler, (2000), o aproveitamento energético do gás metano além de produzir a eletricidade que as prefeituras são obrigadas a comprar, o metano (CH_4) queimado se converte em dióxido de carbono (CO_2) que é cerca de 20 ou mais vezes menos poluente que o metano, havendo, portanto um efeito despoluidor pela transformação do (CH_4) em (CO_2).

3.3 Fatores relevantes e mecanismos facilitadores no aproveitamento energético de resíduos

Na grande maioria das vezes, o proprietário dos sistemas de Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's) vem sendo o poder público municipal, através das prefeituras. Na área de influência direta e indireta da região metropolitana de Campinas, em alguns casos, os sistemas de URTR's atendem mais que um município (caso do município de Hortolândia que recebe os resíduos do município de Sumaré). Em outros existem a figura do consórcio intermunicipal, criado especificamente para este fim (caso do consórcio CIAS onde engloba os municípios de Jundiaí, Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Itupeva, Louveira e Vinhedo). Existe ainda a possibilidade do município terceirizar para empresas privadas a operação das URTR's (caso do município de Campinas, Amparo, Indaiatuba etc...), e por último, existe a possibilidade do município dispor seus resíduos urbanos em URTR's de empresas privadas (caso de Paulínia, Jaguariúna etc...), pagando um preço por tonelada de resíduos onde notadamente verificam-se custos bastante elevados se comparados com as outras situações.

Por diversos motivos, mas principalmente pelos custos variados inerentes aos serviços¹¹, a prefeitura municipal, através de seus departamentos afins, tem assumido o papel de executora, gerenciadora e operadora dos sistemas de URTR's.

Por outro lado, no caso de sistemas de ETE's, em se tratando do poder público municipal, o mesmo pode ocorrer, podendo somente acrescentar que o proprietário do sistema poderá ser uma empresa pública autônoma, ou uma autarquia municipal, ou ainda uma empresa de economia mista de capital público (caso da SANASA). Ainda assim, acrescenta-se a hipótese dos sistemas de ETE's serem de empresas concessionárias estatais (caso da SABESP) ou mesmo concessionárias privadas (caso das Águas de Limeira), sendo que nestes casos a titularidade da concessão ainda é pertencente ao município.

Através da interação dos setores de gestão urbana em saneamento básico, resíduos sólidos, meio ambiente, recursos hídricos e de energia, é que as políticas de gestão em saneamento ambiental deverão ser concebidas, trazendo à tona os diversos mecanismos de flexibilização institucional previstos no Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), quanto as suas empresas sejam elas estatais, municipais ou mesmo privadas. Destacam-se assim os mecanismos básicos para promover uma flexibilização no setor que são (BRASIL, 1995):

- ✓ A mudança na natureza das funções e papéis das empresas – como se sabe as empresas de saneamento são monopolistas, exigindo um reposicionamento que as oriente para um comportamento essencialmente empresarial e competitivo, sem prejuízo de sua natureza de empresas públicas;
- ✓ A renegociação das concessões dos serviços superavitários – o relacionamento entre os Estados e municípios devem estabelecer parcerias e maior integração, de modo a garantir vantagens mútuas para os interesses dos usuários;

¹¹ Os custos dos serviços de operação de sistemas de URTR's chegam a representar entre R\$ 10,00 a R\$ 40,00/tonelada dependendo da concepção das URTR's e suas implicações em termos de controle ambiental e medidas mitigadoras.

- ✓ A descentralização e apoio à operação dos sistemas locais – estruturas institucionais autônomas e municipais, como forma de reduzir custos, inclusive pela desvinculação desses serviços dos padrões administrativos únicos, sobretudo no que se refere às políticas de remuneração de pessoal e investimento;
- ✓ A exploração de novas funções e papéis das empresas – deve-se explorar novos negócios em seu âmbito de ação, dentre os quais se destacam aqueles capazes de utilizar os conhecimentos e vantagens competitivas resultantes de seus recursos humanos, na prestação de serviços de assistência e orientação técnica inclusive treinamento de pessoal para operação de sistemas; e,
- ✓ A reengenharia da estrutura, dos processos e ajustamento de pessoal – uma mudança para uma nova ordem da ação pública e de sua inserção no setor de saneamento ambiental, transformando as atuais estruturas verticalizadas, em estruturas de integração horizontal nas empresas de saneamento possibilitando o desenvolvimento de sistemas energéticos economicamente mais eficazes e melhor enquadrados em relação às exigências de preservação ambiental.

O elemento chave para as ações nos mecanismos de flexibilização institucional deve ser o aumento da capacidade de competição das instituições de saneamento ambiental, frente a um quadro de transformações radicais que se espera que venham a ocorrer no setor e em toda a realidade do país nos próximos anos. Os cenários de mudanças devem considerar simultaneamente a necessidade de que as empresas do setor de saneamento ambiental e de energia elétrica evoluam de sua atual configuração para uma relação aberta, interativa e competitiva. Nesse sentido, deve-se considerar a importância de que sejam realizados “projetos pilotos” com aquelas organizações que se demonstrarem mais interessadas em desenvolver esses experimentos de mudança, de modo a servir de referência a outras iniciativas que fatalmente virão a ocorrer no futuro. Tais projetos devem considerar os fatores relevantes, e através de mecanismos facilitadores promover dentro da viabilidade de cada projeto o aproveitamento energético de resíduos, notadamente dos Resíduos Sólidos Domésticos Orgânicos (RSDO's) e os Resíduos de Lodos de Esgoto (RLE's) oriundos de Unidades Receptoras e de Tratamento de

Resíduos (URTR's) e Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) respectivamente. Assim os fatores relevantes a serem considerados são:

Tributo, taxas ou tarifas, eis a questão?

Uma das vantagens principais dos Instrumentos Econômicos (IE) é corrigir as distorções dos preços no mercado, ao incorporarem os custos da poluição e outros custos ambientais nos preços - um processo de "correção dos preços" e, simultaneamente, de aplicação do "princípio do poluidor-pagador". Esta vantagem das taxas verdes foi reconhecida pelo conselho "Ambiente", de 12 de Dezembro de 1991, que estabeleceu uma plataforma comum da Comunidade para a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, em 1992: Assim dizia o documento: *"Para obter a redistribuição dos recursos econômicos que permita atingir o desenvolvimento sustentável, todos os custos sociais e ambientais devem ser integrados nas atividades econômicas, para que as externalidades ambientais sejam internalizadas. Isto significa que os custos ambientais e outros, relacionados com a exploração dos recursos naturais de forma sustentável e suportados pelo país fornecedor, devem refletir-se nas atividades econômicas. Os instrumentos econômicos e fiscais devem encontrar-se entre as medidas utilizadas para atingir este objetivo"*.

Desde então, a utilização das taxas ambientais aumentou, principalmente na Europa, mas subsiste ainda uma margem considerável para uma aplicação muito mais ampla.

Segundo o Diretor Executivo da Agência Européia de Meio Ambiente (AEA), Sr. Domingo Jiménez-Beltrán, em relatório encomendado pela Comissão do Ambiente, da Saúde Pública e da Defesa do Consumidor do Parlamento Europeu sobre taxas ambientais, publicado no final de 1996, as principais razões para a utilização das taxas ambientais são as seguintes:

- ✓ São instrumentos particularmente eficazes para a internalização das externalidades, isto é, para a incorporação dos custos dos serviços e dos danos ambientais (e respectiva reparação) diretamente nos preços dos bens, serviços e atividades que estão na sua origem,

contribuindo para a aplicação do princípio do poluidor-pagador e para a integração das políticas ambientais nas políticas econômicas;

- ✓ Podem proporcionar incentivos, tanto aos consumidores como aos produtores, para que alterem o seu comportamento no sentido de uma utilização dos recursos mais eficiente do ponto de vista ecológico; para estimular a inovação e as mudanças estruturais e reforçar o cumprimento das leis;
- ✓ Podem gerar receitas susceptíveis de serem utilizadas no financiamento ambiental e/ou para reduzir os impostos sobre o trabalho, o capital e a poupança;
- ✓ Podem ser instrumentos políticos particularmente eficazes para enfrentar as atuais prioridades ambientais, geradas por fontes de poluição "difusas" como as emissões dos transportes (incluindo os transportes aéreos e marítimos), os resíduos (por exemplo, embalagens e pilhas) e as substâncias químicas utilizadas na agricultura (por exemplo, pesticidas e fertilizantes).

De acordo com o relatório da AEA, para facilitar a avaliação da eficácia das taxas ambientais, estas foram classificadas em três categorias fundamentais, de acordo com os seus principais objetivos políticos:

- ✓ *Taxas por serviço prestado* - destinadas, por exemplo, a cobrir os custos dos serviços ambientais e das medidas de redução, como o tratamento da água (taxas de utilização), e que podem ser usadas em gastos ambientais dentro da mesma área (taxas reservadas);
- ✓ *Taxas de incentivo* - que visam mudar o comportamento dos produtores e/ou dos consumidores; e.
- ✓ *Taxas fiscais ambientais* - essencialmente destinadas a gerar receitas.

Em muitos casos pode observar-se, na prática, uma mistura destas três funções.

As taxas ambientais evoluíram, regra geral, a partir das taxas por serviço prestado, nas décadas de 60 e 70, para várias combinações de taxas de incentivo e taxas fiscais ambientais, nos anos 80 e 90, e, mais recentemente, para a sua integração em "reformas fiscais verdes", em que os impostos sobre "males" como a poluição substituí alguns impostos sobre "bens" como o trabalho.

Assim ainda segundo o relatório da AEA, as tendências atuais em matéria de taxas ambientais (aqui divididas em taxas sobre a energia e outras taxas ambientais) podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

- ✓ As *taxas ambientais* (impostos não-energéticos, nos termos da classificação da DGXXI da Comissão Europeia) representavam apenas 1,5% do total dos impostos da União Europeia em 1993; só em alguns países as taxas ambientais constituem uma percentagem maior (Países Baixos 5,1%; Dinamarca 4%); as taxas classificadas como impostos sobre a energia, representavam, todavia uma maior percentagem (5,2% em média, para a União Europeia), chegando a atingir cerca de 10% em Portugal e na Grécia de 6 a 7% na Itália e no Reino Unido;
- ✓ As tendências gerais da tributação, a partir de 1980, mostram um aumento dos impostos sobre o trabalho e uma diminuição dos impostos sobre o capital, ao passo que a quota dos impostos sobre a energia e das taxas ambientais se mantiveram relativamente estáveis, com um ligeiro aumento dos primeiros;
- ✓ Embora tenha havido poucos progressos na implementação das taxas ambientais a nível comunitário, fizeram-se progressos consideráveis em nível dos Estados-membros, nomeadamente nos países do norte da Europa;
- ✓ Vários países estão atualmente a implementar taxas ambientais integradas em "reformas fiscais verdes", utilizando as novas receitas fiscais para reduzir outros impostos, como os tributos sobre o trabalho.

As principais conclusões do relatório da AEA, sobre a aplicação das taxas ambientais são:

- ✓ As taxas avaliadas revelaram *benefícios ambientais* e, na maioria dos casos, parecem ter *uma boa relação custo-benefício*, dentro dos limites da avaliação realizada;
- ✓ São *exemplos* de taxas particularmente eficazes a da poluição atmosférica, na Suécia; a da poluição dos recursos hídricos, nos Países Baixos; o imposto sobre os óxidos de azoto e os esquemas de diferenciação fiscal dos carburantes, na Suécia.
- ✓ As taxas de incentivo são, em geral, eficazes do ponto de vista ambiental, quando a taxa é *suficientemente alta para estimular medidas de atenuação*;
- ✓ Um contributo significativo para a eficácia ambiental das taxas por serviços prestados é dado pela *utilização das receitas para gastos ambientais dentro da mesma área*.
- ✓ As taxas podem, ao fim de períodos de tempo relativamente curtos (2 a 4 anos), demonstrar-se vantajosamente em comparação com outros instrumentos para a implementação da política de ambiente, embora os impostos sobre a energia (à semelhança de certas leis) possam demorar de 10 a 15 anos para exercerem efeitos de incentivo substanciais.
- ✓ Avaliar uma taxa e o seu impacto ambiental não é tarefa fácil. As taxas fazem freqüentemente parte de um pacote de políticas difíceis de dissociar e por isso a eficácia da taxa, só por si, nem sempre pode ser claramente identificada.

Além disso, as taxas podem ter múltiplos efeitos ambientais e benefícios secundários suscetíveis de melhorarem a política governativa em quatro áreas fundamentais: o ambiente, a inovação e a competitividade, o emprego e o sistema fiscal.

Segundo ABES (1998), na Holanda como exemplo as taxas por serviço prestado tem surtido efeitos positivos relativamente interessantes dentro de um política integrada. O quadro abaixo resume alguns dados relativos ao exemplo da Holanda.

Tabela 3.2. – Instrumentos econômicos utilizados na Holanda

| Instrumento | Efeito ambiental | Efeito de incentivo | Observações sobre a eficácia global Taxas por serviço prestado: taxas de utilização |
|---|-------------------------|----------------------------|---|
| Taxa de descarga em meio aquático (Holanda) | +++ | + | A taxa gerou verbas para o rápido aumento da capacidade de tratamento. Embora o incentivo fiscal fosse baixo, o uso das receitas para esse fim contribuiu para melhorar substancialmente a qualidade da água em 10 a 15 anos. |
| Taxa sobre os resíduos domésticos (Holanda) | + | ?/+ | Divisão mais justa dos custos de gestão dos resíduos domésticos; os valores variáveis podem ter incentivado a redução dos resíduos (10 a 20% menos de resíduos per capita). |

Legenda:

+ / +++ / +++ = efeito pequeno / médio / elevado

0 = efeito nulo ou insignificante

? = efeito desconhecido

Na questão dos resíduos, notadamente dos esgotos domésticos urbanos, a experiência brasileira tem-se demonstrado bastante positiva, principalmente na questão de taxas por serviços prestados, onde recentemente a Agência Nacional de Águas (ANA) instituiu o Programa Nacional de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PNDBH), através da Resolução ANA nº 06, de 20/03/2001, que estabelece recursos para aplicação de obras em Estações de Tratamento de Esgoto para os municípios que tenham investido na área em questão, e pretendem ampliar este atendimento para sua população (ANA, 2001). Os recursos financeiros são limitados em 50% do investimento a ser realizado, devendo o município estar credenciado tecnicamente (estar comprometido em investimentos em tratamento de esgotos) para ser objeto de qualificação para tal programa.

Por outro lado também, com diversos resultados satisfatórios, sendo agora na área de resíduos sólidos urbanos, a experiência brasileira têm sido implementada, mesmo que timidamente, em municípios que desejam um sistema integrado de saneamento ambiental. Esta prática tem ocorrido com a transferência dos serviços de coleta e tratamento de lixo para as empresas municipais e/ou estaduais de saneamento básico.

Assim, segundo ABES (1998), a taxa de lixo junto à tarifa de água/esgoto é uma forma alternativa de cobrança, onde no caso do município de União da Vitória, situado no extremo sul do Estado do Paraná, está sendo a solução em termos de gestão pública para o setor de saneamento ambiental, especificamente na área de resíduos sólidos. O município com 50.000

habitantes, sendo 45.000 na zona urbana, apresentava-se como forma de cobrança, a taxa de lixo através do carnê do IPTU, ocorrendo uma média histórica de inadimplência no pagamento deste tributo em mais de 45%, e por conseqüência a taxa de coleta de lixo também. Depois de muitos estudos, optou-se pela cobrança dos serviços de lixo através da tarifa de água/esgoto, com convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de União da Vitória e a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Com a devida autorização do legislativo municipal em dezembro de 1997, celebrou-se o convênio, iniciando-se a cobrança da taxa de lixo, juntamente com a fatura de água em janeiro de 1998, trazendo a inadimplência para menos de 3% no que concerne às contas pelos serviços de lixo, coincidentemente patamares idênticos de inadimplência da SANEPAR.

Ainda segundo o mesmo autor, a fórmula que foi apresentada como alternativa, que propõe a taxação do lixo, em função do consumo de água, a primeira vista foi tão ou mais imperfeita, já que não existia nenhuma relação direta entre as duas variáveis. O que se buscava, na verdade, ao tentar estabelecer uma correlação entre elas, é o caráter de proporcionalidade, que representam. Senão como exemplo: tomando uma residência onde moram 6 pessoas e outra onde reside apenas 1 pessoa. Imagine as duas casas do mesmo tamanho, vizinhas entre si. Não seria correto afirmar que, proporcionalidade, o consumo de água na casa onde moram 6 pessoas é 6 vezes maior que a casa habitada por uma só pessoa? E a geração de lixo, não seria na mesma proporção? Todavia, tais variáveis são certamente dependentes de uma série de outros fatores, como poder aquisitivo, aspectos culturais, hábitos pessoais, etc., mas que após analisados estatisticamente, poderão comprovar se a correlação é positiva.

Segundo ABES (1998) através de estudo específico efetuado no município de Mairinque, é possível obter um índice relacional entre a utilização da água e a geração de resíduos sólidos urbano, apresentando que esta relação é variável quanto ao padrão social e econômico da população investigada. Assim, buscando maior equidade sócio-econômica, pode-se adotar modelos de índices relacionais diferenciados por critério de regiões homogêneas, aproveitando o cadastro municipal quanto ao valor venal dos imóveis, ou ainda pelo perfil social, econômico e cultural, ou por fim, um “mix” criterioso de todas as fontes de informações disponíveis.

Estudos neste sentido, envolvendo consumo de água x nº de pessoas x geração de lixo, estão sendo desenvolvidos, segundo informações, em vários locais. Além disso, desde 1993, o Poder Público do município de Penápolis - SP outorgou os serviços de coleta e limpeza pública para o Departamento de Águas e Esgoto de Penápolis (DAEP), passando o enfoque deste departamento autônomo para um mecanismo mais amplo de saneamento ambiental. E ainda, inserem-se outros casos como a própria SANEPAR, SABESP, municípios de: Colatina – ES, Porto Feliz - SP, Santo André – SP, e recentemente Amparo - SP, dentre outros que estão em fase de planejamento e mudança do sistema de gestão atual para um enfoque mais amplo e integrado visando a questão do saneamento ambiental.

O desperdício da ecoeficiência energética e a co-geração

Cavalcanti (1999) coloca a seguinte questão referente à eficiência ecológica: *“Na sociedade industrial os ecociclos são rompidos. Tal sociedade, ao invés de desenvolver-se em obediência a ciclos naturais, move-se unidirecionalmente, de baixa para alta entropia... No caso da natureza, prevalece a regra da homeostase , da suavização da dissipação de matéria e energia, com reciclagem contínua de materiais. Maximiza-se a eficiência ecológica. No caso das economias ‘modernas’, o uso de matéria e energia segue não o modelo dos ecociclos, mas o de industrialização, transforma riqueza (os recursos da natureza) em lixo (bens e serviços que terminam, após o consumo, sob a forma degradada de resíduos, sujeira ou calor dissipado). Trata-se de um movimento unidirecional, de caráter irreversível – no qual, sem embargo, é possível, via preços de mercado, obter máxima eficiência econômica.”*

Os preços fixados (tributos, taxas, tarifas e valores agregados de serviços e produtos) nos mercados não captam a dimensão ecológica dos processos econômicos, tratando-a como algo externo, fora de controle da ciência econômica: aquilo que os economistas chamam friamente de externalidades. Além dos resíduos serem tratados como externalidades diante da economia neoclássica, soma-se a isto, o fato dos resíduos serem fatores de desperdícios, ou seja, de sistemas que proporcionam alta entropia onde os condicionantes biofísicos relacionados à termodinâmica ficam a deriva afetando a sustentabilidade destes sistemas.

Assim, analisando as atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição de água, bem como as inerentes ao esgotamento e tratamento de esgotos que têm a energia elétrica como principal insumo, conseqüentemente tornando as companhias de água e esgoto grandes consumidoras de eletricidade, pode-se constatar que o insumo energético, no caso da eletricidade, não pode tornar-se desperdício e tão pouco externalidades, o que fatalmente remete aos sistemas de saneamento para uma grande ineficiência operacional e de graves prejuízos econômicos.

