

# MANUAL PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS VOLUME 1 - ATERROS SANITÁRIOS



---

# Manual para Aproveitamento de Biogás

## Volume 1 - Aterros Sanitários

Realização



Parceria



Patrocínio



ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade

Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

Bibliografia

ISBN: 978-85-99093-06-1

Copyright © ICLEI- Governos Locais pela  
Sustentabilidade, Secretariado para  
América Latina e Caribe (LACS)  
Todos os Direitos Reservados

### **Realização**

ICLEI - Brasil

### **Parceria**

ICLEI - Estados Unidos

### **Patrocínio**

EPA - United States Environmental Protection  
Agency

Reeep - Renewable Energy & Energy  
Efficiency Partnership

### **EQUIPE**

#### **Coordenação Geral**

Laura Valente de Macedo

#### **Assessoria de Projeto**

Guilherme Johnston

#### **Coordenação de Conteúdo**

Véssia Maria Cordaro

#### **Consultoria e Redação Técnica**

Patrícia Totti e Vanessa Pécora

#### **Revisão**

Fabiana Barbi  
Patrícia Kranz

#### **Diagramação**

Eduardo Nojiri

#### **Impressão**

Improta Gráfica

Créditos das fotos de capa: Creative Commons, Alves & Filho (2009) e Secretaria do Verde e Meio Ambiente de São Paulo.

# Sumário

1.	CENÁRIO DAS MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA.....	13
1.1.	Aquecimento Global: um desafio para todos.....	13
1.2.	Acordos internacionais .....	16
2.	CENÁRIO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL .....	17
3.	CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	23
3.1.	Oferta e demanda de energia no Brasil.....	23
4.	ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS GERADO EM ATERROS .....	27
4.1.	Sistema para extração e tratamento do biogás do aterro .....	27
4.2.	Sistema de queima em flares.....	30
4.3.	Alternativas para uso do biogás .....	30
4.3.1.	Geração de ENERGIA ELÉTRICA.....	31
4.3.1.1.	Motores Ciclo Otto.....	31
4.3.1.2.	Microturbinas a gás .....	32
4.3.2.	Geração de energia térmica.....	33
4.3.2.1.	Ciclo a vapor Rankine .....	34
4.3.2.2.	Evaporador de chorume.....	35
4.3.3.	Produção de combustível veicular .....	36
4.3.4.	Iluminação a gás .....	37
4.3.5.	Conclusões.....	38
5.	ESTUDOS DE CASO.....	39
5.1.	Aterro municipal de Santo André.....	39
5.1.1.	Visão geral .....	39
5.1.2.	Determinação do potencial de geração de biogás .....	40
5.1.3.	Projeto conceitual e pré-cálculo do sistema de extração de biogás .....	43
5.1.4.	Alternativas de aproveitamento do biogás .....	44
5.1.5.	Análise de viabilidade econômica .....	44
5.1.5.1.	Alternativa 1a: Queima em flare com venda de créditos de carbono.....	44
5.1.5.2.	Alternativa 1b: Queima em flare sem venda de créditos de carbono.....	46
5.1.5.3.	Alternativa 2a: Utilização do biogás para a geração de energia	

em pequena central elétrica com venda de créditos de carbono .....	46
5.1.5.4. Alternativa 2b: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica sem venda de créditos de carbono .....	46
5.1.5.5. Alternativa 3a: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbinas com venda de créditos de carbono.....	46
5.1.5.6. Alternativa 3b: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbina sem venda de créditos de carbono.....	47
5.1.5.7. Utilização do biogás para o tratamento do chorume.....	47
5.1.5.8. Utilização do biogás como combustível para os caminhões de coleta de lixo.....	47
5.1.5.9. Utilização do biogás para iluminação a gás .....	47
5.1.6. Indicação do sistema tecnicamente viável .....	48
5.2. Aterro Municipal de Campinas (Delta A) .....	48
5.2.1. Visão geral .....	48
5.2.2. Determinação do potencial de produção de biogás .....	49
5.2.3. Projeto conceitual e pré-cálculo do sistema de extração de biogás .....	52
5.2.4. Alternativas de aproveitamento do biogás .....	53
5.2.5. Análise de viabilidade econômica .....	53
5.2.6. Alternativa 1a: Queima em flare com venda de créditos de carbono.....	55
5.2.6.1. Alternativa 1b: Queima em flare sem venda de créditos de carbono.....	55
5.2.6.2. Alternativa 2a: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica com venda de créditos de carbono .....	55
5.2.6.3. Alternativa 2b: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica sem venda de créditos de carbono .....	56
5.2.6.4. Alternativa 3a: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbinas com venda de créditos de carbono.....	56
5.2.6.5. Alternativa 3b: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbina sem venda de créditos de carbono.....	56
5.2.6.6. Utilização do biogás para o tratamento do chorume.....	56
5.2.6.7. Utilização do biogás na frota do aterro.....	57
5.2.6.8. Utilização do biogás para iluminação a gás .....	57
5.2.7. Indicação do sistema tecnicamente viável .....	58
6. PASSO A PASSO .....	59
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73

---

## PREFÁCIO

O desenvolvimento da civilização ocidental tem nas cidades sua expressão mais explícita. Além de serem centros de uma florescente atividade econômica e cultural, as cidades concentram graves problemas sociais e ambientais que se multiplicam na mesma proporção, à medida que atingimos patamares de consumo perigosos para a própria sobrevivência da espécie humana. Apresenta-se agora um novo e premente desafio: viver dentro dos limites do Planeta.

De acordo com dados das Nações Unidas, no ano de 2007 atingimos um marco emblemático referente à população mundial urbana. Pela primeira vez, uma em cada 2 pessoas vive em cidades. Entre 2005 e 2030, a população das cidades deve crescer em uma média anual de 1,78% ao ano, quase o dobro do crescimento esperado para a população mundial como um todo. Esse aumento da população urbana – que se acelerou nos últimos 50 anos graças às inovações tecnológicas na área da saúde e da produção de alimentos – deverá ocorrer principalmente nos países em desenvolvimento. O reverso da moeda é que esse crescimento vem atrelado a uma desigualdade aguda: um indivíduo que faz parte de 4% da população mundial nos Estados Unidos consome até 20 vezes mais do que seu semelhante na Índia, onde habitam 17% dos seres humanos. E assim atingimos outro marco importante: o Planeta hoje ultrapassou sua capacidade de suporte para atender o padrão de consumo que a humanidade demanda ou almeja. Ao mesmo tempo, enfrentamos a maior crise ambiental deste século: as mudanças climáticas resultantes do aquecimento global, devido à elevada concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera em consequência do modelo de desenvolvimento baseado na queima de combustíveis fósseis, inaugurado pela era industrial no século XVIII.

Diante desse quadro, é preciso repensar nosso estilo de vida e o desenvolvimento de nossas sociedades, hoje concentrado em centros urbanos, levando em consideração os limites da Terra, para a presente e as futuras gerações. A responsabilidade de ação imediata é de todos e de cada um de nós.

As cidades têm um importante papel nesse grande Plano de reversão do aquecimento global exacerbado pelos insustentáveis padrões de consumo da humanidade. São inúmeros os problemas, assim como as respostas necessárias para enfrentá-los, na esfera da administração municipal. A disposição final dos resíduos sólidos urbanos, competência do município constitui um dos principais entraves à sua sustentabilidade. Os novos hábitos de consumo aliados ao crescimento populacional e às melhorias na situação econômica do pós-guerra causaram um aumento vertiginoso na geração de resíduos. Dentre as soluções, os aterros sanitários, respeitadas as normas ambientais, são uma alternativa viável para reduzir os impactos decorrentes da disposição sem controle de resíduos nos países em desenvolvimento, principalmente aqueles com grande extensão territorial e densidade populacional mais baixa.

No Brasil, grande parte dos resíduos sólidos ainda é descartada sem nenhuma forma de tratamento. Despejos clandestinos estão presentes na maioria dos municípios e os aterros verdadeiramente sanitários são poucos. Além dos diversos impactos ambientais locais e sobre a saúde e qualidade de vida dos cidadãos, os resíduos sólidos urbanos sem disposição adequada consistem uma fonte significativa das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ). Embora sua presença seja menor na atmosfera, o metano é um dos principais gases causadores do efeito estufa, cujo poder de aquecimento global é 21 vezes mais maior que o do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

Mesmo os aterros sanitários controlados contribuem para o aquecimento global devido à persistente geração do metano decorrente da decomposição dos resíduos sólidos. Por isso, ações de combate à emissão de metano são tão importantes no âmbito do combate global contra os malefícios causados pelas mudanças climáticas.

O esforço do poder público local é fundamental para modificar essa situação, mas é preciso uma ação concertada entre os diferentes níveis de governo e demais atores sociais para garantir um resultado consistente, que inclua mudança de comportamento e gestão eficiente. No âmbito da administração municipal, instrumentos de gestão podem se tornar aliados poderosos para reduzir as emissões desses gases.

Essa publicação apresenta aos municípios brasileiros algumas ferramentas que possibilitam a implementação de medidas que reduzam a emissão do metano gerado em aterros sanitários e contribuam para a geração de energia a partir do biogás produzido nos aterros. Temos assim um duplo ganho: transformar lixo em energia é uma forma de melhorar o saneamento das cidades, e uma excelente solução para combater as mudanças climáticas, reduzindo as emissões de metano e proporcionando uma fonte de energia renovável. São poucos os exemplos no Brasil de aterros sanitários que já estão gerando energia a partir do biogás, e ainda conseguindo obter créditos de carbono a partir da redução da emissão de metano, mas o potencial de aumento da atividade é muito grande.

Este Manual, realizado no âmbito do projeto “Parceria Metano para Mercados” (M2M Partnership) liderado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), pretende contribuir para que os municípios transformem esse desafio em uma oportunidade de melhora de qualidade de vida para seus cidadãos, ao mesmo tempo participando do esforço mundial de proteção ao clima.

Desse modo, esperamos que a partir desse Manual, as experiências de sucesso dos governos locais que transformam resíduos sólidos em energia constituam a norma, e não apenas exceção à regra. As experiências relatadas neste Manual demonstram ser possível o engajamento dos governos locais brasileiros no efetivo combate às mudanças climáticas, contribuindo para a necessária redução das emissões do metano em aterros sanitários municipais.

Laura Valente de Macedo  
*Diretora Regional para América Latina e Caribe*  
ICLEI - LACS

Guilherme Johnston  
*Assessor de Projetos*  
ICLEI Brasil

---

## INTRODUÇÃO

O público a que esta obra se destina é formado principalmente por gestores municipais, que lidam a cada dia com os desafios de buscar soluções ambientalmente amigáveis, socialmente justas e economicamente viáveis para melhorar a qualidade de vida nas cidades. Entretanto, esperamos que também possa ser útil aos interessados na ação local como forma de proteção aos bens comuns globais, tais como a atmosfera, o solo e água. Trata-se de um “retrato instantâneo” da situação no Brasil, mas que também indica caminhos possíveis para se mudar essa realidade para uma bem melhor, onde muitos podem sair ganhando.

Este manual apresenta, de forma objetiva e prática, informações essenciais para que os gestores municipais percebam o potencial e as inúmeras vantagens da implantação de sistemas que possibilitem o aproveitamento energético do biogás, gerado em aterros sanitários ou controlados.

A publicação é resultado de um projeto do ICLEI- Governos Locais pela Sustentabilidade, patrocinado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), no âmbito de seu programa “Methane to Markets Partnership”, ou M2M, que visa estimular, em todo o mundo, a implantação de projetos de aproveitamento do metano, não somente para reduzir as emissões deste gás, um dos mais potentes causadores do efeito estufa, e conseqüentemente do aquecimento global, mas também para aproveitar seu elevado potencial energético na geração de energia limpa, uma vez que é continuamente produzido nos inúmeros aterros de resíduos sólidos urbanos pelo Brasil afora.

O programa Methane to Markets teve início em 2004 com a participação de 14 países, incluindo parceiros do setor público e privado, sob a coordenação do EPA (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos. Esta iniciativa visa promover internacionalmente a recuperação e uso do metano, como uma fonte de energia limpa e renovável, nos seguintes setores: resíduos sólidos, agricultura, minas de carvão e exploração de óleo e gás. Para tanto, o Programa “Methane to Markets” reúne profundo conhecimento das tecnologias disponíveis para recuperação e uso do metano, Marketing e também de financiamento de projetos em todo o mundo.

As metas desse programa são de promover a redução de de 180 MMTCO<sub>2e</sub> até o ano 2014 (10 anos após seu início).

O manual está estruturado em 7 capítulos, a saber:

O Capítulo 1 – *Cenário das Mudanças Globais do Clima* apresenta uma breve introdução sobre a problemática das mudanças globais do clima, com suas causas, conseqüências e acordos internacionais para tentar minimizá-las. A relação entre mudanças climáticas e o gerenciamento de resíduos sólidos vai além do óbvio: as emissões de metano são apenas um sintoma de como nossa sociedade consome e desperdiça recursos naturais de forma insustentável. Entretanto, a proposta de gerar energia desse gás acaba sendo uma solução para várias questões, como saneamento, geração de renda, redução de pobreza e mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

No Capítulo 2 – *Cenário dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil* apresenta-se uma visão geral sobre a situação atual dos resíduos sólidos urbanos, sua geração, coleta, composição, formas de tratamento e destinação final, evidenciando os impactos ambientais, sociais e econômicos da sua disposição no solo, seja em aterros sanitários, controlados em lixões a céu aberto, incluindo o problema da contínua emissão de biogás para a atmosfera. Nesse capítulo fica mais evidente que se trata de um problema cuja solução requer abordagem integrada.

Em seguida, fechando a contextualização deste trabalho, o Capítulo 3 – *Cenário Energético Brasileiro* – apresenta dados importantes sobre a matriz energética brasileira e a participação das diferentes fontes de energia, a evolução da oferta e da demanda de energia, evidenciando a necessidade de se ampliar o uso de energias renováveis no país. Atendendo a proposta do projeto M2M, busca-se destacar o aspecto do resíduo como recurso, ou seja, do uso do metano como fonte de energia renovável.

As propostas para abordagem do problema de modo a encará-lo como uma oportunidade são descritas no Capítulo 4 – *Alternativas para o uso de Biogás Gerado em Aterros*. São apresentadas resumidamente as alternativas para aproveitamento do biogás gerado em aterros de resíduos sólidos urbanos, com suas respectivas características, vantagens, desvantagens e ordem de grandeza dos investimentos.

Visando à aplicação dessa abordagem, foram realizados estudos técnicos em dois municípios paulistas. No Capítulo 5 – *Síntese dos Estudos de Caso* – apresenta-se um resumo desses estudos com as prefeituras de Santo André e de Campinas, participantes do projeto M2M. As informações coletadas, bem como o intercâmbio com os técnicos dos aterros avaliados nortearam a busca das alternativas apresentadas no capítulo anterior, e que poderão servir como referência para municípios semelhantes.

A partir das lições aprendidas, o manual apresenta em seu Capítulo 6 – *Passo a Passo* – uma sistematização do resultado do trabalho, ordenando em 7 passos tudo o que o gestor necessita saber para analisar o potencial e implementar um projeto para aproveitar o biogás gerado em seus aterros de resíduos sólidos urbanos.

Este trabalho terá continuidade com um estudo semelhante sobre o aproveitamento do biogás gerado no tratamento de efluentes, no âmbito de um projeto patrocinado pela Parceria de Energia Renovável e Eficiência Energética – REEEP.