Pensando nisso, a Política do Governo Federal através do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (ELETROBRÁS/PROCEL, 1999) para o setor de saneamento, objetiva melhorar a eficiência energética nas concessionárias de saneamento, atuando de forma integrada nos vetores de água/esgoto e energia elétrica, de forma a obter a redução do consumo de energia, da demanda na ponta, e postergar os investimentos do Setor Elétrico para o atendimento do mercado de energia elétrica.

O setor de saneamento tem estruturação regionalizada, com base nas Companhias Estaduais, Serviços Municipais, e mais recentemente em algumas companhias privadas, estando em fase de implantação o suporte institucional/gerencial em nível nacional (ANA), que permita a existência de uma modelação técnica-operacional capaz de induzir a disseminação das tecnologias e metodologias aplicáveis ao segmento.

A expansão dos sistemas para atender à população requer vultosos investimentos. Dados oficiais da ANA indicam que serão necessários mais de R\$ 40 bilhões para a universalização dos serviços. No entanto, estatísticas no Brasil são quase sempre precárias, mas segundo elas, a universalização dos serviços de saneamento custará R\$ 4 bilhões ao ano durante 10 anos, sendo que o orçamento federal para 2001 previu R\$ 1,8 milhões para o setor, mas até o primeiro semestre foi liberado apenas 0,3% deste valor (NOVAES, 2001).

No estágio atual no Brasil, 90% das áreas urbanas são abastecidas por água e somente 48% por coleta de esgoto. Além disso, as demandas populacionais crescentes e os contingenciamentos econômicos, não permitiram e não permitem que, por um lado, sejam atendidas as necessidades básicas de saneamento para a população e, por outro, a melhoria da eficiência dos sistemas

existentes, acarretando carências cuja conseqüência são índices de desperdício da água de 42% que representam cerca de R\$ 2,3 bilhões por ano.

Atualmente, no enfoque de conservação de energia, as empresas de saneamento de um modo geral, têm ações de conservação de energia aplicadas tão somente à correção de fator de potência, decorrente de multas contratuais nas contas de energia ou, em alguns casos, apenas o acompanhamento e o controle contábil das contas de energia.

A estrutura estabelecida pelo PROCEL para o setor de saneamento contempla basicamente 3 segmentos: o de educação, de tecnologia, e o de projetos de demonstração, que darão elementos para a multiplicação dos resultados, especialmente os voltados para a abertura de um novo mercado, visando o estímulo da atuação de *Energy Saving Companies* – (ESCO's) no setor de saneamento.

Com as informações disponíveis, o PROCEL pode estabelecer uma meta factível de redução de 15% no desperdício de energia elétrica para o setor de saneamento do Brasil, direcionando as principais ações para os seguintes tópicos:

- ✓ Modulação de carga: em relação à “ponta” dos sistemas elétricos;
- ✓ Controle de vazões: de recalque em relação à demanda da rede de distribuição;
- ✓ Dimensionamento adequado/retrofit: dos equipamentos eletromecânicos; e,
- ✓ Automação operacional: de sistemas com gerenciamento e supervisão “on line”.

Algumas estratégias de interações podem ser destacadas no Programa PROCEL para o setor de saneamento:

- ✓ Estimular a transformação de mercado de saneamento, envolvendo concessionárias, fabricantes e consultores, através de projetos pilotos demonstrativos;

- ✓ Implementar e difundir novas tecnologias de supervisão, controle e de gerenciamento de dados visando otimizar a operação do sistema;
- ✓ Implementar e difundir novas tecnologias, e equipamentos energeticamente mais eficientes;
- ✓ Treinar e capacitar as equipes das concessionárias e de consultores de forma a facilitar o entendimento e a assimilação de novas tecnologias e procedimentos operacionais.

Decorrente destas estratégias se apresentam oportunidades potenciais que devem ser exploradas, tais como:

- ✓ Atuação articulada com a SEPURB/DESAN, considerando as prioridades de melhoria de eficiência, contidas no Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, dentro da retomada do desenvolvimento de setor de saneamento por parte do governo federal;
- ✓ Estimular a ação de ESCO's junto às concessionárias de saneamento;
- ✓ Prever cláusula nos contratos de concessão para aplicação de no mínimo 1% do faturamento para melhoria de eficiência dos sistemas hidráulico e elétrico.

Todavia, o setor de saneamento, dentro do aproveitamento energético de seus resíduos, ainda não estabeleceu uma estratégia estrutural e empresarial dando conta de seu potencial em termos da diversificação horizontal do setor energético, além é claro do mercado ambiental relacionado ao “*green marketing*” e a ecoeficiência.

Como exemplo da diversificação e horizontalização do mercado temos, segundo Souza Jr et. al. (1999), a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, que vem comprando o excedente de energia produzida por usinas sucro-alcooleiras de São Paulo (em 1993, a eletricidade de dez usinas foi vendida a CPFL, e destas, oito localizam-se na região de Ribeirão Preto e 2 na de Campinas), sinalizando para a diversificação do setor sucro-alcooleiro. Em 1992, a CPFL comprou das usinas quase 39 GWh, o que representou um crescimento de 14 vezes sobre o

montante adquirido em 1987 (2,8 GWh). Os preços de compra que a CPFL se dispõe a pagar aos usineiros estão na raiz da questão, na medida em que estes possam sinalizar positivamente para o aumento da expectativa de ampliação do programa de co-geração até o final do século. No final da década de 80, as usinas recebiam cerca de US\$ 17 por MWh, ao passo que, em 1993 este valor já tinha saltado para US\$ 30 por MWh podendo atingir até US\$ 50 por MWh para energia de melhor qualidade.¹²

O setor sucro-alcooleiro vem sendo encarado pelos ambientalistas como fontes de aproveitamento energético de alternativas sustentáveis, principalmente com a aplicação de tecnologias avançadas de ecoeficiência como é o caso da gaseificação do bagaço (COELHO, 1995).

Em nosso caso específico, o aproveitamento energético de resíduos, segundo Kessler, (2000) dos 303 a 578 milhões de m³ de gás metano por ano gerados, somente em base de 13 aterros principais no Brasil, possibilitaria a produção por baixo de 60 a 144 MW de energia elétrica. Dos aterros avaliados, cerca de 25% provêm de dois aterros cadastrados, isto é: o de Bandeirantes (SP) e Gramacho (RJ). Portanto, considerando o total de lixões e de aterros considerados sanitários, o total de metano produzido em todo o Brasil, deverá exceder de 300 MWe, estimado de forma conservadora. Além disso, incorporando-se nesta contabilização o total de metano produzido a partir do esgoto, através da disposição e tratamento do lodo de esgoto, tem-se um acréscimo de no mínimo 20% de energia equivalente, ou seja, mais 60 MWe.

O ganho ambiental no valor de uso, existência e opção ou será comando-e-controle e instrumentos econômicos

Segundo De Moura (2000) um dos maiores problemas constatados ao se estudar ganho ambiental é a dificuldade em se estabelecer valor para um bem ambiental. A maioria desses bens

¹² Tanto as concessionárias estaduais, como o setor sucro-alcooleiro cogitam que, pelo menos em tese, as usinas de açúcar e álcool de São Paulo poderiam gerar excedentes comercializáveis de eletricidade relativos a uma potência instalada variando de 300 a 2.600 MWe, explorando-se intensivamente as tecnologias convencionais já incorporadas pelo setor. Porém, com a tecnologia mais avançada (gaseificação do bagaço e subsequente queima de esquemas de ciclo combinado) a potência elétrica mobilizável no setor sucro-alcooleiro paulista poderia chegar a cerca de 6.000.

não é comprada ou vendida no mercado e, via de regra, as próprias pessoas não quer que seja atribuído valor, ou seja, poucos aceitam pagar pela qualidade de vida, embora todos queiram uma elevada qualidade.

Conforme Pearce citado ainda por De Moura (2000), o valor dos bens ambientais pode ser classificado em três categorias:

- ✓ *Valor de uso*: refere-se ao preço dos recursos naturais como os minérios, madeiras de uma floresta, água (sua retirada vai passar a ser cobrada), peixes, animais para caça, entre outros. Esses valores também são referidos como de uso direto. O valor como uso indireto seria, por exemplo, o valor como uso recreacional (um lago para esportes aquáticos, natação, pesca de lazer, etc.), o valor de uma floresta no tocante à reciclagem do CO₂ e como fonte de nutrientes para o solo, ações sobre o clima e outros efeitos ecológicos.
- ✓ *Valor de opção*: refere-se à preservação do bem ambiental para uso no futuro, de forma direta ou indireta, ou seja, um uso potencial. Trata-se, de um valor de não-uso do recurso presente, essa escolha trazendo uma satisfação às pessoas.
- ✓ *Valor de existência*: refere-se a um valor normalmente intangível, ou seja, percebe-se que ele existe, porém, é de difícil mensuração. Trata-se, por exemplo, da satisfação em se saber da existência de uma floresta preservada (por exemplo, a Amazônia), de uma determinada espécie protegida (por exemplo, as baleias), embora as pessoas nunca pretendam usufruir daquele bem ambiental, nem hoje nem no futuro.

Por outro lado, ainda segundo De Moura alguns agentes relevantes visando a obtenção da qualidade ambiental têm-se demonstrado no mercado que são:

- ✓ *Agentes de Comando e Controle (C&C)*: refere-se a todas as leis, regulamentos com padrões e limites de emissões, licenças e permissões e normas ambientais. O envolvimento econômico ocorre através dos padrões e através de multas impostas quando esses padrões não são atendidos.

- ✓ *Agentes de instrumentos econômicos (IE)*: refere-se a taxas, impostos, tarifas e bloqueios a certos produtos e serviços, forçando a uma alteração no seu preço de mercado, de forma que os preços reflitam os prejuízos que esses materiais causam ao meio ambiente em seu uso ou descarte final (Princípio do Poluidor Pagador – PPP).
- ✓ *Agentes de desempenho ambiental*: refere-se através da recusa de produtos e serviços, boicotes organizados ou quedas de vendas ocasionadas por problemas de desempenho ambiental. Observa-se um papel crescente das ONG's, Ministério Público, e da mídia em geral como formadores de opinião na população quanto às questões ambientais.
- ✓ *Agentes de auto-regulamentação*: refere-se a medidas de auto-regulamentação, adoção de normas preparadas por entidades de classe e outras destinadas a promover um melhor desempenho ambiental, como, por exemplo, o comprometimento com o Processo de Atuação Responsável (gerenciado pela ABIQUIM e Instituto ETHOS), a adoção dos princípios da Carta Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, com a Agenda 21, a adoção voluntária de norma do tipo ISO 14.001 e a participação em programas do tipo “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” (captura de carbono da atmosfera).

No tocante aos agentes de qualidade ambiental, de 1 a 10 de dezembro de 1997, realizou-se em Quioto, Japão, a III Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, fixando-se uma redução média de emissão de gases estufas de 5,2% para os países industrializados (países do Anexo I da Convenção) com base nas emissões do ano de 1990, criando-se instrumentos de flexibilização para facilitar o cumprimento destas metas. Tais instrumentos permitem que os países se utilizem mecanismos de mercado – o chamado “mercado do carbono” -, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permite investimentos em projetos de energia ou florestais em países em desenvolvimento. A adoção do Protocolo de Quioto representa, na verdade, o ingresso definitivo do tema nas agendas ambiental e econômica, nos planos nacional e internacional.

O Protocolo, em seu Artigo 12, cria o "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo", cujas negociações contaram com a participação decisiva do Brasil, que logrou obter endosso do Grupo

dos 77 e China à proposta finalmente acordada. O Mecanismo, baseado na proposta brasileira de estabelecimento de um fundo de desenvolvimento limpo, tem dois propósitos. Por um lado, ajudar os países em desenvolvimento a alcançar o desenvolvimento sustentável e a contribuir para a consecução do objetivo último da Convenção e, por outro, auxiliar os países do Anexo I a cumprirem parte de suas obrigações de redução de emissões. Pelo mecanismo, os países em desenvolvimento beneficiar-se-ão de projetos que resultarem de "reduções de emissões certificadas", as quais poderão ser utilizadas pelos países do Anexo I com vistas ao cumprimento de suas metas de redução de emissões. A aplicação de uma penalidade aos países que não cumprirem pela convenção, arbitrariamente fixada em US\$ 10 por tonelada originou-se de uma iniciativa brasileira mais simples e radical.

Observa-se assim através do MDL, a possibilidade efetiva de mecanismo de flexibilização de âmbito internacional, com a utilização integrada de bens ambientais como é o caso do valor de uso, com agentes de qualidade ambiental, no caso dos agentes de auto-regulamentação. Estes mecanismos são fundamentais para a viabilidade econômica do aproveitamento energético de resíduos, principalmente quando da redução de emissões de CO₂ e CH₄, gases estufas oriundos das atividades biológicas em URTR's e ETE's.

Capítulo 4

Aproveitamento energético de resíduos no contexto do saneamento ambiental

A questão do pós-consumo relacionada ao aumento da vida útil e estimativa da energia elétrica potencialmente evitável com a reciclagem de certos materiais produzidos e descartados, entre eles o papel, o vidro, o plástico e o alumínio, basicamente, apresentam, segundo Streb (2001), um bom potencial de serem novamente inseridos nos processos produtivos, por exemplo, em racionalização do consumo de energia elétrica e em outros benefícios associados à qualidade de vida, aos resíduos e aos processos produtivos. No que tange aos processos produtivos com intenso consumo de energia elétrica, este pode ser minorado com o uso da técnica de reciclagem. A reintrodução de resíduos recicláveis provenientes dos domicílios urbanos pode resultar, entre outras coisas, em redução do uso de energia elétrica.

Segundo IPT/CEMPRE (2000) existem três modalidades de reciclagem de resíduos que são: i) reciclagem primária é aquela em que se emprega resíduo de um produto para a sua própria produção (ex: embalagem de alumínio “latinha” transforma-se em nova latinha) – é necessário 15 MWh de energia elétrica na produção primária do alumínio enquanto na reciclagem o consumo é de 0,75 MWh; ii) reciclagem secundária é aquela que se baseia na utilização do resíduo de um produto para a confecção de outro distinto (ex: embalagem de politereftalato de etileno – PET “garrafas de plástico” transforma-se em fibra de tecido, tapetes, cortinas e/ou matérias-primas para novos produtos) – é necessário 5 MWh de energia elétrica na produção primária do PET enquanto na reciclagem o consumo é de 1,5 MWh; iii) reciclagem terciária é aquela que recupera produtos químicos ou energia a partir dos resíduos (ex: recuperação de energia a partir da

recuperação e aproveitamento do biogás, a partir da incineração, a partir da compostagem, ou mesmo a partir de sistemas integrados associando-se as tecnologias de reciclagem, compostagem, e recuperação de biogás).

Como já foi comentado, o enfoque energético principal deste estudo está relacionado à reciclagem terciária, ou seja, o aproveitamento energético de resíduos na recuperação do biogás em sistemas integrados de Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's) e Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's). Destaca-se em particular a questão dos resíduos sólidos domésticos orgânicos e os resíduos de lodos de esgoto como insumos energéticos potenciais no meio urbano, notadamente no setor de saneamento ambiental. O estudo não implica na abordagem da questão energética do biogás versus o gás natural. Muito menos cabe aqui ressaltar a questão econômica, pois o objetivo é justamente analisar uma alternativa ambientalmente sustentável dentro do contexto de integração do setor energético e de saneamento ambiental para os problemas ocasionados quando da geração dos resíduos objeto do trabalho.

4.1 A origem energética do biogás

Os processos bacteriológicos de fermentação da matéria orgânica são anteriores à existência do homem na terra. A quantidade de bactérias e a intensidade de sua ação no ambiente primitivo colaborou na determinação da composição da atmosfera, propiciando as condições de desenvolvimento da vida.

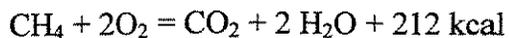
Motta (1986) contando a história da fermentação anaeróbia descreve que muito embora o gás metano (biogás) já fosse reconhecido, foi somente em 1776 que o físico e químico italiano Alessandro Volta (1745-1827) identificou o metano no gás dos pântanos, verificando que o mesmo conferia ao gás encontrado na superfície das águas pantanosas suas características combustíveis. O metano passou, então, a ser conhecido como gás dos pântanos. Joseph Priestley (1733-1804), ao estudar os gases combustíveis, volta a citar o metano; foi, porém, o químico inglês Humphrey Davy (1778-1829) que, ao analisar, em 1808, os gases produzidos pela fermentação da palha de estábulos umedecida, observa a existência de metano e dióxido de carbono. Somente em 1844, Louis Pasteur (1822-1895) mostra que o gás metano pode

ser produzido a partir da fermentação de uma mistura de excrementos, palha de estábulo e água, e discute as propriedades combustíveis do gás metano.

4.2 A biodigestão nos sistemas de tratamento de resíduos

Entender a evolução do conjunto de bactérias que provocam a fermentação anaeróbia, seu nascimento, procriação e a maturação da população é imprescindível para a compreensão das flutuações na produção do gás metano e do funcionamento de sistemas de tratamento de resíduos. Todavia, cabe aqui ressaltar que a cinética da fermentação e o estudo aprofundado da microbiologia dos processos anaeróbios não serão relatados. O enfoque principal a ser abordado será a utilização e aproveitamento energético do metano oriundos de URTR's e de ETE's.

Produzir e utilizar o metano como insumo energético implica conhecer os volumes a serem produzidos e suas características. Segundo Motta (1986) o metano, por se tratar de um combustível gasoso, se presta a uma ampla variedade de usos, podendo ser usado no aquecimento e/ou diretamente no acionamento de motores de combustão interna. Assim o gás metano apresenta-se como ótima fonte de energia, e quando em combustão proporciona uma chama bem localizada, com a liberação de intensa quantidade de calor. Na combustão completa, o metano produz uma chama azul com ausência completa de fuligem, alcançando entre 1.500 e 2.000 °C. A reação química que tem lugar entre as moléculas de metano e oxigênio é a que se segue:



Por sua vez o metano está presente no biogás em média numa fração de 60%, onde os equivalentes caloríficos são comparados com outros combustíveis como se observa na tabela 4.1. abaixo:

Tabela 4.1. – Equivalentes caloríficos do biogás (60% CH₄) em (CNTP)

| Combustível | m ³ |
|-----------------------------------|----------------|
| 1 kg de GLP | 2,33 |
| 1 Litro de gasolina | 1,59 |
| 1 Litro de óleo diesel | 2,10 |
| 1 Litro de óleo combustível (BPF) | 1,90 |
| 1 Litro de álcool hidratado | 0,91 |
| 1 kg de lenha (10% de umidade) | 0,46 |
| 1 kcal | 0,0002 |

Fonte: MOTTA (1986)

4.3 Características e volume de produção do biogás

A composição e características do biogás apresentam-se da seguinte forma:

Tabela 4.2. - Composição do Biogás

| Gás | Fórmula Química | Concentração (%) |
|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| Hidrogênio | H ₂ | 1 – 10 |
| Nitrogênio | N ₂ | 0,5 – 3 |
| Oxigênio | O ₂ | 0,1 – 1 |
| Monóxido de Carbono | CO | 0,1 |
| Gás Sulfídrico | H ₂ S | 0,1 |
| Vapor d'água | H ₂ O | variável |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 35 – 45 (média 35) |
| Metano | CH₄ | 50 – 70 (média 60) |

Fonte: MOTTA (1986)

Tabela 4.3. –Características do Metano

| Parâmetros | Características |
|----------------------------------|---------------------------|
| Poder Calorífico Superior (100%) | 8.703 kcal/m ³ |
| Densidade (gás) | 0,7168 g/litro |
| Densidade (líquido) | 0,349 kg/litro |
| Temperatura Crítica | - 82,25 °C |
| Pressão Crítica | 45,8 atmosferas |

Fonte: MOTTA (1986)

Tratamento de resíduos sólidos (URTR's)

Alves (2000) destaca que para estimativas de volume de produção, existem diferentes metodologias de emissões de metano em unidades de tratamento de resíduos. Pode-se estimar as

emissões de um país ou Estado empregando-se a metodologia do IPCC ou, para uma unidade de tratamento de resíduos específica, empregando-se a metodologia da USEPA (1996).

Ainda segundo Alves (2000) a USEPA propõe uma metodologia de avaliação preliminar de viabilidade econômica de recuperação do biogás gerado em Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's), onde é verificado um tamanho com viabilidade passível de exploração no aproveitamento energético em URTR's. Este tamanho pode ser estimado pela Equação 1:

$$T = P_{opurb} \times \% \text{ coleta} \times \text{Taxa de RSDO} \times \text{Idade} \times 0,001$$

onde:

T: tamanho do URTR's [t]

0,001 conversão de unidades [t/kg]

P_{opurb}: população urbana [habitantes]

Taxa de RSDO: taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares orgânicos
[kg resíduos/hab.ano]

% coleta taxa de coleta de resíduos [%]

Idade: número de anos em que vem sendo depositado resíduo no URTR's [ano]

A experiência da USEPA (1996) indica que URTR's 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 URTR's para URTR's, 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 anaeróbico - Para que haja produção de metano, a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente sem oxigênio livre; para tanto, pode-se cobrir os resíduos com

terra, ou com o próprio resíduo, criando condições anaeróbias nas camadas inferiores dos URTR's.

- ✓ 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 URTR's.

Considerando USEPA (1996) que são necessárias pelo menos 1 milhão de toneladas de resíduos para que as URTR's 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 URTR's seja economicamente viável.

A geração de gás no aterro sanitário pode ser estimada com base na composição química esperada para os resíduos aterrados, especificamente os componentes orgânicos biodegradáveis.

A velocidade de degradação depende da natureza do componente, que pode ser classificado em duas categorias básicas: rapidamente degradável e lentamente degradável (HAMADA, 1997).

A primeira categoria inclui restos de alimento, papel e papelão. Do ponto de vista prático, esses elementos, sob condições normais dentro do aterro demoram, em média, seis anos para estabilização. Dentro desse período, o primeiro ano, compreende uma fase de adaptação, e a geração de gases é praticamente nula. Após o primeiro ano, inicia-se a produção de metano, atingindo um pico próximo ao final do segundo ano. Como forma de se estabelecer critérios para quantificação dos gases gerados, considera-se razoável a distribuição triangular, como mostrada nas figuras 4.1. (a) e (b).

Para a segunda categoria de resíduos, sob condições normais, estima-se um tempo para estabilização total médio de 16 anos. Da mesma forma, somente no final do primeiro ano verifica-se o início de produção de gases, que atinge um pico somente ao final do sexto ano, reduzindo gradativamente a praticamente zero até o final do décimo sexto ano. Considerando-se a distribuição triangular, obtém-se o gráfico proporcional mostrado na figura 4.1. (b).

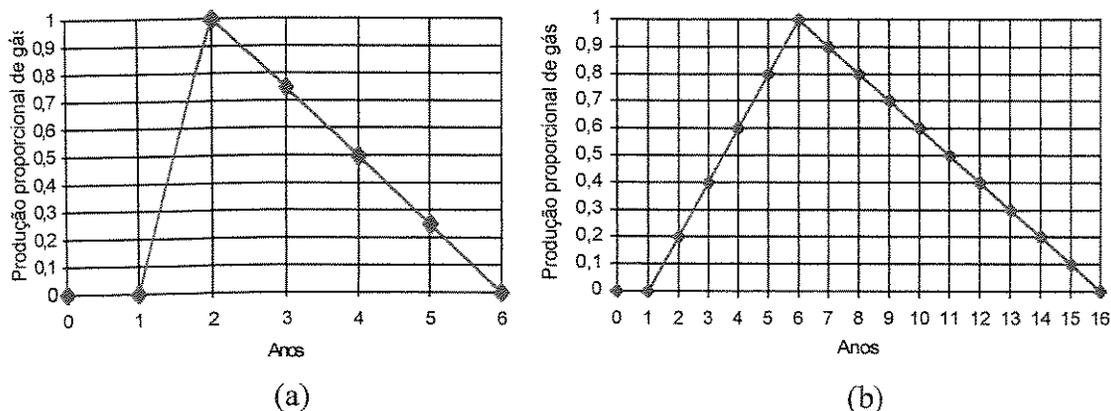


Figura 4.1. - Distribuição proporcional da geração de gás para componentes rapidamente (a) e lentamente degradáveis (b). Fonte: HAMADA (1997)

Quando disponíveis, devem ser empregados dados específicos sobre as características quali-quantitativas do lixo. Como exemplo na Tabela 4.4. foram adotados valores médios encontrados a partir de parâmetros equivalentes de alguns municípios de porte médio do Estado de São Paulo.

Tabela 4.4. - Detalhamento qualitativo do lixo (estimativo) em %

| Componente | Categoria | Massa (base úmida) | Umidade Típica | Massa (base seca) | C | H | O | N | S | Cinzas |
|--------------------|-----------|--------------------|----------------|-------------------|------|----------------------------------|------|-----|------|--------|
| Restos de Alimento | R | 55,0 | 70 | 16,50 | 48,0 | 6,4 | 37,6 | 2,6 | 0,40 | 5,0 |
| Papel, papelão | R | 21,0 | 6 | 19,74 | 44,0 | 6,0 | 44,0 | 0,3 | 0,20 | 6,0 |
| Têxteis | L | 5,0 | 10 | 4,50 | 55,0 | 6,6 | 31,2 | 4,6 | 0,15 | 2,5 |
| Madeira | L | 1,1 | 20 | 0,88 | 49,5 | 6,0 | 42,7 | 0,2 | 0,10 | 1,5 |
| Plástico | N | 8,9 | 2 | 8,72 | 60,0 | 7,2 | 22,8 | 0 | 0 | 10,0 |
| Vidro | N | 2,6 | 2 | 2,55 | R | Rapidamente degradável | | | | |
| Metais | N | 5,4 | 2 | 5,29 | L | Lentamente degradável | | | | |
| Outros | N | 1,0 | 5 | 0,95 | N | não degradável (ou dificilmente) | | | | |
| Total | | 100,0 | | | | | | | | |

Fonte: HAMADA (1997)

A partir desses valores e da composição química típica para esses componentes, como mostrado na Tabela 4.4., é possível estimar as formulações básicas para resíduos rapidamente e lentamente degradáveis:

✓ Rapidamente degradável [C₄₀H₆₄O₂₇N]

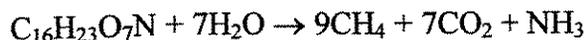
✓ Lentamente degradável [C₁₆H₂₃O₇N]

Resumidamente as reações químicas que resultam na geração de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), com consumo de água, podem ser descritas como:

✓ Rapidamente degradável



✓ Lentamente degradável



Segundo Hamada (1997) para determinação do volume de metano e dióxido de carbono gerados nessas reações basta conhecer: pesos moleculares, o percentual de componente degradável (seco) e seu peso molecular (com base na formulação), e os pesos específicos dos respectivos gases. Nas condições normais de temperatura e pressão, o peso molecular do metano é de 7,04 N/m³ e do dióxido de carbono é de 19,41 N/m³.

Hamada (1997) afirma que os valores assim computados representam a quantidade máxima de gases que podem ser produzidas sob condições ótimas na degradação do material sólido volátil. A quantidade real de gás gerado será menor, pois nem toda matéria orgânica biodegradável está disponível para ser decomposta, tais como papéis em recipientes plásticos, ou então compostos orgânicos não expostos, que não apresentam umidade suficiente para sustentar as atividades biológicas. Sob essas condições, valores típicos de disponibilidade de 75% e 50%

podem ser empregados para caracterizar resíduos rapidamente degradáveis e lentamente degradáveis, respectivamente. Com as considerações descritas e de acordo com Hamada (1997) tem-se a Tabela 4.5. que representa a degradação de uma massa unitária de lixo, com as composições indicadas.

Tabela 4.5. - Taxa de geração de biogás distribuída ao longo dos anos a partir do início da disposição de uma massa unitária de lixo (CNTP).

| Ano | Rapidamente degradável | | Lentamente degradável | | Total | |
|------|---|--|---|--|---|--|
| | Taxa de Geração ao final do ano m ³ /kg.ano | Gases gerados no ano m ³ /kg | Taxa de Geração ao final do ano m ³ /kg.ano | Gases gerados no ano m ³ /kg | Taxa de Geração ao final do ano m ³ /kg.ano | Gases gerados no ano m ³ /kg |
| 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2 | 0,0980 | 0,0490 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0987 | 0,0494 |
| 3 | 0,0735 | 0,0857 | 0,0015 | 0,0011 | 0,0750 | 0,0868 |
| 4 | 0,0490 | 0,0612 | 0,0022 | 0,0018 | 0,0512 | 0,0631 |
| 5 | 0,0245 | 0,0367 | 0,0030 | 0,0026 | 0,0275 | 0,0393 |
| 6 | 0,0000 | 0,0122 | 0,0037 | 0,0033 | 0,0037 | 0,0156 |
| 7 | | | 0,0033 | 0,0035 | 0,0033 | 0,0035 |
| 8 | | | 0,0030 | 0,0031 | 0,0030 | 0,0031 |
| 9 | | | 0,0026 | 0,0028 | 0,0026 | 0,0028 |
| 10 | | | 0,0022 | 0,0024 | 0,0022 | 0,0024 |
| 11 | | | 0,0018 | 0,0020 | 0,0018 | 0,0020 |
| 12 | | | 0,0015 | 0,0017 | 0,0015 | 0,0017 |
| 13 | | | 0,0011 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0013 |
| 14 | | | 0,0007 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0009 |
| 15 | | | 0,0004 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0006 |
| 16 | | | 0,0000 | 0,0002 | 0,0000 | 0,0002 |
| Soma | | 0,2450 | | 0,0277 | | 0,2727 |

Fonte: HAMADA (1997)

Tratamento de esgotos (ETE's)

Basicamente, os resíduos de lodo de esgoto de ETE's apresentam-se como parcela intrínseca dentro de qualquer concepção tecnológica de tratamento de efluentes domésticos. Tem sido comumente empregadas tecnologias de tratamento biológico para os esgotos sanitários, podendo ocorrer tecnologias de digestão aeróbia ou anaeróbia. Qualquer que seja a digestão e/ou a concepção de tratamento biológico adotada, os resíduos de lodo de esgoto apresentam-se em maior ou menor quantidade dependendo das condições de dimensionamento e operacionabilidade das unidades de tratamento e sua concepção de tratamento.

Como exemplo de um sistema de tratamento (ETE's) operando com concepção biológica foi levantado junto a SABESP, dados referentes a ETE-Barueri onde podemos constatar que:

- ✓ Tipo de concepção técnica de processo de tratamento: tratamento dos esgotos pelo processo de lodos ativados convencional com mistura completa, com difusores cerâmicos para bolhas finas de ar. Tratamento dos lodos pelo processo anaeróbio e desidratação por filtro prensa.
- ✓ Características quantitativas de geração dos esgotos

Tabela 4.6. - Vazões atendidas pela ETE de Barueri - SP

| Parâmetro | Capacidade nominal | Operacional - atualmente |
|-----------|-----------------------|--------------------------|
| Vazão | 9,5 m ³ /s | 5,5 m ³ /s |

Fonte: SABESP (pesquisa e visita técnica realizada em 2001 com técnicos da SABESP-Barueri)

- ✓ Características das unidades de tratamento de lodo de esgoto:
 - Digestores anaeróbios: cilíndricos, 8 unidades com 33 m de diâmetro e 10 m de altura, volume total de 77.600 m³. Funcionamento de 6 unidades como primário e 2 unidades como secundário, homogeneização com compressores de biogás.
 - Desidratação de lodo digerido: condicionamento químico com Ca(OH)₂ a 15% de CaO na base seca e FeCl₃ a 7.5% também na base seca. Três unidades de filtro prensam de manta, total de 450 placas com 2 m² cada, pressão de trabalho 15 kgf/cm².
 - Gasômetro: volume total de 5.000 m³, pressão de trabalho de 25 cm.c.a., produção atual de biogás 21.000 Nm³/dia a 65% de metano e 35% de gás carbônico.

A SABESP dispõe de autorização da ANEEL para instalação de termoeletricas em estações de tratamento de esgoto, com a idéia de utilizar o gás liberado no processo de tratamento para alimentar as turbinas, sendo que a primeira unidade de co-geração será instalada na ETE-Barueri.

Outro exemplo de um sistema de tratamento (ETE's) operando com concepção biológica foi levantado junto a SABESP, dados referentes a ETE-Franca onde podemos constatar que:

- ✓ Tipo de concepção técnica de processo de tratamento: tratamento dos esgotos pelo processo de lodos ativados convencional com mistura completa, com aeradores superficiais fixos de baixa rotação. Tratamento dos lodos pelo processo anaeróbio e desidratação por prensa desaguadora.
- ✓ Características quantitativas de geração dos esgotos

A ETE-Franca operava em 2001 com aproximadamente 70% de sua capacidade da 1ª etapa, atendendo a uma população aproximada de 215.000 habitantes.

Tabela 4.7. – Vazões e populações atendidas pela ETE de Franca - SP

| Etapa | Vazão (l/s) | | População Atendida |
|-----------------|-------------|----------|--------------------|
| | Média | Máxima | Habitantes |
| 1ª Etapa (2008) | 903,40 | 1.350,00 | 315.000 |
| 2ª Etapa (2018) | 1.051,30 | 1.752,00 | 410.000 |

Fonte: SABESP (pesquisa e visita técnica realizada em 2001 com técnicos da SABESP-Franca)

- ✓ Características das unidades de tratamento de lodo de esgoto:

- Digestores anaeróbios:

Tabela 4.8. - Dados operacionais dos digestores da ETE-Franca (março de 1999)

| Parâmetro | Digestor Primário 1 | Digestor Primário 2 | Digestor Secundário |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Volume do lodo (m³/mês) | 4.583 | 4.958 | 9.540 |
| Volume de gás m³/mês CNTP (60% CH ₄ e 40% CO ₂) | 45.632 | 35.067 | - |

Fonte: SABESP (pesquisa e visita técnica realizada em 2001 com técnicos da SABESP-Franca)

- Desidratação de lodo digerido: condicionamento químico com polieletrólito catiônico adicionado à massa do lodo na base de 3,2 a 4,3% kg de polieletrólito por tonelada seca, resultando em um material com teor de sólidos variando entre 17,2 e 19,5%. O volume

de lodo desidratado produzido atualmente é de 23,3 m³/dia. A previsão para o final da primeira etapa é 30 m³/dia e ao final da segunda etapa 46 m³/dia.

4.4 Concepções tecnológicas no aproveitamento energético de resíduos

Apesar da geração de energia através dos resíduos sólidos urbanos ainda ser muito pouco utilizada, a continuidade das pesquisas visando aumentar sua eficiência tem permitido significativos avanços, como demonstram algumas publicações recentes (OLIVEIRA, 2000).

Dentre as rotas para aproveitamento energético de resíduos, estão a utilização do poder calorífico destes através da queima direta ou da gaseificação; o aproveitamento calorífico do biogás, que é produzido lentamente a partir do lixo orgânico disposto em um aterro energético; ou ainda a utilização do biogás para ser queimado em caldeira e/ou para mover turbina a vapor; ou ainda em combustor externo e/ou para mover turbina a gás – sendo possível o aproveitamento do ciclo combinado. Outras alternativas de aproveitamento energético como é o caso da produção de um combustível sólido a partir dos restos alimentares, a celulignina, que se encontra em fase de pesquisas pela COPPE/UFRJ.

Incineração

A incineração é o aproveitamento do poder calorífico do material combustível presente nos resíduos através da sua queima para geração de vapor. É aconselhável o uso de resíduos de maior poder calorífico como plásticos, papéis, etc...

Entre as vantagens deste uso podemos citar: i) Resulta em uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica, ii) Necessita de alimentação contínua de resíduos, iii) Relativamente sem ruído e sem odores e iv) Requer pequena área para instalação.

Entre as desvantagens temos: i) Inviabilidade com resíduos de menor poder calorífico e com aqueles clorados, ii) Umidade excessiva e resíduos de menor poder calorífico prejudicam a combustão, iii) Necessidade de utilização e equipamento auxiliar para manter a combustão, iv)

Metais tóxicos podem ficar concentrados nas cinzas, v) Possibilidade de emissão de dioxinas e furanos, cancerígenos e vi) Altos custos de investimento e de operação e manutenção.

Gaseificação

Na gaseificação é fornecido calor para a desintegração das cadeias poliméricas do material dos resíduos e são formados gases mais simples como CH₄, CO, CO₂, e H₂, que são coletados e aproveitados. Esta tecnologia ainda não é utilizada comercialmente.

O gás fruto desse processo pode ser utilizado diretamente para aquecimento, utilizado para motores a combustão interna ou em turbinas, ou distribuído em gasodutos.

Sistema integrado compostagem e recuperação de biogás

Segundo Oliveira (2000) esta tecnologia tornou-se viável a partir de pesquisas desenvolvidas na França e na Bélgica e da redução na presença de pilhas compostas por metais pesados – cujo aproveitamento exigia caro controle de qualidade do adubo –, permitindo aumentar a vida útil das áreas utilizadas para disposição final de resíduos.

Ainda, segundo Oliveira (2000) algumas cidades européias já estão utilizando esta tecnologia, que a cada 250 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos com a composição média brasileira consegue gerar 80 toneladas de “recicláveis” e, das 165 toneladas de “orgânico”, 2 MWe de energia e 60 toneladas de adubo.

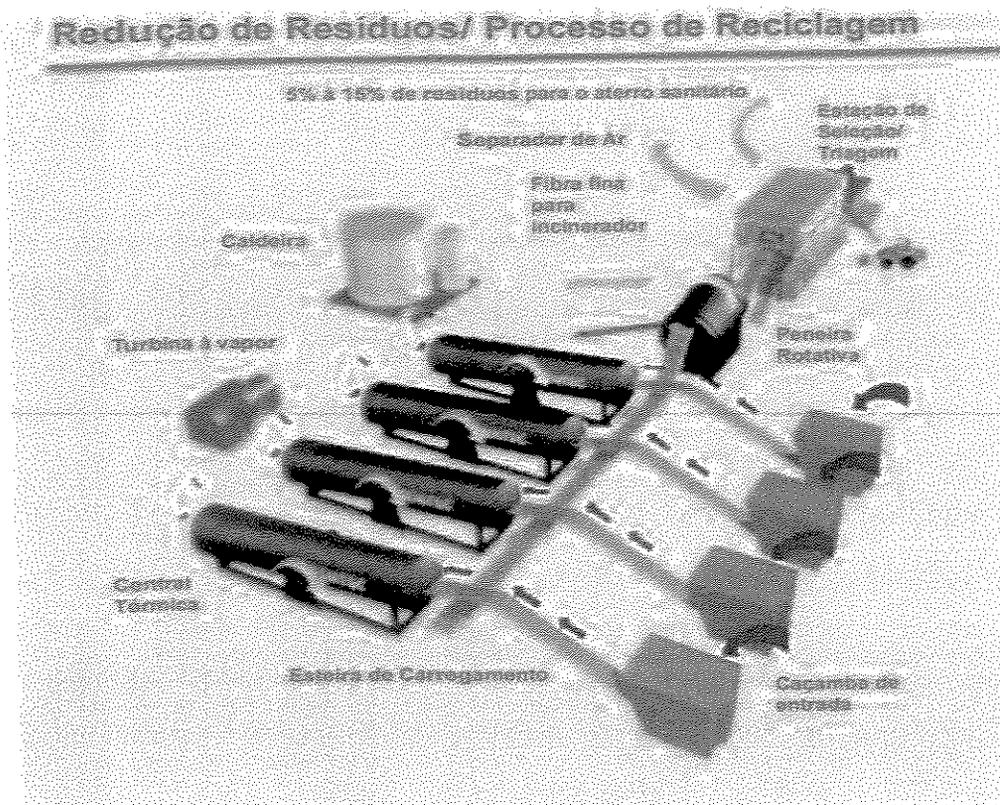


Figura 4.2. - Planta de compostagem e recuperação de biogás

Aproveitamento energético em aterros energético ou unidades de tratamentos de resíduos

A utilização do biogás é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos, bem como mundialmente o mais utilizado.