---

## Agradecimentos

O ICLEI-LACS agradece o apoio da Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (US-EPA) por meio da Parceria Metano para Mercados (M2M) e o suporte financeiro ao Projeto M2M-Brasil, que resultou nesta publicação e ao REEEP (Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership). Agradecemos ainda ao ICLEI - Estados Unidos, parceiro na implementação do projeto.

Aos municípios de Campinas, por meio de sua Secretaria de Serviços Públicos e de Santo André, por meio do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental (SEMASA), por terem participado ativamente do projeto e apoiado a coleta de dados e informações necessárias para a elaboração dos estudos de casos. E ao município de São Carlos pela acolhida e interesse em participar do projeto.

Ao projeto Comunidades-Modelo em Energias Renováveis Locais (Rede Elo) do ICLEI, pela parceria durante a execução do projeto e durante a realização do *Seminário Eficiência Energética e Energias Renováveis em Cidades Brasileiras*, realizado em Porto Alegre, em setembro de 2009.

À Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio de sua Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, pela contribuição ao conteúdo deste guia e seu apoio ao escritório de projetos para o Brasil do ICLEI.

Essa publicação não poderia ter sido realizada sem o envolvimento das seguintes pessoas:

- Margarita Maria Parra Cobaleda, cujo empenho para que o Projeto M2M-Brazil fosse executado pelo ICLEI-LACS foi fundamental.
- Professor Garcia, Secretário Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre e a equipe da SMAM, por facilitarem a realização do *Seminário Energias Renováveis e Eficiência Energética em Cidades Brasileiras* onde os resultados do Projeto M2M-Brasil foram apresentados.
- Christopher Godlove e Victoria Ludwig, da Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA) pelo constante suporte durante o desenvolvimento do projeto.
- Fábio Cardoso pelo apoio dado na obtenção dos dados do aterro municipal de Campinas.
- Iracélis Santos pela ajuda dispensada durante a execução do projeto em Santo André.
- João Wagner Alves da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) pelo auxílio na facilitação de informações sobre os aterros sanitários.
- Suani Teixeira do CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa) pelo suporte técnico sobre projetos de biogás.



# 1. CENÁRIO DAS MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA

O presente capítulo apresenta uma visão geral sobre a problemática das mudanças globais do clima, que preocupa governantes de todos os países e tem colocado em risco o equilíbrio e a vida no planeta.

## 1.1. Aquecimento Global: um desafio para todos

Nas duas últimas décadas, tornaram-se mais freqüentes as catástrofes relacionadas às mudanças globais do clima, tais como: maremotos, furacões, enchentes e desmoronamentos de grandes áreas causando mortes, doenças e prejuízos, não somente para as comunidades locais, mas também para o governo e as atividades econômicas, que despenderam tempo e dinheiro para tentar remediar os imensos estragos.

No entanto, quando essas catástrofes são noticiadas pelos meios de comunicação do país, nem sempre fica claro para o público quais as reais causas desses fenômenos e como eles poderiam ter sido evitados, ou como cada um pode contribuir, na prática, para evitar o agravamento do cenário atual.

Para auxiliar a compreensão das causas e conseqüências das mudanças globais do clima, a seguir serão apresentados alguns conceitos essenciais pertinentes ao tema.

Muitas pessoas utilizam indistintamente os termos “Efeito Estufa”, “Aquecimento Global” e “Mudanças Climáticas”, que embora estejam relacionados entre si, significam coisas diferentes.

O efeito estufa é um fenômeno natural e necessário, pelo qual parte do calor emitido pela superfície da Terra, em decorrência da incidência dos raios solares, fica retido nas camadas baixas da atmosfera, conservando uma faixa de temperatura adequada para manutenção da vida no planeta.

O aquecimento global é o resultado da intensificação do efeito estufa natural, ocasionado pelo significativo aumento das concentrações de “gases do efeito estufa” (GEE) na atmosfera, ou seja, gases que absorvem parte do calor que deveria ser dissipado, provocando aumento da temperatura média do planeta, conforme mostra a figura 1.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o gás responsável por mais da metade do aquecimento global. No entanto, existem outros gases que provocam o mesmo efeito, porém com intensidades maiores, expressas em toneladas equivalente de CO<sub>2</sub>, conforme apresentado na Tabela 1.

## EFEITO ESTUFA

**1** - A radiação solar atravessa a atmosfera. A maior parte da radiação é absorvida pela superfície da Terra e aquece-a.

**2** - Parte da radiação é refletida pelo planeta e atmosfera, de volta ao espaço.

**3** - Parte da radiação infravermelha é refletida pela superfície da Terra, mas ao invés de ser enviada ao espaço, ela é refletida novamente e absorvida pela camada de gases do efeito estufa que envolve o planeta. O efeito é o aquecimento do planeta.



Figura 1. Esquema do efeito estufa natural. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	PRINCIPAIS CAUSAS
CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)	1 x CO <sub>2</sub> e (referência)	Uso intensivo de combustíveis fósseis, aumento da ocorrência de queimadas e incêndios florestais, que provocam o aumento das emissões de CO <sub>2</sub> para a atmosfera; Redução das áreas florestadas, que absorvem e estocam o carbono atmosférico.
CH <sub>4</sub> (metano)	21 x CO <sub>2</sub> e	Degradação anaeróbica de material orgânico em aterros, estações de tratamento de efluentes, lagoas anaeróbicas com dejetos animais, além do processo digestivo de animais ruminantes (ex:gado bovino).
N <sub>2</sub> O (óxido de nitrogênio)	310 x CO <sub>2</sub> e	Queima de combustíveis fósseis, uso abusivo e incorreto de fertilizantes químicos no solo.
CFCs, HFCs, PFCs	140 x até 11.700 x CO <sub>2</sub> e	Sistemas de refrigeração e sprays aerossóis
SF <sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre)	22.500 x CO <sub>2</sub> e	Produzido industrialmente para uso principalmente pela indústria elétrica, como meio isolante e extintor de arco elétrico, tanto em disjuntores, como em sub-estações blindadas

Tabela 1. Principais Gases de Efeito Estufa, suas Origens e Potencial de Aquecimento Global. Fonte: IPCC 2007

A Figura 2 apresenta o histórico da concentração de dióxido de carbono e de metano na atmosfera entre 1976 e 2004, ficando evidente o significativo aumento das concentrações desses gases nas últimas décadas.

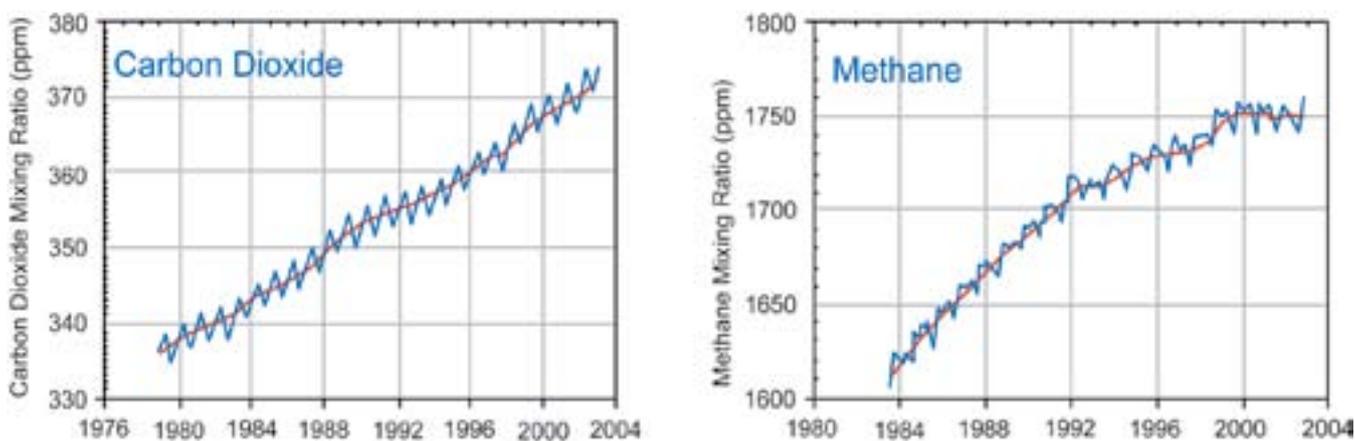


Figura 2. Histórico da concentração de dióxido de carbono e de metano na atmosfera. Fonte: IPCC, 2007a.