De um modo geral o biogás tem as vantagens de: i) Redução dos gases de efeito estufa; ii) Baixo custo para o descarte dos resíduos; iii) Permitir utilização para geração de energia ou como combustível veicular ou doméstico; iv) Permitir a co-disposição de lodo de esgoto ($\geq 30\%$ de sólidos) sendo este favorável ao desempenho do processo em termos de redução do tempo de bioestabilização da matéria orgânica, e que taxa de produção de metano (CH_4) alcançou limite máximo quando adicionado 20% em peso de agente inoculado (resíduos de lodo de esgoto - RLE) ao substrato da massa (resíduos sólidos domiciliares orgânicos - RSDO), não ocorrendo o mesmo com a taxa de produção de biogás (LEITE, POVINELLI & VAZQUEZ, 1997).

Como desvantagens são citadas: i) A ineficiência no processo de captação e recuperação do biogás, que permite um aproveitamento de aproximadamente 50% do total de biogás produzido; ii) A inviabilidade de utilização do biogás para lugares remotos; iii) O alto custo para “upgrade” de uma planta; iv) A necessidade de pré-tratamento do biogás em vista dos desgastes dos equipamentos nos sistemas de aproveitamento energético v) A falta de planejamento integrado no processo de licenciamento ambiental visando a análise de projetos como mecanismo de desenvolvimento limpo e sustentável dentro do contexto urbano. É preciso aqui ressaltar que as vantagens acima relacionadas têm impactos maiores que as desvantagens.

A opção pela utilização de aterros energéticos ou unidades de tratamento de resíduos no aproveitamento energético de Resíduos Sólidos Domésticos Orgânicos (RSDO) e Resíduos de Lodos de Esgotos (RLE) na utilização do biogás face às alternativas de geração elétrica deve-se a seu largo uso internacional, nas mais diversas condições, como no temperado clima da Inglaterra e no mais aquecido clima da Califórnia. Este método aplicado individualmente compete com a compostagem (processo de produção de condicionadores de solo).

Como entendimento, o processo de geração de gás metano num aterro energético é consequência das atividades das bactérias metanogênicas existentes no ecossistema de um determinado aterro sanitário. Num determinado ponto do aterro, em consequência da produção de metano, cria-se uma sobrepressão (pressão positiva) que atinge e até ultrapassa 10 cm de coluna d'água. Esta sobrepressão cria uma direção de movimento dos gases no aterro, uma vez que o deslocamento dos mesmos se processa dos pontos de alta pressão para os de baixa pressão. Este fato é que ocasiona a saída natural dos gases da massa de resíduos do aterro. Valendo-se deste fenômeno, podem os gases ser captados segundo duas sistemáticas básicas: a primeira para aterros já completados baseia-se na introdução no aterro de dispositivo para captação, enquanto que a segunda adota formas construtivas que permitem a fácil difusão e coleta dos gases. A praticamente inexistência de aterros sanitário-energéticos no Brasil recomenda a adoção desta segunda sistemática, a qual, para que se possa captar os gases de alta qualidade, deve-se:

- ✓ Evitar a intrusão de oxigênio;

- ✓ Criar internamente ao aterro o máximo de caminhos preferenciais para os gases – drenos horizontais e drenos verticais;
- ✓ Impermeabilizar a superfície livre do aterro para impedir a difusão de gases ou intrusão de ar em toda a superfície livre do aterro;
- ✓ Criar pontos de concentração com pressões negativas de valor reduzido.

Como um dos fatores preponderantes nos fenômenos de digestão anaeróbia é o teor de umidade do ambiente, recirculando-se para a massa de resíduos em degradação o líquido percolado captado ao pé dos aterros, pode-se:

- ✓ Controlar e manter a umidade no seio da massa em digestão;
- ✓ Re-injetar na massa do aterro, nutrientes e organismos anaeróbios lixiviados para líquidos percolados (chorume) e lodos de esgoto digerido anaerobicamente;
- ✓ Proteger o meio ambiente, sem os altos custos da depuração dos efluentes do aterro, estes de alto potencial poluidor.

Com intuito de constituir um balanço energético sobre as tecnologias apontadas Oliveira (2000), em sua dissertação de mestrado orientado pelo Prof. Dr. Pingueli Rosa na COPPE/UFRJ, estima que no Brasil são gerados cerca de 13 milhões de toneladas anuais de Resíduos Sólidos Domiciliares Orgânicos (RSDO). Considera-se que esta estimativa está sub-estimada pois leva em conta que a reciclagem de resíduos sólidos urbanos está na ordem de 35%. Assim, levando-se em conta os fatores de capacidade e eficiência média estimada de cada concepção técnica descrita anteriormente, Oliveira (2000) chegou ao seguinte resultado do balanço energético da utilização do biogás a partir do aproveitamento energético de RSDO, sem considerar a inoculação de Resíduos de Lodos de Esgotos (RLE) aplicado em Aterros Energéticos:

Tabela 4.9. - Potencial de aproveitamento de energia elétrica utilizando resíduos sólidos urbanos

| | Incineração | Gaseificação | Sistema Integrado Compostagem e Recuperação de Biogás | Aproveitamento Energético em Aterros ou URTR's |
|---|--------------------|---------------------|--|---|
| Potencial de Energia Elétrica no Brasil (MWh/ano) x 10⁶ | 6,8 | nd | 3,0 | 2,1 |

Fonte: OLIVEIRA (2000) - nd – não disponível

Como exemplo do cálculo apresentado, Oliveira (2000) destaca o sistema de aproveitamento energético em aterros ou URTR's. O cálculo parte do pressuposto que a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos é de 677 Gg por ano conforme já citado Alves & Vieira (1998). Considera-se a densidade média do metano como sendo de 0,716 kg/m³, o que representa 945 milhões de m³ por ano. Como o metano representa em média 55% do volume do biogás, é possível calcular o volume total do biogás, que representa um volume de 1.718 milhões de m³ por ano. Oliveira (2000) considera que a recuperação de biogás é de 90%, então estariam disponíveis 1.546 milhões de m³ por ano de biogás para aproveitamento energético. Multiplicando este valor pelo poder calorífico do biogás, 5.800 kcal/m³ e o resultado por 4.180 J/k, obtêm-se 3.748.122,4 x 10¹⁰ Joules. Como cada joule corresponde a 1 Watt-segundo, dividindo este valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o resultado pela eficiência do motor à combustão interna, normalmente usado neste sistema, na faixa de 20%, Oliveira (2000) encontrou o resultado de energia disponível de 2,1 milhões de MWh de energia elétrica.

Uma observação importante sobre o cálculo efetuado em Oliveira (2000) é que a captação e recuperação de biogás em aterros sanitários no Brasil não chega 60%, dado este que pode ser questionado pela completa falta de PD&D em relação a este assunto. Todavia, considerar 90% de recuperação, é de fato muito otimista somente este número ser sustentado em sistemas de alto controle do processo de biodigestão como é o caso de reatores de biodigestão anaeróbio para tratamento de esgotos ou lodos de esgotos. Outro dado que pode ser questionado é a eficiência dos motores à combustão interna que se encontra de 30 a 35% de acordo com dados da USEPA (2001).

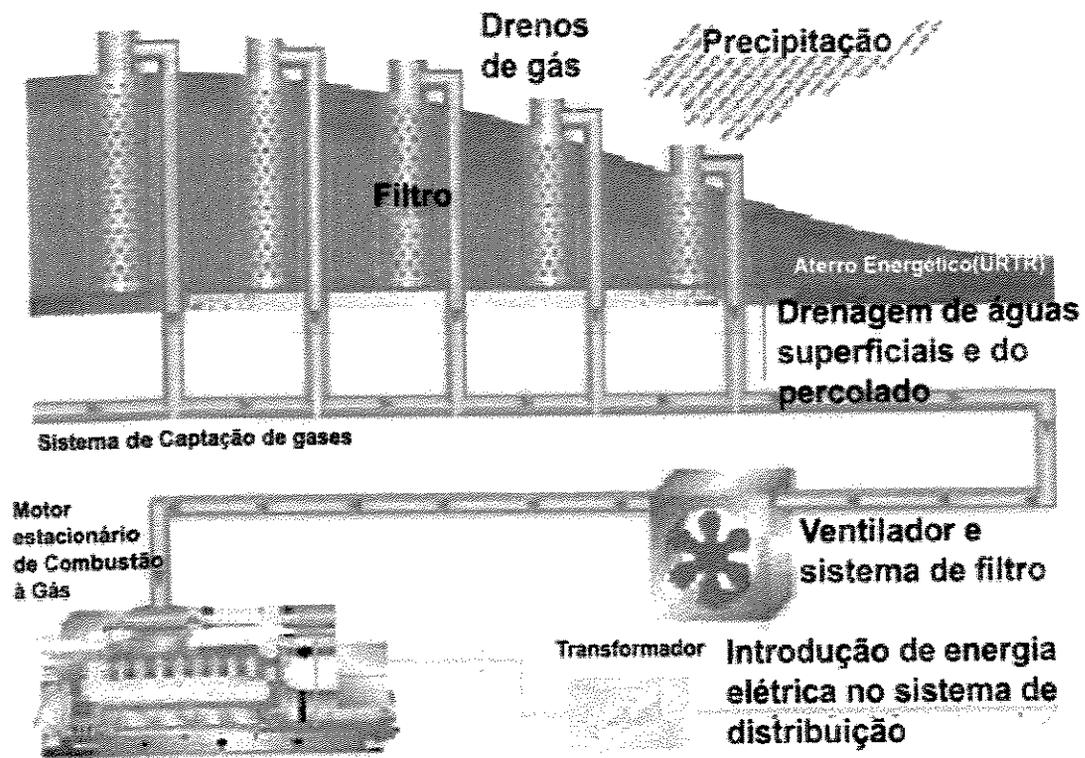


Figura 4.3. - Planta de aproveitamento energético de URTR's

Um estudo elaborado pela Prefeitura Municipal de Vitória – ES foi divulgado numa reportagem do jornal O Estado de São Paulo do dia 19 de novembro de 2001 enfatizando que prefeitos planejam produzir energia a partir do lixo. Nesta reportagem formulada pelo Prefeito Municipal, tem-se a informação dos dados da capacidade e geração de energia a partir do lixo por região metropolitana como podemos observar:

Tabela 4.10. – Cálculo da Capacidade de Geração de Energia a partir do lixo por Região Metropolitana

| Ordem | Região | População Aproximada (10 ⁶) | Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (ton/dia) | Geração Energia Elétrica (MWh/mês) |
|-------|----------------------------|---|--|------------------------------------|
| 01 | São Paulo | 17,8 | 13.375 | 120.375 |
| 02 | Rio de Janeiro | 10,8 | 8.154 | 73.386 |
| 03 | Belo Horizonte | 4,3 | 3.256 | 29.304 |
| 04 | Porto Alegre | 3,6 | 2.741 | 24.669 |
| 05 | Recife | 3,3 | 2.500 | 22.500 |
| 06 | Salvador | 3,0 | 2.260 | 20.340 |
| 07 | Fortaleza | 2,9 | 2.231 | 20.079 |
| 08 | Distrito Federal (entorno) | 2,9 | 2.943 | 19.863 |
| 09 | Curitiba | 2,7 | 2.044 | 18.396 |
| 10 | Campinas | 2,3 | 1.750 | 15.750 |
| 11 | Belém | 1,7 | 1.345 | 12.105 |
| 12 | Goânia | 1,6 | 1.227 | 11.043 |
| 13 | Grande Vitória | 1,4 | 1.141 | 10.269 |
| 14 | Baixada Santista | 1,4 | 1.105 | 9.945 |
| 15 | Grande São Luís | 1,0 | 801 | 7.209 |
| 16 | Natal | 1,0 | 780 | 7.020 |
| 17 | Maceió | 0,987 | 740 | 6.660 |
| | | | | |
| TOTAL | | 63,4 | 47.657 | 428.913 |

Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória

4.5 Viabilização técnico-econômica na recuperação de biogás

Com a crise energética de 1979 várias alternativas foram levantadas para suprir a deficiência energética oriunda dos combustíveis derivados de petróleo com intuito de abastecer basicamente o setor de transporte, notadamente os veículos leves (carros com motores à gasolina) e veículos pesados (caminhões e ônibus com motores a diesel). Configuram-se assim alternativas energéticas para suprir a demanda onde se destaca o Programa Pró-Álcool entre outros como podemos citar o aproveitamento energético do metano oriundos dos resíduos sólidos urbanos.

Como exemplos podemos citar alguns estudos realizados pela CESP, COMGÁS, IPT, Marinha, EMBRAPA, COMLURB entre outras instituições científicas e tecnológicas, mas

especificamente na região de Campinas a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), comentado anteriormente com o Projeto Phoenix.

Todos os projetos tinham como objetivo principal o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos as seguintes premissas:

- ✓ Uso automotivo: (1) para veículos com motores à combustão interna à Diesel; e (2) veículos com motores do ciclo Otto – gasolina/álcool.
- ✓ Substituição do gás de cozinha (GLP).
- ✓ Geração de energia elétrica: (1) através de motores estacionários; e (2) através de turbinas a gás.

De acordo com Velt et al. (1983) em suas conclusões a implantação de aterros sanitário-energéticos para aproveitamento do metano como combustível automotivo exige um capital elevado em decorrência do alto preço dos cilindros de armazenamento do metano e dos sistemas de compressão e de abastecimento de veículos. O mesmo fato ocorre com a utilização do metano em substituição ao GLP onde neste caso a viabilidade técnico-econômica é contemplada dentro de uma área de entorno do aterro, de porte de no mínimo (500 toneladas de lixo/dia) num raio não superior a 10 Km. Entretanto, uma das condições de escolha de área para aterros sanitários é justamente à distância de centros e conglomerados urbanos, o que vai a direção contrária à viabilidade na alternativa de substituição do GLP. Ainda assim estratégias energéticas de Companhias Distribuidoras de Gás (ex. COMGÁS) não foram adiante em decorrência da falta de estudos mais aprofundados e de viabilização de longo prazo na substituição de fontes energéticas não renováveis (GLP-Gás Liquefeito de Petróleo) para fontes energéticas renováveis (GDL-Gás do Lixo).

Dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Sólidos (ABLP), apresentam um exemplo de uma usina piloto construída para utilizar o metano do Aterro de Santo Amaro em São Paulo para veículos leves (automóveis), montada em 1982 com as seguintes

características de sistemas: captação, pré-compressão, purificação, desumidificação, compressão, armazenamento e abastecimento. A capacidade da usina era de 10 Nm³/hora de CH₄, com captação de 15 Nm³ de CH₄/hora, ou seja, apenas 2/3 do metano gerado era recuperado para fins energéticos. Os resultados deste trabalho foram que durante um período aproximado de seis meses adaptaram-se ao uso do gás metano, 3 automóveis a álcool, 1 automóvel FIAT. mod. 147, 1 automóvel CHEVROLET mod. Opala, e 1 automóvel FORD mod. Del Rey. O rendimento médio dos automóveis com uso do gás metano foi respectivamente 14,5 km/m³; 10,0 km/m³; e 12,5 km/m³. Portanto, o uso automotivo implicava também a perda de autonomia dos veículos, sendo outro fator considerado na viabilidade do projeto.

Ainda segundo a ABLP, os dados da COMGÁS-CEPIS para o aterro do km 14,5 da Raposo Tavares, onde em 1979 foi contemplado o aproveitamento do gás metano gerado neste aterro para abastecimento de 41 residências cujos fogões foram adaptados.

Para a efetivação de um aterro sanitário-energético característico, deve ser acrescido que os custos adicionais para transformar um aterro sanitário convencional (licenciado pela Agência Ambiental) em um aterro energético devem ser tais que, não inviabilizem a implantação do aterro sanitário.

Segundo dados fornecidos via e-mail em novembro 2000, através do Mr. Anders Rydergreen e Mr. Kjell Björkman da empresa SWECO, ambos especialistas e projetistas de sistemas energéticos afins em diversas partes do mundo, cujas informações técnicas e de custos operacionais corresponde um sistema de aterro sanitário-energético implantado no nordeste da África para atender uma demanda de resíduos sólidos urbanos de um município de 400.000 habitantes. De maneira a equalizar a questão, este projeto havia sido elaborado, executado e gerenciado pela SWECO International e as condições de composição dos resíduos e temperaturas daquele local apresentavam grande similaridade com as condições técnicas, ambientais e estruturais do Brasil. Portanto as informações que foram enviadas possuem uma relação estreita com a realidade brasileira onde se pode observar os seguintes dados:

- ✓ Os custos de investimentos para um sistema de aterro em células energéticas para uma população de 400.000 habitantes com aproveitamento do gás metano e conversão em energia elétrica, incluindo obras civis, terraplenagem, prédios e equipamentos para conversão do gás metano em eletricidade foi estimado em US\$ 1,4 milhões de dólares;
- ✓ O custo operacional anual deste sistema estava estimado em US\$ 300 mil dólares, onde assumindo um custo de depreciação do equipamento em 10 anos a uma taxa de 5% a.a., o custo do capital foi estimado em 200 mil dólares. Assim o custo anual de operação e depreciação do equipamento soma-se 500 mil dólares;
- ✓ O sistema foi calculado com capacidade de recebimento de resíduos para 70.000 toneladas/ano, onde o fator de conversão energia utilizado pela SWECO foi de 800 kWh/ton de resíduos, o que estabelece um aproveitamento energético de 56.000 MWh/ano de energia sendo 1/3 (18.700 MWh/ano) de energia elétrica. Os restantes 2/3 da energia, que poderão estar em forma de vapor industrial e/ou calor, não foram considerados, podendo assim ajudar ainda mais na viabilização econômica do sistema.

Segundo Alves (2000) em sua dissertação de mestrado orientado pelo Prof. Dr. Ildo Sauer no IEE/USP-SP, através do estudo efetuado por uma empresa projetista (POWERTECH) onde o fluxo de caixa leva em conta uma tarifa paga pela Concessionária de Energia Elétrica de US\$ 65,00/MWh, foram analisados motor-geradores a biogás com 3 faixas de potência: 2 MW, 1 MW e 0,5 MW. Sem deixar claro todos os parâmetros que considera na avaliação o estudo conclui que é possível um “*simple pay back*” de 30 meses nas três alternativas de potência de motores analisadas.

Alves (2000) em sua avaliação com os 3 motor-geradores a biogás, sendo todos do mesmo fabricante (empresa austríaca WALKESHA), constata que o preço do equipamento instalado (inclusive IPI – Imposto de Produto Industrializado) está em torno de US\$ 900 por kW instalado. A potência (eficiência) dos motor-geradores são de 2 MW (37,32%), 1 MW (32,42%) e 0,5 MW (33,12%) e o consumo energético dos equipamentos é de 1.079 m³ de biogás/h, 637 m³ de

biogás/h e 335 m³ de biogás/h respectivamente, sendo o m³ de biogás com a composição a 50% de CH₄.

Ainda de acordo com Alves (2000) refazendo a estimativa da mesma metodologia utilizada pela empresa projetista (POWERTECH) e levando-se em conta uma tarifa de US\$ 40,00/MWh, o projeto somente pode ser viabilizado pela remuneração de Certificado de Redução de Emissão – CER quando este atinge valores iguais ou superiores a US\$ 30,00/tC. Ainda no mesmo estudo, Alves (2000) mostra que sem a remuneração de CER somente se torna rentável o projeto se a energia for comercializada por valores superiores US\$ 70,00/MWh, havendo a remuneração pelo CER (US\$ 20,00/tC; + 5% a.a.) o valor da energia pode ser reduzido para US\$ 50,00/MWh.

Em junho de 2001, um “Workshop Internacional” denominado “Geração de Eletricidade com Gás de Lixo em São Paulo” realizado pela Cetesb/Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Governo do Estado de São Paulo, com apoio do Consulado Americano, estabeleceu a discussão do assunto com alguns especialistas brasileiros onde notadamente destacou-se as apresentações dos técnicos do Programa Landfill Methane Outreach Program – LMOP (USEPA, 2001).

Na ocasião, as técnicas Ms. Shelley H. Colen (USEPA Office Washington - LMOP) e Ms. Linda M. Nutting (SCS Engineers), informam alguns dados que merecem destaques com relação à viabilidade técnica da recuperação e uso energético do biogás gerados em URTR's. Os benefícios ambientais destacam-se em:

- ✓ Redução de toxinas que contribuem para poluição atmosférica local;
- ✓ Melhorias no gerenciamento operacional das URTR's quanto a: redução de odores, redução de explosões e incêndios e melhorias ambientais na área de influência do empreendimento;
- ✓ Aproveitamento de fonte renovável e sustentável ou seja, “*green energy*”;
- ✓ Redução da utilização de energia não renováveis como carvão, óleos (petróleo) e gás natural;

- ✓ Rendimento poderá ser gerado a partir da venda do biogás;
- ✓ Projetos podem ser habilitados e difundidos internacionalmente.

Segundo a USEPA (2001) nos Estados Unidos em 1970 começaram a ser desenvolvidos projetos de aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários. Em 1990, os Estados Unidos apresentava 86 projetos em operação, passando para 142 projetos em 1995. Ainda segundo a USEPA (2001), a questão do aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários tem tido bastante interesse das indústrias, principalmente aquelas que ficam próximas aos aterros num raio não superior a 15 Km. Desta maneira o Programa LMOP tem apontado um grande progresso nesta área onde atualmente nos Estados Unidos 330 projetos estão em operação, 57 projetos estão em construção/implantação e 153 projetos estão em fase de planejamento. Segundo o Programa LMOP/USEPA (2001) a Agência Americana tem trabalhado com dados estimados de 410-430 projetos em operação em 2002 e 480-500 projetos em operação em 2005 nos Estados Unidos. Nos Estados Unidos existem mais de 200 projetos em operação, que somados geram uma potência de 900 MW. Nestes sistemas, a eletricidade é vendida para utilidades ou para clientes vizinhos das URTR's (aterros sanitários adequados para aproveitamento energético).

O Programa LMOP observa em seus estudos algumas vantagens e desvantagens da utilização energética do gás de metano onde se destaca flexibilidade na escala do projeto entre 500 kW – 50 MW de potência como podemos observar na tabela abaixo:

Tabela 4.11. – Vantagens e Desvantagens de Sistemas URTR's para aproveitamento energético

| Sistema de Geração de Energia Elétrica a partir do Aproveitamento do metano em URTR's | Vantagens Técnicas e Econômicas | | Desvantagens Técnicas e Econômicas | | Custos de Implantação, Operação e Manutenção | |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|---|--|--|
| Micro-Turbina (25 a 75 kW) | 1 | - baixo índice de emissões | 1 | - baixa eficiência | 1 | - Custos de Implantação US\$ 700 a US\$ 1,200 por kW instalado |
| | 2 | - operação com combustível combinado | 2 | - tem sido testado geralmente com melhor resultado para gás natural | 2 | - Custos O&M < US\$ 0.01 por kW instalado |
| | 3 | - equipamentos com tamanho reduzido e peso leve | 3 | - Performance e tempo de vida limitado | | |
| | 4 | - não requer pré-tratamento do combustível | | | | |
| | 5 | - custo de manutenção baixo | | | | |
| Motor à Combustão Interna (1 a 3 MW) | 1 | - baixo custo | 1 | - problemas devido a particulados na estrutura construtiva | 1 | - Custos de Implantação US\$ 1,100 a US\$ 1,300 por kW instalado |
| | 2 | - alta eficiência | 2 | - corrosão de peças do motor | | |
| | 3 | - tecnologia muito difundida e bastante utilizada | 3 | - altas emissões de NOx | | |
| Turbina à Gás (3 –10 MW) | 1 | - baixo custo operacional | 1 | - baixa eficiência em parte de sua capacidade | 1 | Custos de Implantação US\$ 1,200 a US\$ 1,700 por kW instalado |
| | 2 | - resistente à corrosão | 2 | - requer alta pressão de gases | | |
| | 3 | - pequeno tamanho físico | | | | |
| | 4 | - baixa emissões de NOx | | | | |

Fonte: Programa LMOP/USEPA (2001)

Dados divulgados em USEPA (2001) pela equipe CENBIO/USP, pela Gerência da Divisão de Questões Globais da CETESB, além de alguns fornecedores de moto-geradores a gás e empresas de consultoria energética (CATERPILLAR, GUASCOR, ENERCO, ECO Securities, e SINERConsult), são unânimes no que concerne à tendência de diminuição dos preços de aquisição no Brasil dos equipamentos de moto-geração a gás. De acordo com estes especialistas, os preços praticados no Brasil dos equipamentos estão atualmente abaixo de US\$ 900 a 1.200 por

kilo-watt instalado. Ainda neste mesmo evento, os fornecedores presentes de equipamentos informam que o fornecimento dos equipamentos dar-se-ão em prazos entre 110 e 300 dias em regime “*plug-play*”¹³.

O Ministério de Minas e Energia tem analisado o encaminhamento à Câmara de Gestão da Crise Energética (GCE) um estudo para criação de um Programa Prioritário de Biomassa, semelhante ao das termoeletricas. Isto se deve a inúmeras reivindicações do mercado (setor sucro-alcooleiro) para a co-geração de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

Através de entrevista com empreendedores do setor sucro-alcooleiro constatou que a Companhia de Força e Luz (CPFL) é uma das pioneiras na aquisição de energia de co-geração, onde os primeiros contratos foram firmados em 1987, e atualmente, a co-geração é responsável por 2% do mercado distribuído da empresa, com expectativa de elevar-se para 4% em 2002, e 7% em 2003, podendo atingir em quatro anos 700 MW de energia co-gerada. Atualmente, o preço da energia vendida do setor sucro-alcooleiro para a CPFL é de R\$ 61,00/MWh, podendo segundo a ANEEL^{14 15} chegar a R\$ 89,86/MWh (dólar base janeiro 2001 = R\$ 1,96), o que reajustado (dólar base novembro 2001 = R\$ 2,52) poderá chegar a R\$ 115,34/MWh nos preços de novembro/2001.

4.6 A energia elétrica no contexto do saneamento ambiental

Segundo Tsutiya (2001), as elevatórias em sistemas de abastecimento de água, nos Estados Unidos, representam cerca de 90% do custo total de energia elétrica para o setor de água e esgoto. Aproximadamente 7% do total de energia elétrica consumida nos Estados Unidos são utilizados pelas empresas municipais de água.

¹³ regime em sistema “*plug-play*” corresponde a imediata ligação da energia elétrica gerada pelo equipamento no sistema de distribuição local, após autorização da agência reguladora.

¹⁴ Portaria MME nº 227/1999 que dispõe sobre as perspectivas de estímulo a co-geração

¹⁵ Resolução ANEEL nº 22/2001 que atualiza os procedimentos, fórmulas e limites de repasse dos preços de compra de energia elétrica para as tarifas de fornecimento aos consumidores cativos, onde em janeiro de 2001 o preço para a fonte Biomassa/Resíduos era de R\$ 89,86/MWh (US\$ 45,77/MWh)

De acordo com o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL) para o setor de saneamento começou a ser delineado no segundo semestre de 1997, através da identificação do potencial de participação do segmento, que representa 2,1% do consumo global do país e da oportunidade de estabelecimento de parcerias com a *Canadian International Development Agency* (CIDA) e com a Secretaria de Planejamento Urbano (SEPURB/DESAN), através do protocolo de cooperação técnica entre o Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério de Planejamento e Orçamento (MPO), para a participação no Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA (ELETROBRÁS/PROCEL, 1999).

No Brasil, o consumo de energia elétrica no setor de saneamento foi estimado para o ano de 1998 em 5.804 GWh/ano, importando em despesas médias da ordem de R\$ 400 milhões/ano. Estima-se que o consumo de energia elétrica no setor de saneamento poderá necessitar de 8,7 TWh/ano se não houver um efetivo trabalho em eficiência energética nas companhias de saneamento (IBAM/DUMA & ELETROBRÁS/PROCEL, 1998).

Segundo Tsutiya (2001), para SABESP em 1977, o custo de energia elétrica representava 4% do orçamento de despesas. E, embora a utilização de energia elétrica para o fornecimento de 1 m³ de água tenha se mantido na ordem de 0,6 kWh, as despesas em 1988, aumentaram para 12%, transformando o custo da energia elétrica no terceiro item mais importante do orçamento. As instalações administrativas representavam apenas 2% do custo total de energia elétrica e as instalações operacionais de água e esgoto 98%. Estima-se que pelo menos 90% do custo são devidos às estações elevatórias de água.

Para Tsutiya (2001), os sistemas operados pela SABESP na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cujas instalações respondem por 71% do total de despesas com energia elétrica da empresa, têm a seguinte distribuição no consumo de energia elétrica:

- ✓ Motores: 90%;
- ✓ Serviços auxiliares: 7,5%;

✓ Iluminação: 2,5%

Ainda segundo Tsutiya (2001), nos últimos 5 anos, as despesas com energia elétrica variaram de 4,76% a 36,30% nas principais Companhias Estaduais de Saneamento, o que significa que a despesa com energia elétrica nas empresas de saneamento é o segundo ou terceiro item mais importante no orçamento das despesas de exploração. No caso específico da SABESP e SANEPAR podemos dizer que essas Companhias Estaduais apresentam uma média de despesas com energia elétrica nas faixas de 8% e 13% respectivamente.

Um diagnóstico importante foi elaborado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre, segundo Knijnik et al. (1994), onde constatou-se as peculiaridades do município de Porto Alegre no que tange ao consumo de energia no setor de saneamento ambiental (setor água, esgoto, lixo e drenagem urbana). Este trabalho contemplou o consumo energético dos sistemas de saneamento, envolvendo a questão dos transportes, através da utilização de combustíveis (gasolina, diesel e álcool), além do aproveitamento energético dos resíduos recicláveis. Desta forma, o resultado final apresentou que cerca de 30% do consumo de energia dos sistemas de saneamento de Porto Alegre são de combustíveis fósseis e 70% de energia elétrica. Do total desse consumo, o Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) é responsável por cerca de 70%, o Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) por 28% e o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) por 2%.

Com relação ao DMAE, o consumo de energia elétrica no ano de 1991 em Porto Alegre apresentou que a distribuição de água tratada representa 52,4% (potência instalada $P_e = 9.167$ kW) do consumo de energia elétrica, sendo que a captação e adução de água bruta são responsáveis por 40,2% ($P_e = 5.898$ kW), ficando os 4,5% para o setor de tratamento de água e administração do sistema ($P_e = 378$ kW) e 2,9% para o sistema de coleta, afastamento e tratamento de esgotos ($P_e = 1.095$ kW). O município de Porto Alegre apresentava em 1991 uma população urbana um pouco abaixo de 1.300.000 habitantes, sendo que 95% atendida pelo sistema de abastecimento de água e menos de 10% contava com tratamento de esgotos. Em resumo, o consumo de energia elétrica representava para o sistema de abastecimento de água e

esgotamento de esgoto 92% do consumo energético do DMAE: 30.963.612 kWh para a área de captação e adução de água bruta; 40.355.147 kWh para a área de distribuição de água tratada; 1.715.890 kWh para a área de tratamento de água; 1.758.473 para a área administrativa; 1.899.144 kWh para a área de coleta e afastamento de esgotos; 315.487 para a área de tratamento de esgotos (menos de 10% da população atendida); totalizando 77.007.753 kWh de consumo de energia elétrica no ano de 1991 (SILVA, 1992).

Com relação a SANASA o consumo de energia elétrica em setembro de 2001 em Campinas apresentou que as captações de água (Atibaia e Capivari) junto com as Estações de Tratamento de Água (ETA's 1, 2, 3, 4 e Capivari) representam 83,6% (consumo de energia elétrica $C_e = 4.387$ MWh/mês), sendo considerado estes setores como tarifa azul. Os centros de reservação e distribuição de água (incluindo poços artesianos, proteção catódica, reservatórios, boosters, macromedidores e unidades de apoio operacional) são responsáveis por 10,6% (consumo de energia elétrica $C_e = 557$ MWh/mês), ficando os 5,8% para o sistema de coleta, afastamento e tratamento de esgotos (consumo de energia elétrica $C_e = 301$ MWh/mês), totalizando portanto uma média de consumo de 5.245 MWh no mês de setembro/2001 na área operacional, com uma economia de 11,68% em relação a meta programada pela empresa por conta do racionamento de energia elétrica estabelecida pelo Governo Federal (SANASA, 2001b).

Somente a ETE-Samambaia no mês de setembro de 2001, apresentou um consumo de energia elétrica próximo a 250 MWh o que corresponde a 4,8% do consumo total da área operacional da SANASA no mesmo mês. A área operacional representa 98% do consumo total de energia elétrica, ficando aos 2% restantes para a área administrativa (sede central, sedes regionais etc...).

Ainda, conforme dados levantados e coletados junto a SANASA, a empresa pode atingir em outras épocas do ano um consumo entre 72.000 a 96.000 MWh/ano de energia elétrica, o que demanda uma capacidade instalada de 8 a 11 MW para sua auto-suficiência de energia elétrica. Por outro lado, as despesas de energia elétrica nos diversos setores de consumo (captação, adução, reservação e tratamento de água; coleta, afastamento e tratamento de esgotos,

administração, manutenção e operação) podem atingir entre R\$ 7,8 milhões e 8,4 milhões por ano, ou seja, US\$ 3,1 milhões a 3,4 milhões por ano (com o dólar na base R\$ 2,52).

Com as instalações de todas ETE's que estão previstas (ANEXO II) calcula-se que a SANASA necessitará de uma potência instalada de 18 a 22 MW. Isto conseqüentemente acarretará um custo adicional proporcional à potência a ser suprida para operacionalização dos sistemas de tratamento de esgoto.

Somente a ETE-Piçarrão (atendimento de 204.000 habitantes) estima-se uma potência de 2,4 MW para a fase I do empreendimento, enquanto a ETE-Anhumas (atendimento de 241.000 habitantes) estima-se uma potência de 3,5 MW para a fase I do empreendimento. Assim, nestas duas ETE's, o consumo médio de energia elétrica está na ordem de 4.248 MWh/mês. Dados apresentados pela SANASA contabilizam estimativas nas despesas de energia elétrica mensal (contabilizando consumo/demanda) destas ETE's que giram em torno de R\$ 151.740,71 para ETE-Piçarrão e R\$ 221.288,54 para ETE-Anhumas, ou seja, um total de US\$ 1,8 milhões/ano (com o dólar na base R\$ 2,52) em despesas de energia elétrica nas duas maiores ETE's do município de Campinas (SANASA, 2001b).

Diferente do município de Porto Alegre, o município de Campinas não contempla estudos ou pesquisas que retratem o consumo energético no setor de limpeza pública e resíduos sólidos. Todavia, quanto à demanda de consumo de energia elétrica no setor de limpeza pública e resíduos sólidos pode ser considerado desprezível, se comparado com o consumo necessário para o setor de água e esgoto.

Por outro lado, Streb (2001), analisando o caso do município de Campinas, apresenta como estimativa potencial da energia elétrica evitável com a reciclagem dos materiais provenientes da coleta seletiva, basicamente papeis, vidros, plásticos e metais, os seguintes resultados:

Tabela 4.12. – Energia potencialmente evitável com a reciclagem

| Forma de Coleta | Energia evitável (MWh/mês) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Catadores de Barão Geraldo | 114 |
| Coleta Seletiva Oficial | 815 |
| Catadores de Campinas | 1.613 |
| Potencial – Coleta Comum | 23.654 |
| Total | 26.082 |

Fonte: STREB (2001)

Capítulo 5

Resultados

Observa-se que a questão dos resíduos sólidos orgânicos (RSDO) e resíduos de lodos de esgoto (RLE) analisada nos capítulos anteriores, podem fazer parte integrante dos mecanismos de planejamento urbano, ambiental e energético dos organismos públicos e privados que tratam com o saneamento básico e ambiental no âmbito municipal, regional e estadual. No caso do município de Campinas existe claramente oportunidades únicas no momento que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) estão sendo planejadas e projetadas para conseqüente implantação, especialmente nas ETE's previstas para a sub-bacia do Rio Capivari onde encontra-se a área planejada e licenciada do Complexo Delta (Aterro Delta A).

Como estudo de caso o município de Campinas possui todos os pré-requisitos fundamentais para viabilização técnico-econômica do aproveitamento energético RSDO e RLE em Unidades Receptoras e de Tratamento de Resíduos (URTR's), neste o Aterro Delta A após convertido para recuperação de biogás e assim de potencial energético. Os requisitos básicos podem ser resumidos da seguinte forma:

- ✓ Volume de disposição efetuada desde 1996 de RSDO no Aterro Delta A está próximo de 1 milhão de toneladas, atendendo as recomendações do Programa LMOP/USEPA, metodologia USEPA (1996);
- ✓ Escala de geração de RSDO no Aterro Delta A superior a 200.000 toneladas/ano;

- ✓ Índice de IQR = 6,5 (2000) CETESB (2001) do Aterro Delta A onde constata a melhoria no sistema de disposição/destinação do RSDO com vida útil pelo menos até 2012 (Fase I – Aterro Delta A) e (Fase II – Aterro Delta B);
- ✓ Perspectivas do aumento na demanda da geração de RLE com a implantação do Programa de Tratamento de Esgotos da SANASA (ver ANEXO III); e
- ✓ Localização geográfica estratégica do atual Aterro Delta A e do futuro Aterro Delta B para uma futura co-disposição de RSDO e RLE visando utilização energética, RLE oriundos de todas ETE's da sub-bacia do Rio Capivari, principalmente com a implantação da ETE-Piçarrão (ver ANEXO II).

Para tanto foram aplicadas as metodologias de geração de metano em um sistema de Aterro Sanitário Convencional conforme ABNT/NBR 10.703 (1989).