As mudanças globais do clima, por sua vez, são consequência do aquecimento global, pois com a elevação da temperatura média do planeta, ocorre também maior derretimento de geleiras em regiões polares e de grande altitude, ocasionando a dilatação dos oceanos, mudanças nos ciclos hidro-geológicos e fenômenos atmosféricos adversos.

A Figura 3 evidencia a correlação entre a elevação da temperatura média do planeta e a redução de áreas cobertas com neve no Hemisfério Norte e a média global do nível do mar.

Diversas regiões do planeta já estão sofrendo sérios impactos e prejuízos ambientais, sociais e econômicos em decorrência das mudanças globais do clima. Algumas previsões feitas pelos cientistas sobre as consequências das mudanças ambientais globais são:

- Derretimento das geleiras nas regiões polares em locais de elevada altitude. Como consequência, o volume de água no oceano está aumentando rapidamente, e prevê-se que diversas regiões do planeta serão submersas já nas próximas décadas, tais como a cidade de Nova Iorque, inúmeras ilhas, os Países Baixos, entre outros. Além disso, estima-se que 279 espécies de animais já estão tendo que



Fonte: www.sxc.hu

migrar para regiões mais próximas ao pólo, em virtude do aumento do fluxo de gelo que praticamente dobrou na última década. Muitas dessas espécies não resistirão.

- Alterações significativas nos ciclos hidrológicos do planeta, com substanciais mudanças nos regimes regionais de chuva e maior ocorrência e intensidade de fenômenos climáticos adversos, tais como enchentes, estiagens, maremotos e furacões, mesmo em locais onde esses fenômenos não ocorriam. A frequência de furacões de categoria 4 e 5 dobrou, nos últimos 30 anos. Como consequência, podemos citar grandes prejuízos para os setores público, privado e população local, além da ocorrência de enfermidades e mortes provocadas por essas catástrofes.

- Maior ocorrência de incêndios florestais, significativa perda da biodiversidade e alterações nos ecossistemas naturais. O resultado é que muitas espécies animais e vegetais já estão ou em breve estarão em extinção.

- Aumento da incidência de doenças tipicamente tropicais, como a malária, que já está ocorrendo nos Andes Colombianos, a 7.000 metros acima do nível do mar;

Segundo as previsões dos cientistas, se nada for feito para reverter esse quadro, as consequências podem ser ainda mais terríveis:

- As mortes causadas pelos efeitos do aquecimento dobrarão nos próximos 25 anos;
- O nível dos mares aumentará até 6 metros devido ao derretimento das geleiras;
- Ondas de calor serão mais frequentes e mais intensas;
- Incêndios em florestas ocorrerão com maior frequência;
- O Oceano Ártico não terá mais gelo em 2050;
- Mais de 1 milhão de espécies estarão extintas em 2050.

Embora muitos contestem estas previsões, tentando buscar subterfúgios para não mudar os padrões atuais de produção e consumo, as mudanças globais do clima já são evidentes demais para se tentar negá-las, sendo incontestável a necessidade de mudanças imediatas para possibilitar a continuidade da vida na Terra.

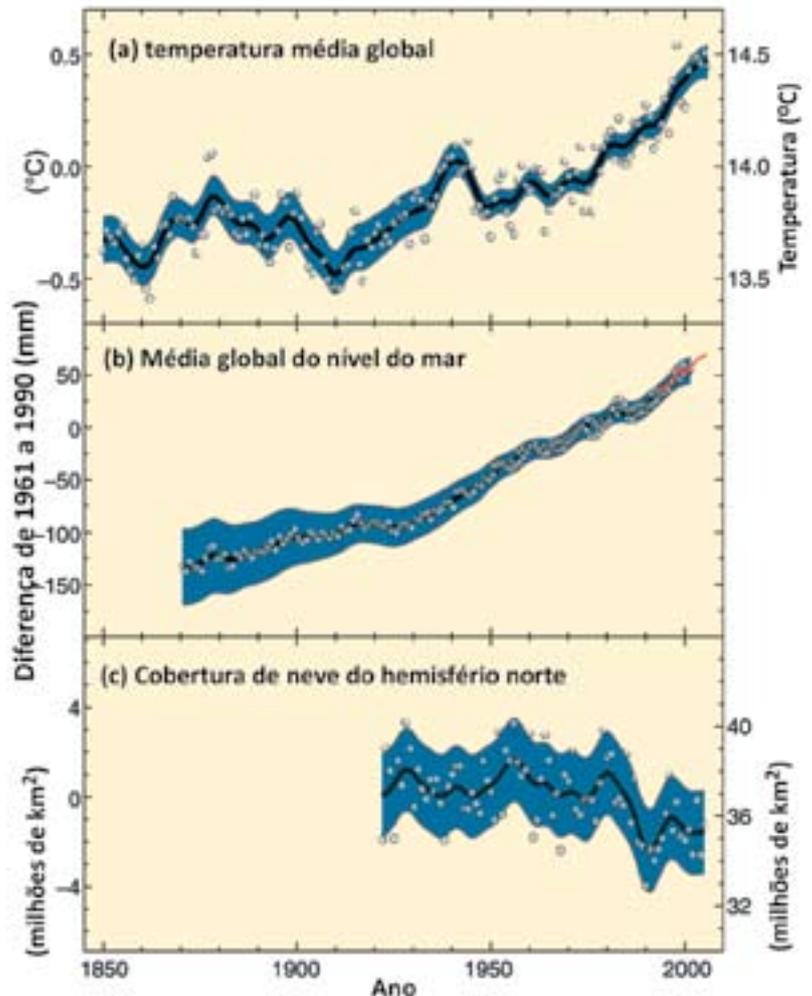


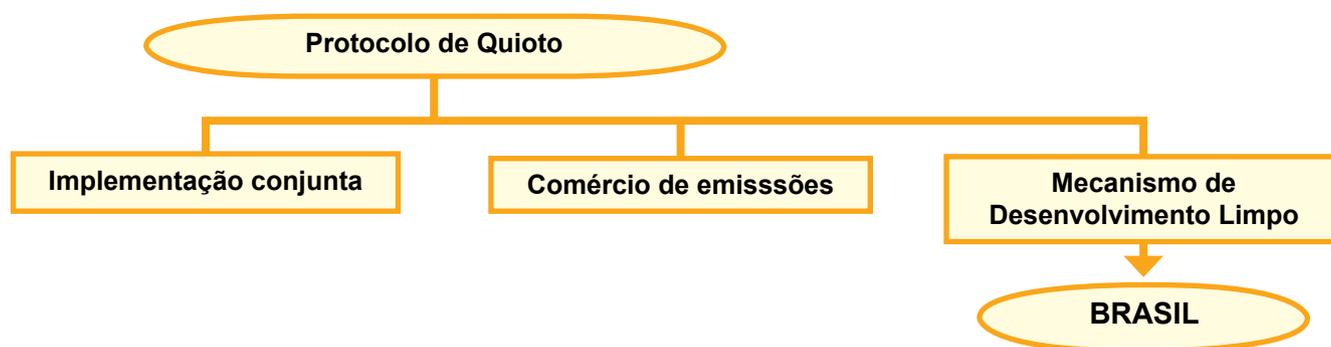
Figura 3. a) temperatura média do planeta; b) média global do nível do mar; c) cobertura de neve no Hemisfério Norte  
Fonte: IPCC, 2007a.