No caso do município de Campinas, foram observadas as diferentes metodologias de cálculo de geração de biogás em URTR's, especificamente no Aterro Delta A. Assim, considerando uma geração per capita de 0,605 kg/habitante.dia de RSU, com coleta domiciliar atendendo 98% da população total do município, e considerando também que 30% de RSU configura-se de resíduos recicláveis (lixo seco), o que leva a parcela de RSDO (lixo úmido) para 70% dos RSU, e por último, considerando-se uma população total média equivalente de 1 milhão de habitantes, tem-se os seguintes resultados:

Metodologia USEPA (1996)

De acordo com USEPA (1996) o volume de biogás gerado com composição aproximada de 50% de CH₄ para cada tonelada de RSDO disposto em URTR's pode ser calculado genericamente da seguinte forma:

V = volume de biogás gerado para cada tonelada de RSDO

V = 400 m³ de biogás/RSDO

Q (Pop) = 466,41 ton/dia x 400 m³ de biogás x 365 dias/ano

Q (Pop) = 68,1 milhões m³ de biogás/ano

Metodologia HAMADA (1997)

Foi efetuado o cálculo de geração de biogás considerando o Aterro Delta A com a metodologia adotada por Hamada (1997). Consideraram-se os mesmos pré-requisitos estabelecidos para a metodologia USEPA (1996) quanto a taxa per capita de geração de resíduos, atendimento de coleta domiciliar e percentagem de RSDO em relação ao RSU. O resultado

alcançado, pode ser ilustrado pela figura 5.1. que representa uma quantidade máxima de biogás que podem ser produzidas sob condições ótimas na degradação do material sólido volátil o que é calculado em:

$$Q (Pop) = 42,4 \text{ milhões de m}^3 \text{ de biogás/ano.}$$

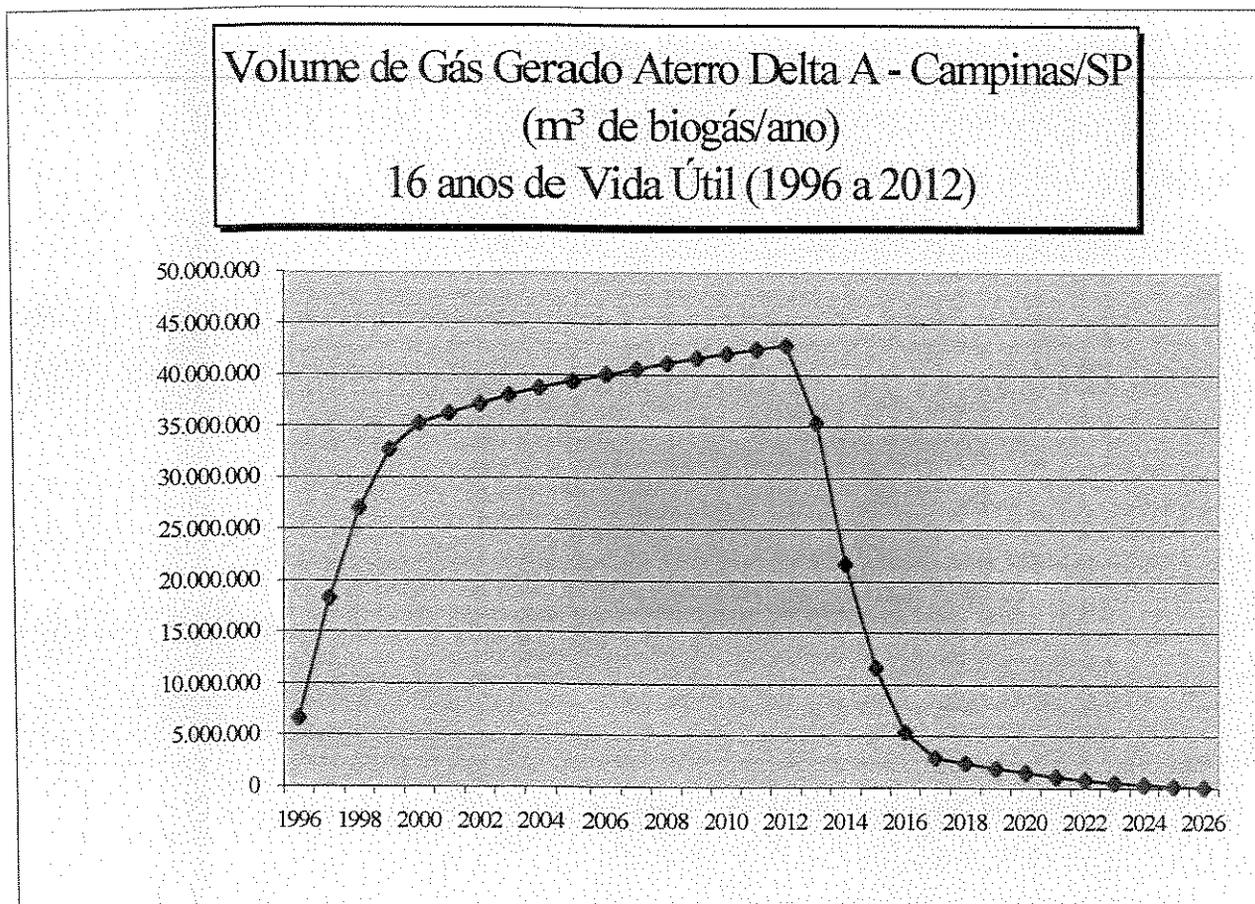


Figura 5.1. – Gráfico de comportamento da geração de biogás no Aterro Delta A desde 1996 a 2026 com encerramento em 2012 conforme metodologia HAMADA (1997)

Estudo de Caso 01 – Metodologia adotada pela USEPA (1997c)

De acordo com o relatório USEPA (1997b) preparado pela *Energy Technology Innovation Project* (ETIP) em contrato com a *USAID Office of Energy*, os resultados apresentados para o aproveitamento energético do Aterro Delta A em Campinas – SP foram os seguintes:

A área de disposição do Aterro Delta A considerada no estudo é de aproximadamente 60 hectares sendo que 30% é ocupada com disposição de resíduos. O estudo considera que o Aterro Delta A deu-se início operacional em 1992 sendo que foi considerado que seu fechamento (encerramento) estava sendo planejado para 1998. A estimativa preliminar de um cenário de baixa e alta geração de metano no Aterro Delta A indica que foi gerado em 1996 entre 14.000 e 31.000 m³ de CH₄ por dia. A estimativa de geração de metano de 1996 a 2016 (20 anos de vida útil) indica para valores entre 98,2 milhões de m³ de CH₄ e 141,9 milhões de m³ de CH₄. De acordo com este estudo a potência contínua máxima que o Aterro Delta A poderia gerar com a demanda de metano calculada, não ultrapassa a 2,4 MW de potência (USEPA, 1997b)

P = 2,4 MW de potência contínua

Deve-se ressaltar, no entanto, que o estudo USEPA (1997b) apresenta-se incompleto, pois não considera a hipótese que a área permanecesse ativa de operação, e mais ainda, objeto de ampliação (Aterro Delta B). Outro ponto a ser ressaltado é que conforme Hamada (1997), observado na tabela 4.4., não foi levado em conta às características quali-quantitativas dos resíduos dispostos. Sendo assim, o resultado pode ser considerado prejudicado (produção de metano subestimada) em virtude de que as formulações básicas das composições químicas e biológicas na degradação dos resíduos dispostos não estarem sendo devidamente consideradas na metodologia utilizada USEPA (1997c) e, sobretudo, dentro do horizonte de atividade operacional do Aterro Delta A de pelo menos 12 anos.

Estudo de Caso 02 – SWECO (2000) e Alves (2000)

Adotando-se uma geração média anual de 40 milhões m³ de biogás (50% de CH₄) no Aterro Delta A, sem considerar a co-disposição de RLE que possivelmente ajudaria este número ser ainda maior, tem-se então uma geração de 4.600 m³ de biogás/hora. Têm-se então as seguintes considerações com relação aos dados apresentados:

✓ Dados de SWECO (2000):

400.000 habitantes = 18.700 MWh/ano de energia elétrica

Resultando em 46.750 MWh/ano de energia elétrica, necessitando portanto de:

P = 5,3 a 5,5 MW de potência contínua

✓ Dados de Alves (2000)

Conforme observado anteriormente, um motor estacionário para uso de biogás (GDL) com aproveitamento energético visando geração de eletricidade possui uma eficiência entre 30% a 35%. Adotando a eficiência do equipamento moto-gerador de 33% o consumo de biogás (50% de CH₄) está em torno de 637 m³/hora por moto-gerador para geração de 1 MW de eletricidade.

Logo, no caso da URTR de Campinas, sem utilização de co-disposição de RLE, tem-se então:

✓ P = Capacidade de potência a ser instalada no URTR

✓ Q (*Pop*) = Geração média anual de metano na URTR (Aterro Delta A) = 4.600 m³ de biogás/hora.

✓ C (*Motor*) = Consumo de biogás do moto-gerador estacionário com combustão à Gás = 637 m³ de biogás/hora para geração de 1 MW de energia elétrica.

$$P = Q/C$$

$$P = 4.600/637$$

P = 7,2 MW de potência contínua

Considerando os resultados apresentados no estudo de caso onde se utilizando diversas metodologias para cálculo de geração de biogás num sistema URTR's, mais precisamente no caso de Campinas o sistema do Aterro Delta A, constatou-se que as estimativas de geração de biogás por URTR's contém incertezas muito elevadas. As incertezas relacionadas as URTR's são maiores, pois há uma grande diversidade de composição de resíduos sendo gerada nos municípios brasileiros. O manejo de URTR's é outro fator que interfere na estimativa e não está equacionado (ALVES, 2000).

As metodologias adotadas em geral não aplicam variáveis importantes dentro de sua equação de desenvolvimento no cálculo de geração de biogás em URTR's. Fica imprescindível deixar de considerar fatores como:

- ✓ Quanto ao “*lay-out*”, “*design*”, materiais e equipamentos utilizados na implantação e operação de URTR's com relação aos sistemas de: coleta e drenagem de gases e líquidos percolados, compactação dos resíduos dispostos em cada célula/camada e impermeabilização inferior e superior e de todas camadas intermediárias;
- ✓ Quanto ao histórico da composição de resíduos dispostos dentro de URTR's;
- ✓ Quanto às condições qualitativas apresentadas pela massa de resíduos ao longo do tempo como: umidade, temperatura, Eh (potencial redox), pH (potencial hidrogênio) e TOC (carbono orgânico total);
- ✓ Quanto à composição qualitativa e quantitativa na presença de gases dentro da massa de resíduos: VOC (compostos orgânicos voláteis), CH₄ (metano), CO₂ (gás carbônico), H₂S (gás sulfídrico) entre outros.

Mesmo assim, a variação dos dados de geração de biogás, e conseqüentemente, a variação no cálculo do aproveitamento energético visando energia elétrica, apontam para um intervalo de resultados entre 3 e 6 MW no potencial de eletricidade no Aterro Delta A.

Levando em consideração as dificuldades e incertezas metodológicas analisadas, este texto reuniu informações importantes a respeito do aproveitamento energético visando energia elétrica a partir do biogás produzido em URTR's. Todavia, há de ressaltar que não foram considerados os efeitos (melhoria na composição do biogás em termos de geração de metano) apresentados quanto à qualidade do biogás quando da disponibilidade operacional na co-disposição de RSDO e RLE.

Uma informação importante é que os projetos de concepção tecnológica de aproveitamento energético de resíduos em URTR's deverão contemplar um horizonte de vida útil no mínimo de 12 a 20 anos, para atender as condições de operação¹⁶ a serem previstas (manutenção de peças e equipamentos nos sistemas de captação, recuperação, tratamento e de conversão energética), e para atender as exigências de contrato¹⁷.

Importante também é destacar que o assunto tem sido discutido periodicamente pelos organismos de ciência e tecnologia, o que corresponde a um bom encaminhamento da discussão para uma efetiva aplicação do que foi abordado no texto. Esta afirmação pode ser comprovada pelo "Workshop Internacional" denominado "Geração de Eletricidade com Gás de Lixo em São Paulo" realizado pela Cetesb/Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Governo do Estado de São Paulo, com apoio do Consulado Americano, em junho/2001.

¹⁶ Condições de operação: significa dizer que os equipamentos possuem índices altos de depreciação e deterioração após 12 anos de utilização, e para tanto é necessário a recomposição de peças e equipamentos importantes o que remete a novos investimentos que deverão ser previstos no fluxo de caixa do empreendimento.

¹⁷ O planejamento em projetos de aproveitamento energético de resíduos deverão prever modalidades de contrato de concessão, para o setor privado \geq 15 anos (*Built, Operation, Own and Transfer – BOOT*), e em contratos de empréstimos efetuados em agências de fomento, os financiamentos devem prever tempo de carência elevada (de 3 a 4 anos) e taxas de juros baixas (6% a 9% a.a.), neste último caso tanto para o setor privado como para com o público.

No caso particular do município de Campinas tem-se que o resultado alcançado em termos de aproveitamento energético visando a geração de energia elétrica pode ser considerado surpreendente.

De qualquer forma a empresa SANASA, que demanda atualmente uma potência instalada de energia elétrica entre 8 e 11 MW; ou seja, necessita de 6.000 a 8.000 MWh/mês de energia elétrica, não será totalmente atendida com o aproveitamento energético dos resíduos do Aterro Delta A.

O resultado alcançado aponta para o atendimento de 33 a 50% do aproveitamento energético visando energia elétrica (3 a 6 MW de eletricidade). Isto remete ao aprofundamento do assunto para um estudo aprimorado em termos de viabilidade e análise econômica, "*Project Finance*" com cálculos de taxa interna de retorno (TIR), valor líquido presente (VLP) e, "*pay-back*" do investimento. Ainda neste sentido, os resultados apontam para uma nova ordem econômica no setor energético, com a inclusão nos cálculos financeiros de instrumentos econômicos (CER) e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) como agentes facilitadores dentro do planejamento técnico-econômico "*Business Plan*" de empreendimentos na área de energia renovável a partir de resíduos urbanos.

Finalizando, os resultados apontam que o setor de saneamento ambiental do município de Campinas, através da SANASA encontra-se também como uma instituição a ser reformulada no sentido da atuação em saneamento ambiental. O modelo atual da empresa não contempla o conceito de gestão integralizada horizontalmente com o setor energético, sendo que este conceito deverá ser trabalhado lentamente requerendo paciência onde o aprendizado dar-se-á somente com a experiência, tanto positiva como negativa. Para tanto a noção do tempo não deverá ser esquecida ao nos depararmos com o momento da ação. Neste caso, por ocasião da implantação das Estações de Tratamento de Esgotos, ETE-Piçarrão e ETE-Anhumas - que segundo a própria SANASA juntas perfazem o atendimento, em termos de tratamento de esgotos, de uma população de 514.408 habitantes em 2020, ou seja, mais de 40% do lodo de esgoto (RLE) a ser produzido no município de Campinas - a SANASA terá grande possibilidade de investir no aproveitamento

energético da URTR's (Aterro Delta A) visando energia elétrica para atendimento futuro destas duas principais ETE's do município de Campinas. Em particular a ETE-Piçarrão tem sua localização geográfica muito próxima do Aterro Delta A, podendo assim favorecer a viabilização do projeto de aproveitamento energético do biogás. Além da geração de eletricidade, tem-se a utilização na geração de vapor industrial/calor intrínseco ao sistema energético onde estes insumos são perfeitamente aproveitáveis agregando sua utilização no tratamento de lodos de esgotos (adensamento, desaguamento e digestão primária/secundária) como forma de otimização/melhoria nos processos de coleta/transporte e de biodigestão dos lodos. Sobretudo, a SANASA terá com a implantação do sistema de aproveitamento energético no Aterro Delta A, uma quantidade de eletricidade a ser gerada satisfazendo - em parte (considerando-se um cenário conservador de 3 MW de potência), ou totalmente (considerando-se um cenário empreendedor de 6 MW de potência) - as necessidades de energia elétrica para a primeira fase de implantação/operação das ETE's Piçarrão e Anhumas.

Capítulo 6

Conclusões e considerações finais

As características e composições dos resíduos sólidos domésticos orgânicos, conforme diversos fatores apresentados, entre os quais os aspectos geoambientais de cada região e o perfil sócio-econômico da comunidade geradora, apresentam-se compatíveis com as dos resíduos de lodos de esgotos visando uma co-disposição em unidades receptoras e de tratamento de resíduos, especificamente no caso de aterros sanitários. Além disso, aterros sanitários passíveis em termos técnicos e econômicos de aproveitamento energético (aterros que possuem potencial de resíduos dispostos acima de 1 milhão de toneladas), com a co-disposição de lodo de esgoto (a base de $\geq 30\%$ de sólidos) favorece o desempenho no processo em termos de redução do tempo de bioestabilização da matéria orgânica, e que a taxa de produção de metano pode alcançar níveis máximos quando adicionado 20% em peso de agente inoculado de resíduos de lodo de esgoto ao substrato da massa de resíduos sólidos domiciliares orgânicos (LEITE, POVINELLI & VAZQUEZ, 1997).

Diante dos dados apresentados onde o município de Campinas possui uma população urbana de 951.824 habitantes, censo (IBGE 2000), conseqüentemente apresentando uma geração média de resíduos sólidos urbanos de 666,30 toneladas/dia, contra uma previsão futura de 65 toneladas/dia de resíduos de lodo de esgoto em sistemas de tratamento de esgoto de concepção Lodos Ativados com alta carga, tem-se que a parcela de todo lodo de esgoto não corresponde a 10% da massa de resíduos sólidos urbanos gerados. Ainda assim, se diante da separação/segregação dos resíduos sólidos urbanos em resíduos sólidos recicláveis e resíduos sólidos orgânicos, e supondo que a parcela dos recicláveis fosse de 30%, os 70% restantes de

resíduos sólidos orgânicos somariam 466,41 toneladas/dia, e os resíduos de lodo de esgoto subiria para um patamar de 14% proporcionalmente. Isto posto conclui-se que é possível co-dispor os resíduos de lodo de esgoto no Aterro Delta A, verificando-se obviamente a disponibilidade de área e os mecanismos técnicos e econômicos inerentes a tal procedimento.

Por outro lado, dada a urgência na solução da questão dos resíduos em estudo, especificamente tratando o assunto sob o enfoque do setor de saneamento ambiental e energético, conclui-se que os entraves na permanência sistemática das questões - ano após ano, e governo após governo – não se resumem em discussões técnicas e ou mesmo ambientais. O fato aqui apontado e discutido deriva de diversos fatores que devem ser vistos como inerentes de um processo de desenvolvimento em gestão de integração vertical (sistemas integrados de gerenciamento de resíduos) no setor de saneamento ambiental aliada a integração horizontal (planejamento e políticas conjuntas entre os setores de saneamento, meio ambiente e de energia) entre os diversos agentes envolvidos. Ressalta-se a seguir, alguns pontos que devem ser destacados dentro de uma visão política e institucional planejada e diante de instrumentos e/ou mecanismos a serem consolidados numa nova ordem econômica. Tais pontos são:

- ✓ Levando-se em conta que os resíduos em estudo são gerados em um ambiente urbano, e que a sustentabilidade sócio-ambiental deste importante ecossistema está sendo afetada, diminuindo o bem-estar da sociedade e a capacidade de assimilação dos recursos naturais, tem-se como justificativa uma ação integrada dos agentes envolvidos, principalmente no ambiente público institucional, através de políticas públicas nas áreas de saneamento ambiental e de energia elétrica. Atualmente, tais políticas ou projetos estão dissociados dentro da visão holística que deve ser tratada a questão do aproveitamento energético dos resíduos em estudo;
- ✓ As instituições públicas federais, estaduais e municipais demandam uma reestruturação premente dispondo da criação de mecanismos autônomos e de integração horizontal interativa permanente. Neste contexto parte do pressuposto que os resíduos em estudo possuem características de externalidades negativas no setor de saneamento ambiental

podendo apresentar-se como externalidades positivas para o setor elétrico. Somente este fato das externalidades torna-se objeto de uma nova contabilidade na viabilização dos empreendimentos passíveis de aproveitamento energético de resíduos;

- ✓ Os agentes formadores de opinião, principalmente os organismos não governamentais e que detém conhecimento técnico-ambiental, tornam-se fundamentais na pressão por políticas públicas e privadas que incentivem investimentos em energia renováveis de baixa entropia e alta sustentabilidade sócio-ambiental. Neste sentido, a utilização de indicadores de qualidade de vida e de sustentabilidade são premissas cada vez mais importantes dentro da valorização das empresas tanto públicas como privadas num ambiente competitivo e de busca de recursos financeiros em agências de fomento e fundos setoriais. Com isso a participação da sociedade civil com seus agentes formadores de opinião em Conselhos Deliberativos e Consultivos configura-se um ponto essencial na mudança e estabelecimento de novas ações;
- ✓ Há de considerar também os fatores relevantes e mecanismos facilitadores na viabilização de projetos de URTR's com aproveitamento energético de resíduos.
 - Certificados de Redução de Emissão – CER's: De acordo com Alves (2000) um projeto de aproveitamento energético de resíduos pode apresentar viabilidade pela remuneração através do Certificado de Redução de Emissão (CER) previsto no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Protocolo de Quioto. Assim o projeto se viabiliza quando a tarifa de energia elétrica puder ser comercializada em US\$ 50,00/MWh com a remuneração de CER's em US\$ 20,00/tC; + 5% a.a.. A tarifa poderá chegar em US\$ 40,00/MWh quando a remuneração de CER's atingir valores iguais ou superiores a US\$ 30,00/tC.
 - Taxa de lixo junto à tarifa de água/esgoto: a mudança no sistema tributário traz à tona a discussão de que a questão dos resíduos pertence à área de saneamento ambiental e como tal pode ser gerido em sistemas autônomos e empresas

autárquicas ou mesmo de economia mista. Esta hipótese possui alguns entraves jurídicos, mas que se resolvidos podem diminuir a inadimplência, otimizando a operacionalização e logística do setor de resíduos sólidos. Desta forma, considerar-se que a disposição dos resíduos em URTR's requer um pagamento por tonelada, e fixando esta taxa/tarifa em US\$ 15,00/t, é possível que o projeto se viabilize em uma tarifa de energia de US\$ 40,00/MWh com uma remuneração de CER's igual ou superior a US\$ 10,00/tC;

- A contabilização dos ganhos diretos e indiretos da energia elétrica evitável e conservada: O setor de saneamento ambiental se beneficiaria direta (evitando a compra de energia elétrica) e/ou indiretamente (evitando o desperdício através da conservação de energia) com a utilização de energia elétrica oriunda do aproveitamento energético de resíduos em URTR's sendo esta energia aplicada na operação de ETE's, por exemplo.

Conclui-se também que a relutância na viabilização de projetos em unidades receptoras e de tratamento de resíduos está na falta de dados precisos, seja para a produção de biogás, seja para estudos de mercado para a energia a ser produzida. Apesar do potencial brasileiro para este tipo de alternativa energética, há pouca informação disponível. Um levantamento detalhado do local onde será instalado o sistema de aproveitamento energético de resíduos deve cobrir uma série de itens, como a profundidade e área do local, tipo de resíduos, idade, usuários em potencial, além de uma avaliação econômica preliminar do projeto cobrindo a qualidade e quantidade de biogás gerado e a tecnologia de captação e recuperação mais adequada. Falta também continuidade na política e inadequada coordenação entre os agentes governamentais, onde se observa um grande número de entidades governamentais que são envolvidas em aspectos superpostos de gerenciamento de resíduos, a começar no processo de licenciamento ambiental, que possui legislações estaduais e municipais muitas vezes redundantes e conflitantes. Somam-se as práticas administrativas inadequadas, a questão do domínio do setor de coleta de resíduos executado quase que inteiramente nos municípios por empreiteiros que recebem por tonelada de resíduo coletado e disposto, e por este único motivo preferem a geração de mais e mais resíduos a

serem dispostos em aterros de preferência em longas distâncias, gerando assim receitas cada vez maiores.

Pelo exposto, observa-se que os investimentos no setor de saneamento ambiental associados aos sistemas de aproveitamento energético praticamente são inexistentes no Brasil muito a cargo de políticas públicas ineficientes, orçamentos municipais e estaduais que não correspondem à realidade da demanda reprimida, cujas receitas são geridas em sistemas tributários equivocados e obsoletos, geralmente pré-determinados para setores ditos mais “prioritários”, com pouco ou nenhum espaço para novos projetos. Inclui-se no mesmo escopo, a cultura do setor elétrico de priorizar grandes projetos com expectativa de retorno de curto prazo, o que leva a investidores privados a não participar de projetos integrados. A utilização do biogás para fins energéticos é considerada pelo setor privado como não viável comercialmente por não existirem contratos para compra de energia, sob a nova estrutura dos regulamentos federais. Têm-se assim barreiras políticas que são intimamente relacionadas às culturais, e que por sua vez relacionadas à economia. Enfim de maneira planejada, a criação de incentivos governamentais poderia oferecer melhores condições para financiamento e custeio de projetos de ETE’s e URTR’s com aproveitamento energético.

É evidente, que após o levantamento de dados e informações descritas neste trabalho não se pode perder de vista que não existe outra maneira de reverter o quadro das barreiras apontadas senão com a iniciação de projetos pilotos em escala real de sucesso, fortemente apoiado pelos mais diversos organismos que analisam e estudam o assunto. Não há como negar isto, pois se projetos deste tipo estão dando certo em diversos pontos do mundo, principalmente em países como Estados Unidos, Suécia, Canadá, entre outros, porque não será viável no Brasil onde as condições ambientais e características dos resíduos são favorecidas para tal tipo de empreendimento.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. ANA (2001). Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 4 outubro 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL (2001). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 4 outubro 2001.

ALVES, J. W. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. 2000. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Instituto de Física, Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ALVES, J. W.; VIEIRA, S. M. M. **Inventário nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos**. São Paulo: CETESB, 1998. 88p.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999. 288 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL –ABES. In: ENCONTRO REGIONAL SOBRE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (LIXO): Modelos, políticas públicas, taxas e tarifas. 1998, Curitiba. **Apostila**. Curitiba:Engenharia Civil da PUC-Paraná, nov. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**, Rio de Janeiro,1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.703: Aterros sanitários**, Rio de Janeiro, 1989.

BARBOSA, P.S.F.; BETTINE, S. C.; DEMANBORO, A.C. **Administração pública e privada no setor de saneamento no Brasil: retrospectiva histórica e desafios do presente**. Piracicaba: Ed. Unimep, 1999. p. 89-96.

BIONDI, A. **O Brasil Privatizado: um balanço do desmonte do Estado**. Ed. Fundação Perseu Abramo, 1999. 48 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. **Série Modernização do Setor de Saneamento**. Brasília: SEPURB, 1995. 4v.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. **Política Nacional de Saneamento**. Brasília: SEPURB, 1997.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Plano Diretor**. Campinas, 1995.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Projeto Phoenix: pesquisa de resíduos sólidos em Campinas**. Campinas, 1984.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. Secretaria de Serviços Públicos. Departamento de Limpeza Urbana. **Usina de processamento e de tratamento integrado de resíduos sólidos urbanos**. termo de referência; projeto conceitual. Campinas, 1994.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. Secretaria de Serviços Públicos. Secretaria da Administração. **Campinas: a gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Campinas, 1996, 224 p.

CAVALCANTI, C. Condicionantes biofísicos da economia e suas implicações quanto à noção do desenvolvimento sustentável. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A.

(Org.). **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e gestão de espaços**, Campinas: Oficinas Gráficas da UNICAMP, IE/UNICAMP, Editora Juarez de Oliveira, 1999. p. 63-84.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - ELETROBRÁS. Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL. Documento da área executiva da Conservação - DOQ. In: **Programa de Saneamento**, Mar. 1999. 8 p.

COELHO, S.T. et al. Impactos da inserção da cogeração na matriz energética brasileira. **Eletricidade Moderna**, 1995, p. 70-76.

COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. CBH-PCJ (2001). Relatório Zero. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br>>. Acesso em: 5 novembro 2001.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, USP, UNESP, 2001. 468 p.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (2001). Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2000. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 outubro 2001.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA E CAPIVARI. CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL (2001). Disponível em: <<http://www.agua.org.br>>. Acesso em: 5 novembro 2001.

DE MOURA, L. A. A. **Economia ambiental: gestão de custos e investimentos**. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000. 200 p.

FIGUEIREDO, P. J. M. **A sociedade do lixo – os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. Piracicaba: Editora Unimep, 1994. 240 p.

FIGUEIREDO, P. J. M. **Os resíduos sólidos e sua significação ao impasse ambiental e energético da atualidade.** 1993, Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GAZETA MERCANTIL. **Análise Setorial: Saneamento Básico.** São Paulo, 1998. v.3

GOLDEMBERG, J. et al. **Energy for a Sustainable World.** New Delhi: Wiley Eastern, 1988.

HAMADA, J. **Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19., Foz de Iguaçu, 1997. **Trabalhos Técnicos digital 97.** 9 p. CD-ROM

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM/DUMA & ELETROBRÁS/PROCEL. **Guia Técnico de Eficiência Energética nos Serviços de Saneamento.** Rio de Janeiro. 1998. 76 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo IBGE (2000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 outubro 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE/PNAD (1996). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 julho 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT/CEMPRE. In: **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado,** São Paulo, 2000. 370 p.

JANNUZZI, G. M. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado.** Campinas: Editora Autores Associados, 2000. 116 p.

KAPAZ. DEPUTADO EMERSON. KAPAZ (2001). Disponível em: <<http://www.kapaz.com.br>>. Acesso em: 03 dezembro 2001.

KESSLER, T. Utilização de Gás Metano de Aterros Sanitários: Recomendações para seu aproveitamento prático. **Revista Engenharia**. São Paulo, n. 54, 2000. p.12-13.

KNIJNIK, R. et. al. **Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre: DMAE,1994. 309 p.

LEITE, V.D.; POVINELLI, J.; VAZQUZ, V.R.C. **Modelos de bioconversão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto sanitário**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19., Foz de Iguaçu, 1997. **Trabalhos Técnicos digital 97**. 6 p. **CD-ROM**

LIMA, L. M. Q. **Lixo - Tratamento e Biorremediação**. 3. ed., 1995.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment disposal reuse**. 3 ed. New York: Mc Graw-Hill, 1991. p. 765-915.

MOTTA, F. S. **Produza sua energia – biodigestores anaeróbios**. Recife: Gráfica Editora, 1986. 144 p.

OLIVEIRA, L. B. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa**. 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Coodenação de Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIRES, I. M. **Diagnóstico do setor de saneamento: estudo econômico e financeiro**. In: Aliança Pesquisa e Desenvolvimento. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana/IPEA, Brasília, 1995.

RYDERGREN, Anders. SWECO (2000). Disponível em: <anders.rydergren@sweco.se> em: 24 novembro 2000.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Ed. Vértice, 1986. cap.3, p. 46-64.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Série Seminários & Debates. In: **Resíduos sólidos e o meio ambiente**, São Paulo, 1993.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **A cidade e o Lixo**. São Paulo, 1998a.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Documentos Ambientais. In: **Propostas de Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos**, São Paulo, 1998b.

SCHNEIDER, V. E. **Estudos do processo de geração de resíduos sólidos domésticos na cidade de Bento Gonçalves - R.S.** 1994, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SECRETARIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS.
SERHO (2001). Disponível em: [http://www.recursos hidricos.sp.gov.br](http://www.recursos_hidricos.sp.gov.br).>. Acesso em: 5 novembro 2001.

SILVA, N. A. et al. **Diagnóstico do saneamento**. Monografia de especialização no curso de Pós-Graduação em Planejamento Energético e Ambiental – CEPEA, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO S/A - SANASA.
Programa de obras do sistema de esgotos sanitários. Campinas, jul. 2001a.

SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO S/A – SANASA. **Dados coletados do grupo de trabalho para gestão energética – GTGE - SANASA**. Campinas, set. 2001b.

SODRÉ, M.G. Consumo, Lixo e Meio Ambiente. In: Consumo e Globalização. São Paulo: Edição Especial Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1997.

SOUZA JR, J.A. et al. Globalização, indústria de eletricidade e desenvolvimento sustentável. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria, Políticas e Gestão de Espaços**. Campinas: Oficinas Gráficas da UNICAMP, IE/UNICAMP, Editora Juarez de Oliveira, 1999. p. 163-206.

SPIRN, A. W. **O Jardim de granito**. São Paulo: Edusp, 1995. 345 p.

STREB, C.S. **A coleta informal de lixo no município de Campinas – SP: uma análise na perspectiva das questões energéticas e da qualidade de vida**. 2001. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TCHOBANOGLIOUS, THEISEN & ELIASSEN. **Desechos solidos**. 1982, v.1.

TCHOBANOGLIOUS, THEISEN & ELIASSEN. **Integrated solid waste management**. 1993.

TEIXEIRA, E. N. **Efeito inibidor da recirculação direta do chorume na decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos**. 1993. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

TSUTIYA, Milton. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **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, 1996. 67 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA.

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, 1997a.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Feasibility assessment for gas-to-energy at landfills in São Paulo – Brazil.** Public review draft, USEPA – Methane Branch, Washington, 1997b.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Energy project landfill gas utilization software (E-Plus).** E-Plus user's manual prepared by International United States Environmental Protection Agency, Atmospheric Pollution Prevention Division, 1997c.

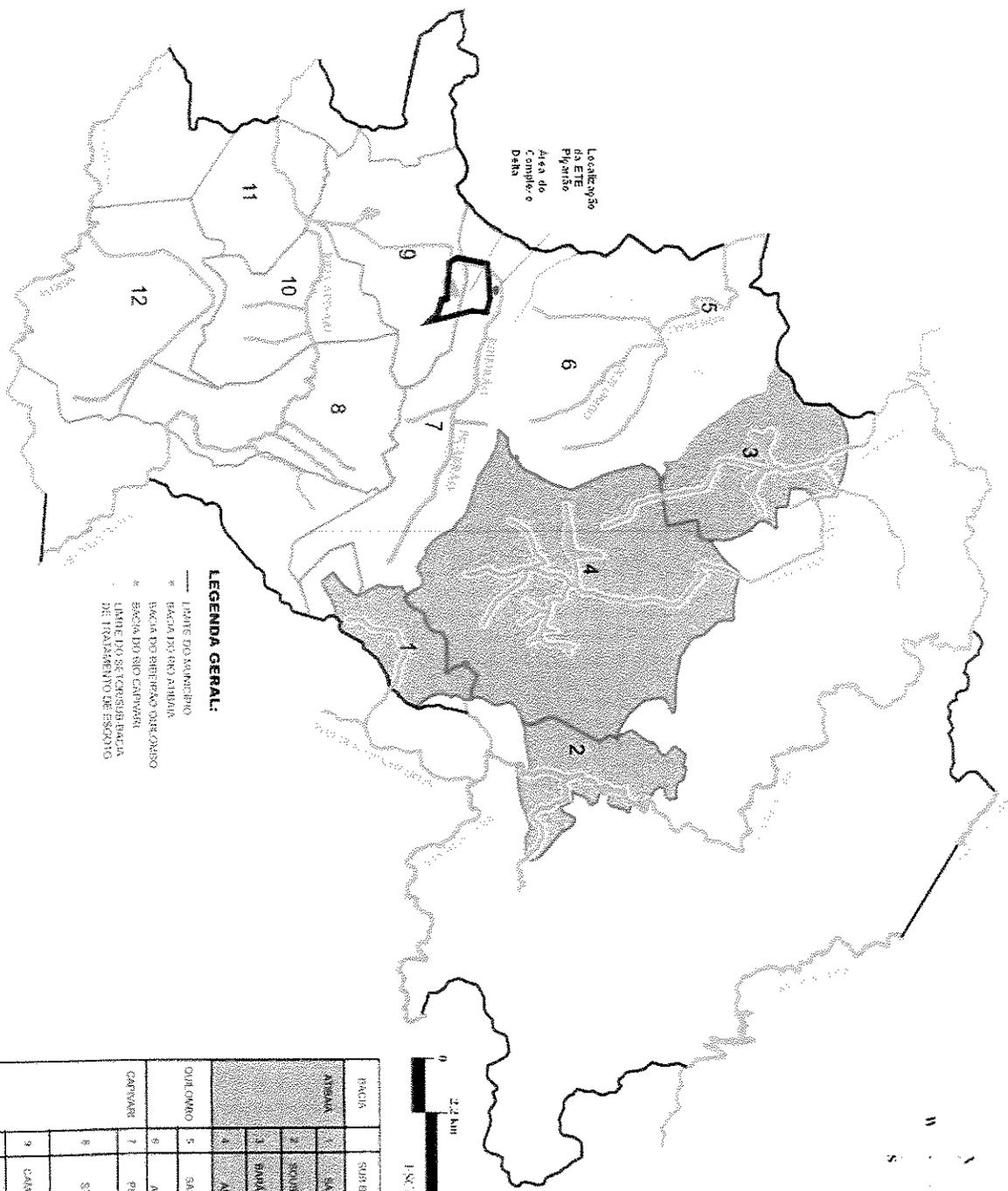
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. LMOP/USEPA (2001). Disponível em: <<http://www.epa.gov/lmop>>. Acesso em: 25 julho 2001

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Workshop Internacional de Geração de eletricidade com gás de lixo em São Paulo.** Cópias de materiais das apresentações e apostilas relatados no evento, CETESB/SMA/Consulado Americano, São Paulo, jun. 2001.

VEIGA, J. E. Valorização econômica dos elementos do meio ambiente In: SÃO PAULO (Estado) SMA. **Contabilização econômica do meio ambiente:** elementos metodológicos e ensaios de aplicação no Estado de São Paulo. São Paulo, 1992. p. 45-61.

VELT et. al. **Avaliação dos custos e benefícios no aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12., 1983, Balneário Camboriú.

Anexo I - Mapa de Campinas com a localização do Complexo Delta



Localização da ETE Piquiri Área do Complexo Delta

LEGENDA GERAL:

- LIMITE DO MUNICÍPIO
- * BACIA DO RIO ARIBARA
- * BACIA DO RIBEIÃO DURENONO
- * BACIA DO RIO CAPIVARI
- * LIMITE DO SETOR SUB-BACIA DE TRATAMENTO DE ESGOTO



ETE Piquiri
Área de influência do Complexo Delta
Distância - 800 metros

| BACIA | SUB-BACIA/SETOR | ESTABELECIMENTO DE TRATAMENTO SANITÁRIO | POPULAÇÃO HABITANTES | VACUO MÉDIA (l/s) | % |
|-------|-----------------------|--|----------------------|-------------------|------|
| AMABÁ | 1 SAMARITANA | SAMARITANA | 39.302 | 96 | 3,6 |
| | 2 SÃO JOSÉ / PIRACEMA | SAN JOSÉ / PIRACEMA | 0.478 | 7 | 2,8 |
| 3 | SANJOSE DE PARANÁ | BARRIO DO CARVALHO | 23.200 | 109 | 2,7 |
| 4 | ANHILAUAS | ANHILAUAS | 248.988 | 1.041 | 26,6 |
| 5 | SAN MARTIN | SAN MARTIN | 4.136 | 12 | 0,4 |
| 6 | AMABÁS | STA. MARGARIDA GRANDES COLÍCI | 25.947 | 65 | 7,3 |
| 7 | PIRACEMA | PIRACEMA | 208.488 | 440 | 15,6 |
| 8 | STA. LUCIA | STA. LUCIA BRASILEIRAS LIMONIA MERCEDÉS | 133.322 | 219 | 19,5 |
| 9 | CAMPUS GRANDE | UNIVERSIDADE FLORIANE | 13.309 | 39 | 4,8 |
| 10 | OURO VERDE | OURO VERDE | 64.417 | 296 | 10,0 |
| 11 | FREI BERNARDO | MARIA TRAIAD | 6.647 | 33 | 2,5 |
| 12 | VIRACOPLOS | VIRACOPLOS | 30.009 | 39 | 1,2 |

CAMPINAS E SEU PLANO DIRETOR DE TRATAMENTO DOS ESGOTOS (SETORES / SUB-BACIAS)

Anexo II - Esquema Geral das Bacias Naturais do município de Campinas (Cenário 1996/2020)

BACIA DO RIO ATIBAIA

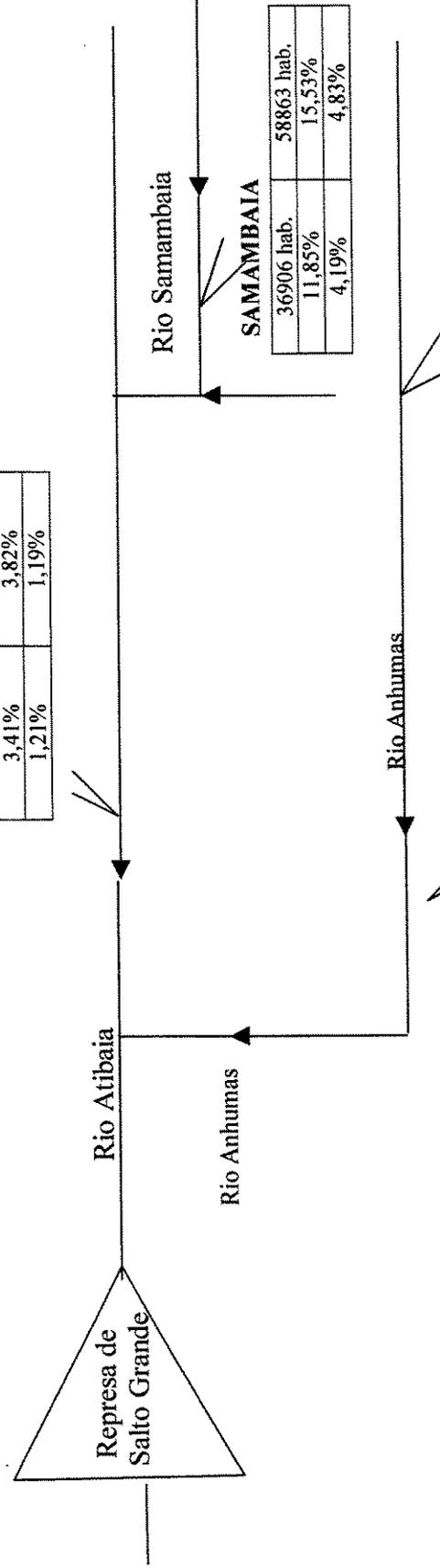
SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO - PROGRAMA DE OBRAS