## 1.2. Acordos internacionais

Para evitar a intensificação e agravamento desse cenário, foram criados painéis com cientistas do mundo todo para discutir e analisar criteriosamente a questão das mudanças globais do clima. Após várias reuniões com representantes de países de todos os continentes, foi firmado um acordo internacional denominado Protocolo de Quioto, cujo objetivo principal é alcançar a estabilização das concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera em nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático terrestre.

Com a entrada em vigor deste Protocolo, em 2005, os países listados no Anexo I (desenvolvidos) comprometeram-se a reduzir suas emissões, entre os anos de 2008 e 2012, em aproximadamente 5% em relação aos níveis de 1990. Tal compromisso, com vinculação legal, pretende produzir uma reversão da tendência histórica de aumento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos.

O Protocolo de Quioto estabelece três “mecanismos econômicos de flexibilidade” que permitem aos países cumprirem as exigências de redução de emissões fora de seus territórios. Dois desses mecanismos correspondem somente aos países do Anexo I e se referem à Implementação Conjunta (Joint Implementation) e ao Comércio de Emissões (Emission Trading).



Já o terceiro mecanismo, chamado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, (Clean Development Mechanism - CDM), surgiu de uma proposta brasileira à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC - IPCC). Por meio deste mecanismo, os países do Anexo I podem ampliar as possibilidades de cumprirem suas metas de redução de emissões de GEE estabelecidas pelo Protocolo de Quioto, pois podem adquirir Certificados de Redução de Emissões (CRE), também conhecidos como Créditos de Carbono, originados por projetos que sejam implementados nos países que não fazem parte do Anexo I, como o Brasil. Por sua vez, estes últimos podem, a partir da implantação de projetos que comprovadamente consigam reduzir as emissões de GEE ou seqüestrar CO<sub>2</sub> atmosférico, gerar CRE (Créditos de Carbono) e vendê-los aos países do Anexo I, gerando fontes adicionais de receita, possibilitando o aprimoramento tecnológico e contribuindo para o desenvolvimento sustentável desses países.

Em virtude da possibilidade de obtenção de receitas extras pela geração e venda de Créditos de Carbono, muitas organizações brasileiras já têm implementado projetos no âmbito do MDL, mas ainda é pouco perante o potencial que o Brasil tem de contribuir para a redução das emissões de gases do efeito estufa.

*Atualmente, no Brasil, existem 40 projetos no âmbito do MDL desenvolvidos em aterros sanitários, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE por meio da mitigação de emissões de CH<sub>4</sub> nos próximos anos, dos quais 25 estão registrados pelo Conselho Executivo no UNFCCC, 14 estão em fase de validação no Comitê Executivo e apenas 1 foi encaminhado para revisão do pedido (UNEP, 2009).*

Esta publicação apresentará a importância, oportunidades e caminhos possíveis para o aproveitamento dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários e o potencial de contribuição para a redução dos GEE.

## 2. CENÁRIO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

O presente capítulo apresenta uma visão geral sobre a problemática dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, que têm causado inúmeros impactos ambientais, sociais e econômicos, em âmbito local e global.

Com o aumento da população brasileira e sua maior concentração em regiões urbanas, surgiu também um grande desafio para os gestores públicos municipais: o de gerenciar quantidades e volumes cada vez maiores de resíduos sólidos urbanos (RSU).

A Tabela 2 apresenta dados levantados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2000, sobre geração média per capita de resíduos domiciliares, lixo público e lixo urbano para municípios com diferentes faixas populacionais, ficando evidente que média per capita de geração de resíduos sólidos domiciliares (RSD) é diretamente proporcional ao número de habitantes.

ESTRATOS POPULACIONAIS	MUNICÍPIOS		POPULAÇÃO	LIXO			PRODUÇÃO PER CAPTA		
	TOTAL	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL (%)		DOMICILIAR (T/DIA)	PÚBLICO (T/DIA)	URBANO (T/DIA)	LIXO DOMICILIAR (KG/DIA)	LIXO PÚBLICO (KG/DIA)	LIXO URBANO (KG/DIA)
Total	8.507	100,0	169.489.853	125.281,1	36.546,0	161.827,1	0,74	0,22	0,96
Até 9.999 hab	2.644	48,0	13.865.155	6.304,1	2.820,7	9.184,8	0,46	0,20	0,66
De 10.000 hab	1.382	25,1	19.654.601	8.316,0	3.157,1	11.473,1	0,42	0,16	0,58
De 40.000 hab	957	17,4	28.574.236	13.729,8	4.551,8	18.281,6	0,48	0,16	0,64
De 60.000 hab	300	5,4	20.836.724	11.625,2	3.082,9	14.708,1	0,56	0,15	0,71
De 100.000 hab	117	2,1	16.376.710	11.329,5	2.392,2	13.721,7	0,69	0,15	0,84
De 400.000 hab	76	1,4	23.200.154	17.986,4	3.190,9	21.177,3	0,78	0,14	0,91
De 999.999 hab	18	0,3	12.554.978	16.210,5	5.434,8	21.645,3	1,29	0,43	1,72
Mais de 1.000.000 hab	13	0,2	34.327.295	39.719,6	11.915,6	51.635,2	1,16	0,35	1,50

Tabela 2; Dados da geração média per capita de resíduos sólidos de acordo com o porte do município  
Fonte: PNSB – IBGE - 2000

É evidente que em grandes centros urbanos, o estilo de vida das pessoas é mais agitado, o que leva a um maior consumo de produtos industrializados e com embalagens descartáveis. Por sua vez, em cidades de pequeno porte, a tendência é de que os resíduos contenham menos embalagens e mais material orgânico, mas isto não é uma regra. A quantidade e composição dos resíduos sólidos, especialmente os domiciliares, dependem de características sócio-econômico-culturais da população e mudam ao longo do ano, em função da sazonalidade.

De acordo com o IBGE em sua Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada em 2000, são coletadas no Brasil, aproximadamente, 228.413 toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.281 toneladas referentes aos resíduos domiciliares.

Como os dados abordados são de 2000, estima-se que a geração de resíduos sólidos no Brasil tenha crescido proporcionalmente ao número de habitantes.

Um dos problemas relacionados à questão de resíduos diz respeito à cobertura de coleta. Infelizmente, nem todo RSD gerado é coletado pelos serviços públicos de limpeza urbana. Com isso, a parcela da população não atendida muitas vezes descarta seus resíduos em locais impróprios, como margens ou mesmo interior de rios, terrenos baldios, praças públicas, praias, etc., acarretando sérios problemas de saúde devido à proliferação de vetores de doenças e contaminação da água, além de ocasionar entupimento de bueiros e canais de escoamento de águas superficiais, causando enchentes.

É fato que em algumas áreas os caminhões de coleta não conseguem transitar, no entanto, diversas alternativas têm sido adotadas para contornar esse problema e evitar os impactos negativos dos lixões clandestinos.

Em muitas cidades brasileiras, a coleta de RSU consome um significativo percentual do orçamento municipal, chegando a ultrapassar os gastos com serviços de saúde pública, por exemplo. Mas embora os gastos sejam elevados, isto não resolve um segundo problema muito importante: o que fazer com os resíduos coletados?

A Tabela 3 apresenta as unidades de destinação final de resíduos coletados, por região, segundo resultados obtidos pela PNSB (2000).