CENÁRIO 1996/ 2000

ESQUEMA DOS SISTEMAS PROPOSTOS

SOUSAS – JOAQUIM EGÍDIO

| | |
|------------|------------|
| 10619 hab. | 14495 hab. |
| 3,41% | 3,82% |
| 1,21% | 1,19% |



SAMAMBAIA

| | |
|------------|------------|
| 36906 hab. | 58863 hab. |
| 11,85% | 15,53% |
| 4,19% | 4,83% |

BARÃO GERALDO

| | |
|-----------|-----------|
| 22727 hab | 25739 hab |
| 7,30% | 6,80% |
| 2,58% | 2,11% |

ANHUMAS/S. CÂNDIDA/C. SILVA

| | |
|-------------|-------------|
| 241281 hab. | 280031 hab. |
| 77,44% | 73,85% |
| 27,39% | 22,98% |

LEGENDA:

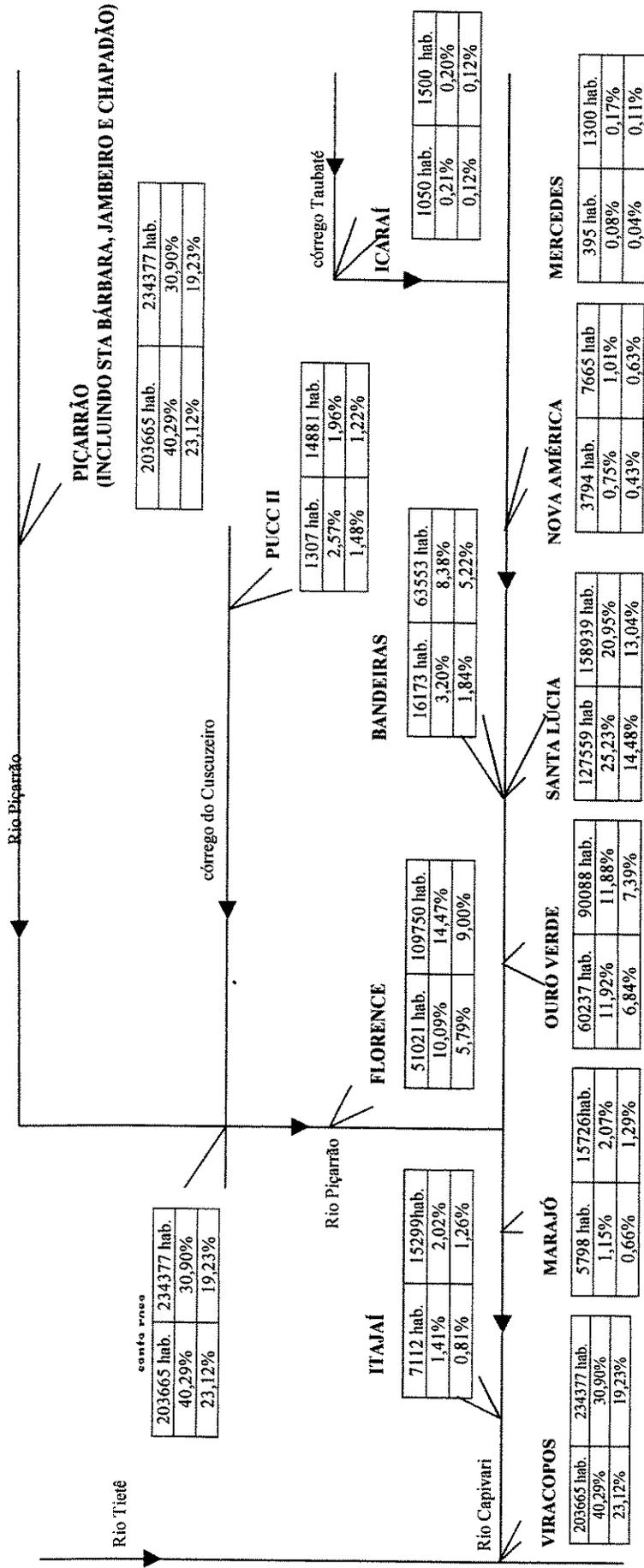
| | |
|--|--|
| Nome da bacia | |
| Populações totais por sistema 1996 e 2020 | |
| Percentual relativo a populações total por bacia | |
| Percentual relativo a população total do sistema integrado | |

NOTAS:
 * POPULAÇÃO TOTAL DA ÁREA DE PLANEJ. DO SISTEMA INTEGRADO:
 ** 1996 = 880.872 hab.
 ** 2020 = 1.218.568 hab.
 ** 1996 = 311.533 hab. (35,37%)
 ** 2020 = 379.128 hab. (31,11%)

* POPULAÇÃO TOTAL DO SISTEMA INTEGRADO NA BACIA

SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO - PROGRAMA DE OBRAS
ESQUEMA DOS SISTEMAS PROPOSTOS

BACIA DO RIO CAPIVARI
CENÁRIO 1996/ 2000



LEGENDA:

| Nome da bacia |
|--|
| Populações totais por sistema 1996 e 2000 |
| Percentual relativo a populações total por bacia |
| Percentual relativo a população total do sistema integrado |

NOTAS:

* POPULAÇÃO TOTAL DA ÁREA DE PLANEJ. DO SISTEMA INTEGRADO:

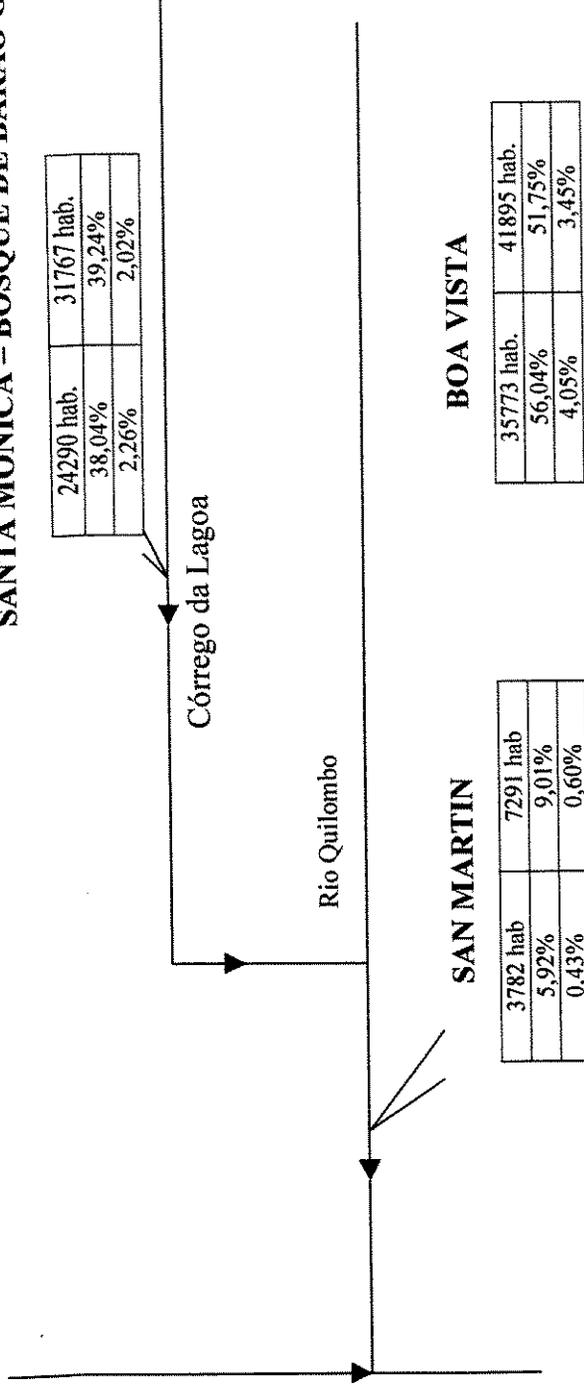
* POPULAÇÃO TOTAL DO SISTEMA INTEGRADO NA BACIA

** 1996 = 880.872 hab.
** 2020 = 1.218.568 hab.
** 1996 = 505.494 hab. (57,38%)
** 2020 = 758.487 hab. (62,24%)

SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO - PROGRAMA DE OBRAS
ESQUEMA DOS SISTEMAS PROPOSTOS

BACIA DO RIBEIRÃO QUILOMBO
CENÁRIO 1996/2000

SANTA MÔNICA – BOSQUE DE BARÃO GERALDO



| | |
|------------|------------|
| 24290 hab. | 31767 hab. |
| 38,04% | 39,24% |
| 2,26% | 2,02% |

| | |
|----------|----------|
| 3782 hab | 7291 hab |
| 5,92% | 9,01% |
| 0,43% | 0,60% |

| | |
|------------|------------|
| 35773 hab. | 41895 hab. |
| 56,04% | 51,75% |
| 4,05% | 3,45% |

LEGENDA:

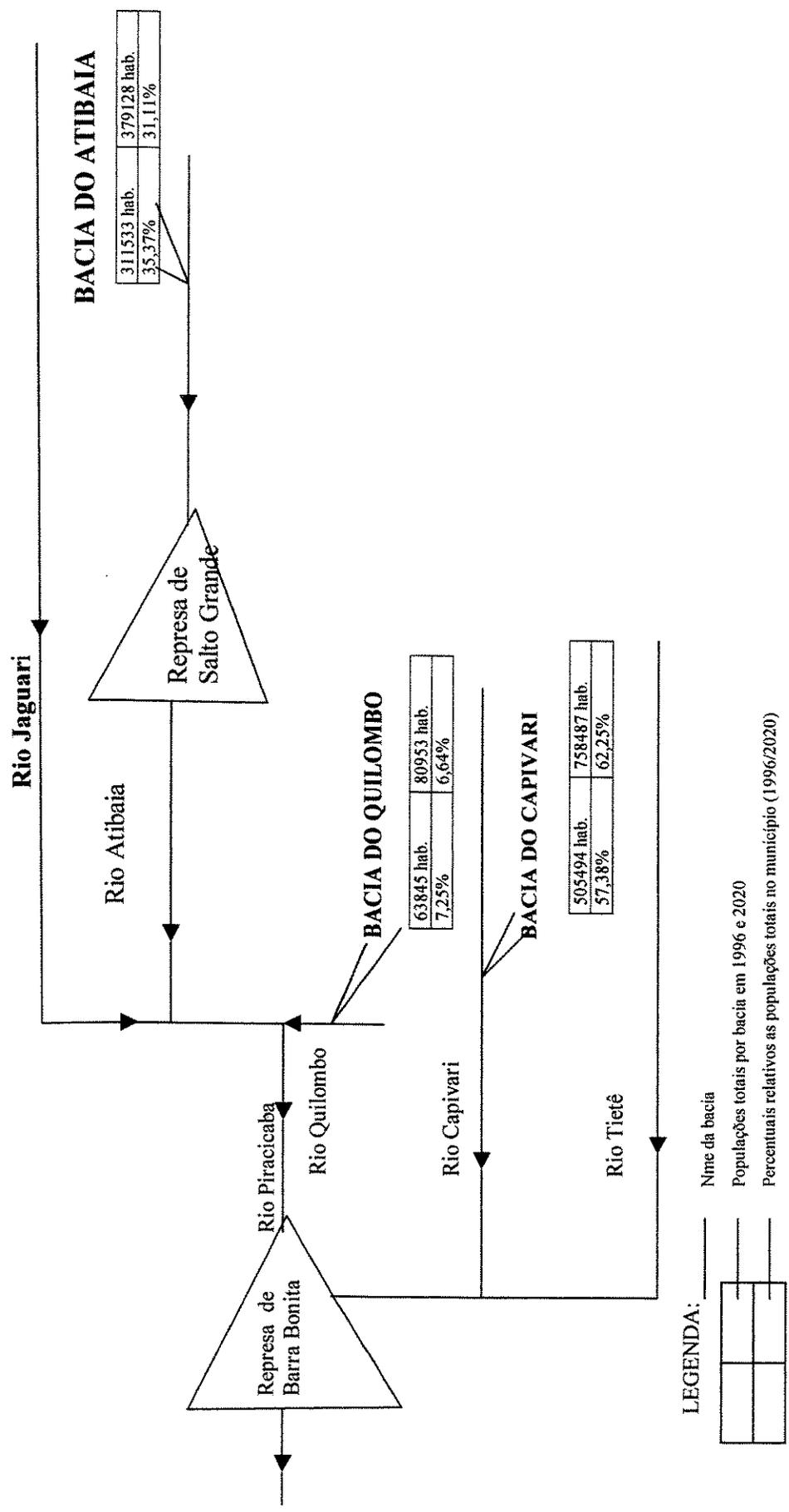
| Nme da bacia |
|--|
| Populações totais por sistema 1996 e 2020 |
| Percentual relativo a populações total por bacia |
| Percentual relativo a população total do sistema integrado |

** 1996 = 880.872 hab.
** 2020 = 1.218.568 hab.
** 1996 = 63.845 hab. (7,25%)
** 2020 = 80.953 hab. (6,64%)

NOTAS:
* POPULAÇÃO TOTAL DA ÁREA DE PLANEJ. DO SISTEMA INTEGRADO:

* POPULAÇÃO TOTAL DO SISTEMA INTEGRADO NA BACIA

**ESQUEMA GERAL DAS BACIAS NATURAIS DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS
CENÁRIO 1996/2020**



LEGENDA:

| | |
|---|---|
| — | Nome da bacia |
| — | Populações totais por bacia em 1996 e 2020 |
| — | Percentuais relativos as populações totais no município (1996/2020) |

NOTAS:
 * POPULAÇÃO TOTAL DA ÁREA DE PLANEJ. DO SISTEMA INTEGRADO:
 ** 1996 = 880.872 hab.
 ** 2020 = 1.218.568 hab.

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

set/01

| LOCAL | META KWH | CONSUM. KWH | ECON. % |
|---|----------------|----------------|--------------|
| RESULTADO FINAL TARIFA AZUL 09/2001 | 4852914 | 4386880 | 9,60 |
| ETE SAMAMBAIA | 367612 | 249922 | 32,01 |
| RESULTADO FINAL CRDs EM A4 09/2001 | 508261 | 430277 | 15,34 |
| RESULTADO FINAL BOOSTERS 09/2001 | 10138 | 8526 | 15,90 |
| RESULTADO FINAL CRDs BT 09/2001 | 111432 | 89259 | 19,90 |
| RESULTADO FINAL 09/2001 - EEEs | 267390 | 25792 | 3,54 |
| RESULTADO FINAL ETEs BT - 09/2001 | 26264 | 25755 | 1,94 |
| RESULTADO FINAL MACROS - 09/2001 | 356 | 348 | 2,15 |
| RESULTADO FINAL OP. - 09/2001 | 19588 | 12879 | 34,25 |
| RESULTADO FINAL POÇOS ARTESIANOS - 09/2001 | 7274 | 6781 | 6,78 |
| RESULTADO FINAL PROTEÇÃO CATÓDICA - 09/2001 | 1749 | 1886 | -7,82 |
| RESULTADO FINAL RESERVATORIOS - 09/2001 | 7048 | 7493 | -6,31 |
| RESULTADO FINAL OPERACIONAL 092001 | 5939375 | 5245798 | 11,68 |
| TOTAL GERAL OPERACIONAL | 5939375 | 5245798 | 11,68 |

LEGENDA:

TARIFA AZUL: São as captações e as ETAs 1, 2, 3 e 4

CRDs: Centros de Reservação e Distribuição

EEEs - Estações Elevatórias de Esgoto

MACROS - Macromedidores de vazão

Op. - Unidades de apoio operacional

1) ESTRATÉGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (Ainda em elaboração pelo Grupo de Trabalho para Gestão Energética - GTGE-- SANASA)

| TRABALHO | ANDAMENTO | EXECUT. |
|---|-------------------------------------|-------------------------|
| Elaboração de planilha de dados de contas de energia | Executado e em andamento constante | GTGE |
| Análise de dados coletados | Executado e em andamento constante | GTGE |
| Renegociação de contratos com a concessionária | Em negociação constante | GTGE |
| Cortes de excedentes: Iluminação e Ar condicionado | Executado e em observação constante | GTGE |
| Controle de Perdas: | | |
| . Instalação de inversores | Em andamento | G. Automação Pitometria |
| . Instalação de Valv. Redutoras de Pressão | Executado e em andamento | G. Automação Pitometria |
| . Instalação de PIMASAs(Contr. Inteligente) | Em andamento | G. Automação Pitometria |
| . Pontos de supervisão de pressão (adutoras) | Em andamento | G. Automação Pitometria |
| . Análise de desempenho de bombas | Execução constante | G. Automação Pitometria |
| Compra e instalação de Equipamentos de Gerenciamento de Energia | Em andamento | GTGE |
| Avaliação de Tecnologias de Geração de Energia | Em andamento | GTGE |

2) Custo mensal, estimado, de energia elétrica para as futuras ETEs quando em funcionamento pleno, a preços de energia elétrica atualizados (US\$ 2,60).

ETE PIÇARRÃO:

| | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|-----------|
| Demanda Ponta | 2400 kVA x 16,252 R\$ | 39.004,80 | Demanda F. Ponta | 2400 |
| kVA x 5,4145 R\$ | 12,994,80 | Consumo Ponta | 216000 kWh x 0,1066684 R\$ | 23.040,37 |
| | Consumo F. Ponta | 1.512.000 kWh x 0,050728 R\$ | 76.700,74 | |
| | | ~ | 151.740,71 | |
| TOTAL | | | | |

ETE ANHUMAS:

| | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|-----------|
| Demanda Ponta | 3500 kVA x 16,252 R\$ | 56.882,00 | Demanda F. Ponta | 3500 |
| kVA x 5,4145 R\$ | 18.950,75 | Consumo Ponta | 315000 kWh x 0,1066684 R\$ | 33.600,55 |
| | Consumo F. Ponta | 2.205.000 kWh x 0,050728 R\$ | 111.855,24 | |
| | | ~ | 221.288,54 | |
| TOTAL | | | | |

SANASA ENERGIA ELÉTRICA

GRÁFICO II
CONSUMO MENSAL

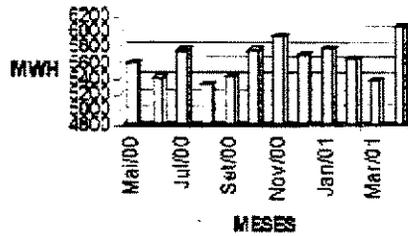
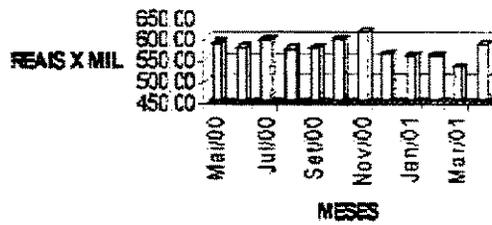
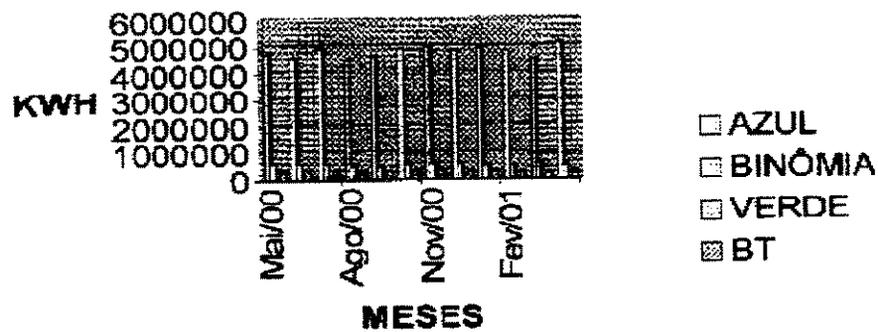


GRÁFICO III
CONSUMO MENSAL X REAIS



CONSUMO POR FATURAMENTO

CONSUMO DE ENERGIA



GASTOS COM ENERGIA EM REAIS