FORMA DE DESTINAÇÃO	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
Lixão	488	2.538	1.713	848	406
Aterro Controlado	44	169	785	738	132
Aterro Sanitário	32	134	683	478	125
Usina de Compostagem	1	19	117	117	6
Usina de Reciclagem	-	28	198	351	19
Incinerador	4	7	210	101	3

Tabela 3. Unidades de destinação final de resíduos, por região brasileira. Fonte: PNSB – IBGE - 2000

A Figura 4 representa graficamente esses dados, ficando evidente a predominância de lixões a céu

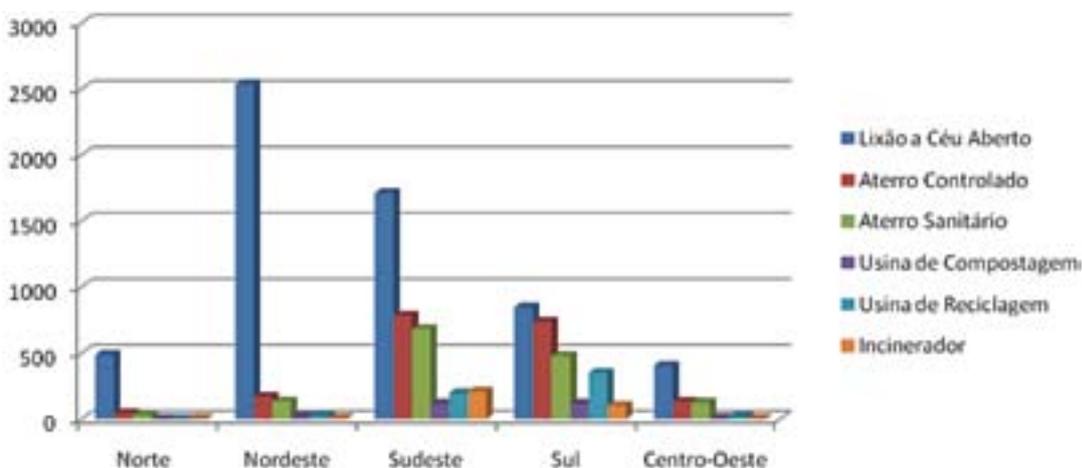
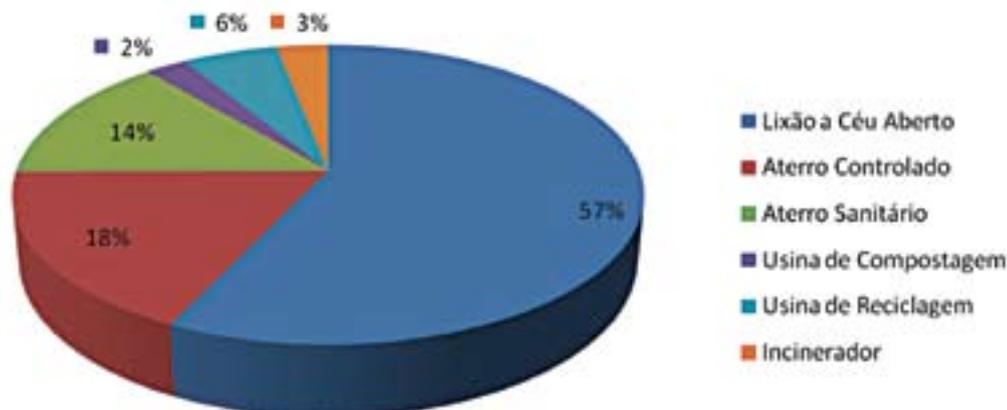


Figura 4. Destinação final de resíduos coletados, por região. Fonte: PNSB – IBGE – 2000

aberto em todas as regiões do país, sendo que os aterros sanitários e controlados estão mais presentes nas regiões Sudeste e Sul.

Figura 5. Participação das Diferentes Formas de Tratamento e Destinação Final de Resíduos no Brasil - % sobre o número de unidades



Fonte: PNSB – IBGE – 2000

Constata-se que os lixões a céu aberto, os aterros controlados e os aterros sanitários, que são formas de disposição de resíduos no solo, correspondem juntos a 89% das formas de tratamento e destinação final dos resíduos no Brasil.

Embora essa pesquisa tenha sido realizada há quase uma década, sabe-se que desde então muitos esforços vêm sendo realizados por órgãos públicos, entidades privadas e até mesmo organizações do terceiro setor para estimular o fechamento de lixões a céu aberto. Na maioria das vezes os lixões que foram fechados migram para aterros controlados ou sanitários e, portanto, o número total de unidades de disposição final de resíduos no solo continua semelhante.

A figura 6 apresenta a participação percentual das diferentes formas de tratamento e destinação final de resíduos no Brasil em relação ao total de resíduos coletados.

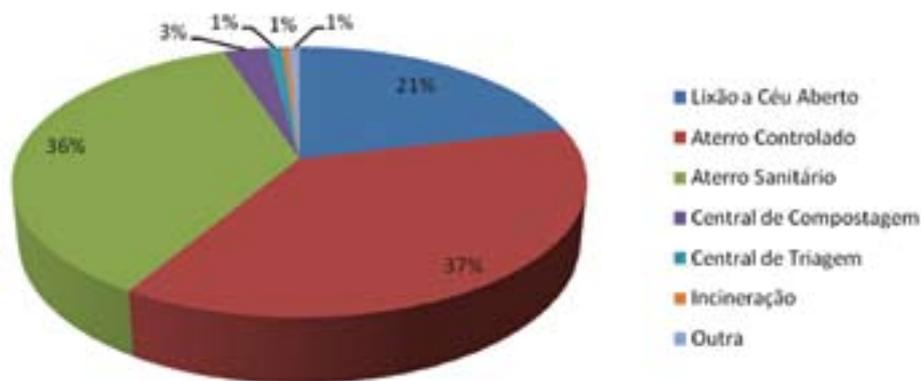


Figura 6. Participação das diferentes formas de tratamento e destinação de resíduos no Brasil - % em relação ao total de resíduos coletados. Fonte: PNSB – IBGE – 2000

Conclui-se que, do total de resíduos sólidos coletados no país, 36% são destinados para aterros sanitários; 37% para aterros controlados e 21% para lixões a céu aberto, totalizando 84% da quantidade de resíduos coletados que são dispostos no solo.

Também é fato que desde a Eco-92 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992) a reciclagem de resíduos vem se tornando cada dia mais valorizada tanto pelos gestores públicos quanto por boa parcela da população brasileira. No en-

tanto, segundo a pesquisa Ciclosoft realizada pelo CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), até 2008 apenas 405 municípios brasileiros realizaram algum tipo de coleta seletiva de resíduos, visando possibilitar a reciclagem de seus materiais, conforme mostra a figura 7.

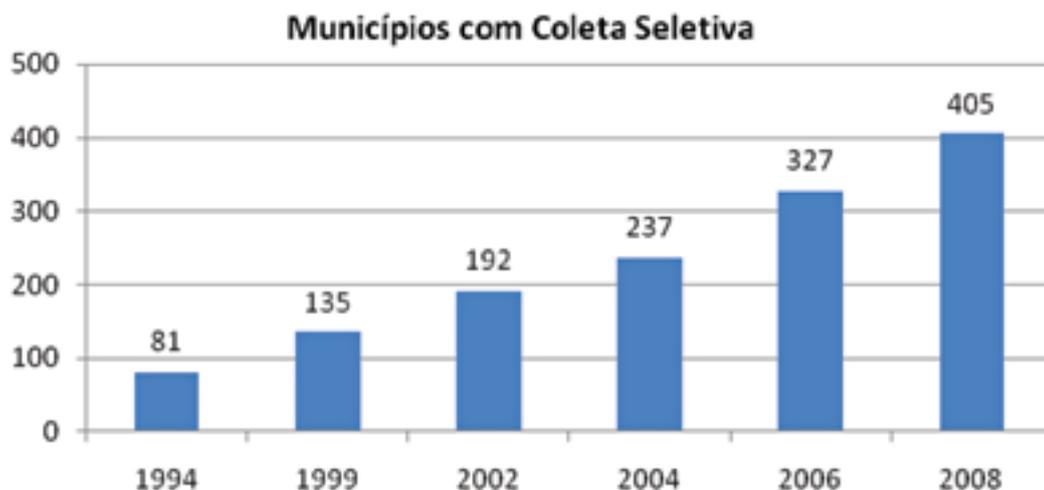


Figura 7. Pesquisa Ciclosoft. Fonte: CEMPRE, 2008.

A maioria dessas iniciativas tem também o propósito de promover a reinserção social e a geração de renda para “ex-catadores” que atuavam nos lixões ou nas ruas das cidades. Infelizmente, essas iniciativas ainda processam apenas um pequeno percentual do total de resíduos gerado nos municípios.

Fica evidente que, embora a coleta seletiva tenha crescido no país, ainda é pequeno o número de municípios no Brasil que a realizam, além de ainda representar um pequeno percentual do total de resíduos coletados nesses municípios. A situação é ainda mais crítica em relação aos resíduos orgânicos, pois ainda são pouquíssimos os municípios que realizam algum tipo de tratamento desses materiais, sendo o mais conhecido deles a compostagem.

Desta forma, praticamente todo resíduo sólido urbano gerado no país é simplesmente disposto no solo, seja em aterros sanitários, aterros controlados ou vazadouros a céu aberto, o que resulta em inúmeros impactos ambientais negativos, além dos prejuízos sociais e econômicos. Entre esses impactos, podemos citar:

- A ocupação de extensas áreas para servirem de aterros, que por sua vez estão cada vez mais escassas, especialmente nas grandes cidades e em regiões metropolitanas. Próximo dessas áreas, geralmente, ocorre grande desvalorização imobiliária, além dos inconvenientes do constante tráfego de caminhões transportando lixo.
- O risco de contaminação do lençol freático e cursos d’água nas proximidades dos locais de disposição final de lixo, especialmente nos lixões e aterros que não possuem adequada impermeabilização de base.
- A maior proliferação de vetores de doenças, que podem ocasionar sérios problemas de saúde pública.
- O total desperdício dos recursos naturais e energéticos contidos nos materiais dispostos nos aterros e lixões.
- A liberação de maus odores, mais intensos e constantes em vazadouros a céu aberto;



Dreno e queima do biogás em aterros brasileiros.  
Fonte: Instituto Agir Sustentável.

• A contínua produção de biogás, gerado pela decomposição anaeróbica dos materiais orgânicos contidos no interior da massa de resíduos já aterrada. Por ser altamente combustível, o biogás necessita ser continuamente drenado para evitar explosões nesses locais. No Brasil, a maioria dos aterros utiliza o sistema de drenos abertos, onde é mantida acesa uma chama para queima imediata do biogás que vai sendo naturalmente drenado. Esse sistema apresenta uma baixa eficiência e estima-se que apenas 20% do biogás drenado seja efetivamente destruído pela queima. O restante é simplesmente emitido para a atmosfera.

O biogás é uma mistura de gases que contém principalmente metano e dióxido de carbono, que são causadores do efeito estufa, entre outros gases conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Composição do Biogás gerado em aterros

COMPONENTES	QUANTIDADE	CONSIDERAÇÕES
Metano (CH <sub>4</sub> )	60%	Gás combustível, sendo um dos gases causadores do efeito estufa com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO <sub>2</sub> .
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	~ 45%	Gás causador do efeito estufa
Outros Gases – Hidrogênio, Nitrogênio, Oxigênio, Amônia, Ácido Sulfídrico, Aminas Voláteis e Monóxido de Carbono	~ 5%	Entre esses gases, destaca-se o H <sub>2</sub> S, que além de mau odor, pode levar à ocorrência de chuva ácida

Tabela 4. Composição do Biogás gerado em aterros. Fonte: WILLUMSEN, 2001.

Em função das ligações químicas entre os átomos de Hidrogênio e Carbono, o metano possui um elevado potencial energético (energia química) que quando reage com oxigênio, libera grande quantidade de calor (energia térmica). É um gás de fácil combustão e por isso, nos locais onde ele é gerado, existe sempre o risco de ocorrer explosões.

Desta forma, é de suma relevância para mitigar as mudanças globais do clima que sejam implementados projetos efetivos para evitar as emissões de metano provenientes de aterros de resíduos sólidos urbanos para a atmosfera. Para isto, são possíveis os seguintes caminhos:

1. Evitar a disposição de resíduos orgânicos em aterros, seja pela redução da sua geração e descarte, seja pelo aproveitamento ou tratamento dos mesmos por meio aeróbico, que possibilita a produção de composto orgânico que pode ser aplicado no solo, sem gerar metano;
2. Realizar a captação forçada do biogás gerado no interior dos aterros e, subseqüentemente, promover sua destruição por meio da oxidação térmica do metano, ou seja, sua queima, conforme demonstrado na reação abaixo:

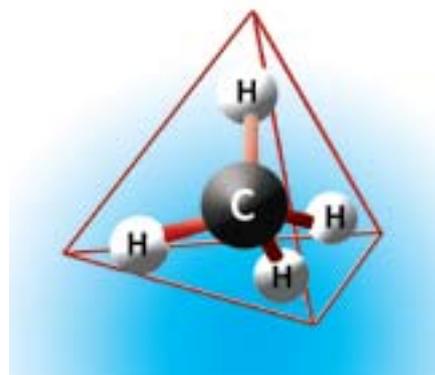
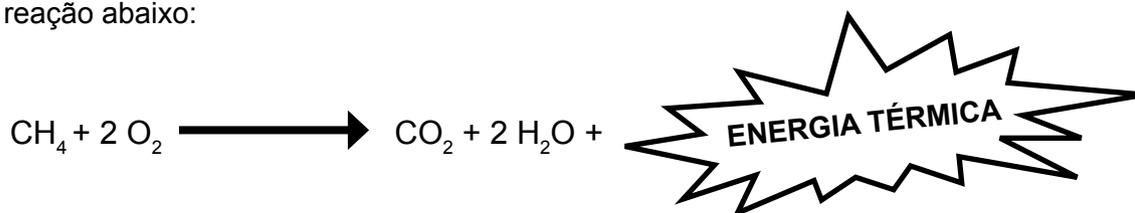


Figura 8. Estrutura molecular do metano (CH<sub>4</sub>). Fonte: Instituto Agir Sustentável.



Como pode ser visto, esta é uma reação exotérmica, isto é, libera energia na forma de calor e esta energia pode ser aproveitada de diversas formas, como será visto no capítulo 4 deste manual.

E para melhor compreendermos a importância de se aproveitar o biogás gerado em aterros como uma fonte renovável e disponível de energia, que pode contribuir substancialmente para suprir as demandas energéticas do país, o capítulo seguinte apresentará o cenário energético brasileiro.

### 3. CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

O presente capítulo apresenta dados relevantes sobre a produção e consumo de energia no país, evidenciando a importância da ampliação do uso de energias renováveis na composição da matriz energética nacional.

#### 3.1. Oferta e demanda de energia no Brasil

A figura 9 sintetiza a composição da matriz energética brasileira, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2009, referente ao ano de 2008.

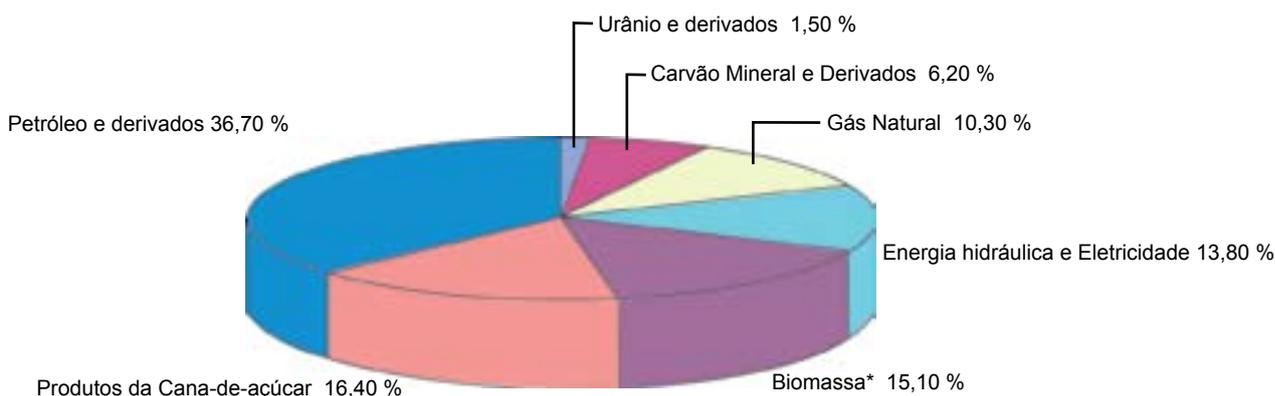


Figura 9. Composição da matriz energética brasileira. Nota: \* Biomassa inclui lenha, carvão vegetal e outras renováveis. Fonte: BEN, 2009.

Fica evidente que o consumo de petróleo e seus derivados ainda é muito elevado no país (36,7%), seguido de gás natural (10,3%) e carvão mineral (6,2%). Essas fontes não renováveis de energia totalizam 53,2% da matriz nacional.

Por sua vez, a participação de energias renováveis nessa matriz totaliza 45,3%, o que é bastante significativo.

A figura 10 apresenta a evolução do consumo de energias renováveis e não renováveis no país, desde 1970, ficando evidente que a participação das energias renováveis na matriz energética nacional não aumentou nos últimos anos.

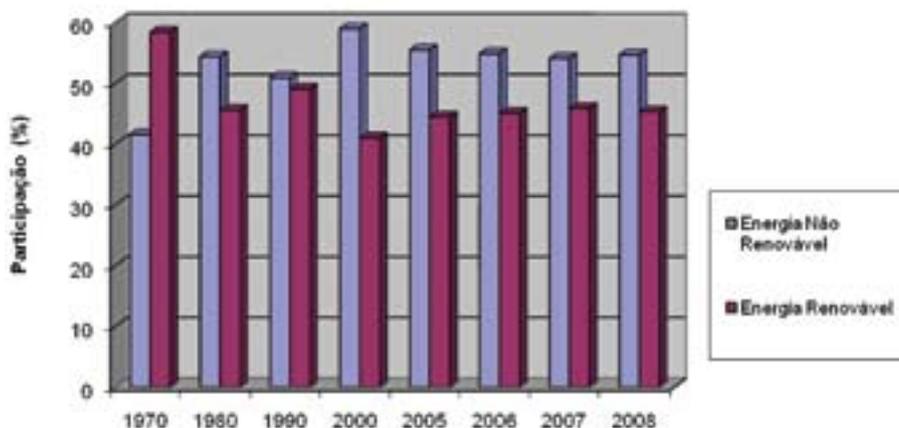


Figura 10. Participação das fontes de energia renováveis na matriz energética nacional. Fonte: BEN, 2009.

A utilização de energias renováveis no país baseia-se principalmente em hidrelétricas (13,8%), produtos da cana-de-açúcar (16,4%), lenha e carvão vegetal (11,6%). Apenas 3,5% da matriz energética brasileira correspondem a outras fontes de energia renovável.

A Figura 11 apresenta o histórico da oferta interna de energia, proveniente de diferentes fontes, em toneladas equivalentes de petróleo (tep).

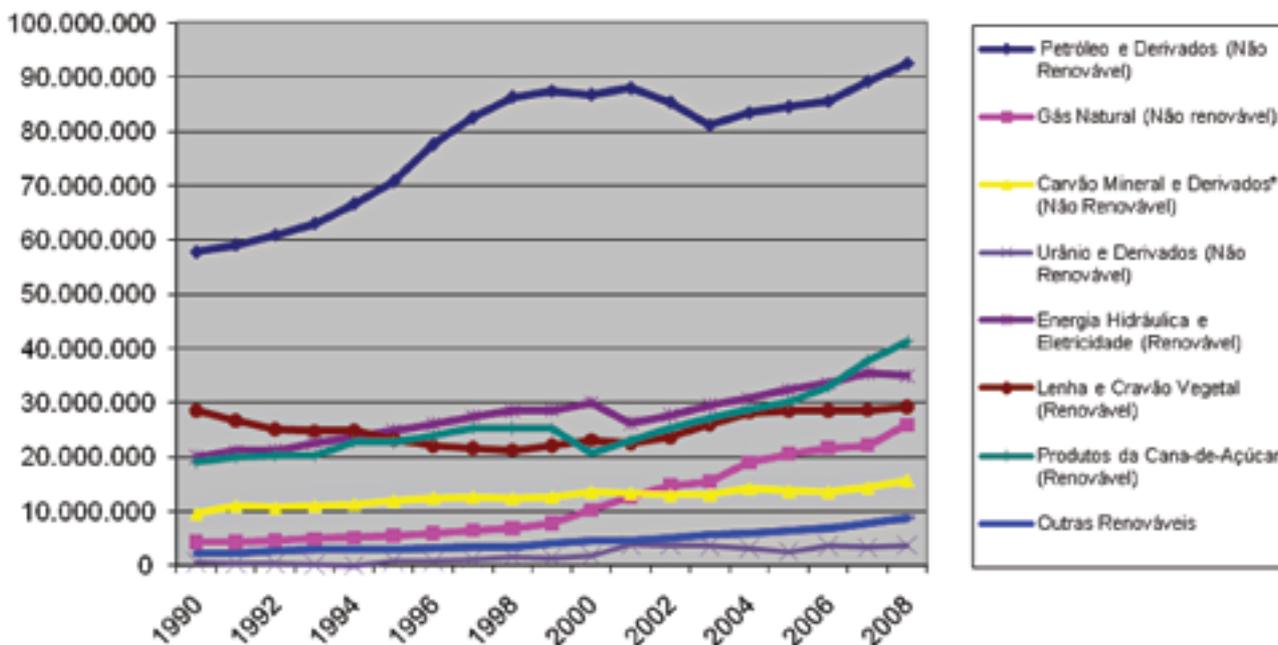


Figura 11. Oferta interna de energia por fontes (tep) Fontes: BEN, 2005, 2007, 2008 e 2009.

Pode-se constatar que nos últimos anos ocorreu substancial aumento do uso de petróleo e derivados, de gás natural e de produtos de cana-de-açúcar para a produção de energia no país. Contudo, a participação do petróleo e derivados continua sendo muito maior que as demais fontes energéticas.

Isso significa que a atual matriz energética brasileira afeta negativamente o cenário já crítico do aquecimento global, tendo em vista que a queima de petróleo e seus derivados emite grandes quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, além de liberar SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, causadores da chuva ácida.

A figura 12 e a tabela 5 evidenciam uma constante correlação entre a oferta e a demanda de energia (em tep) no país.

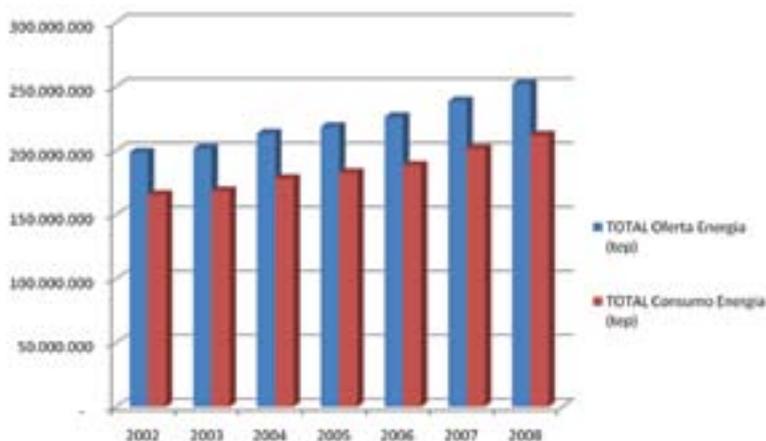


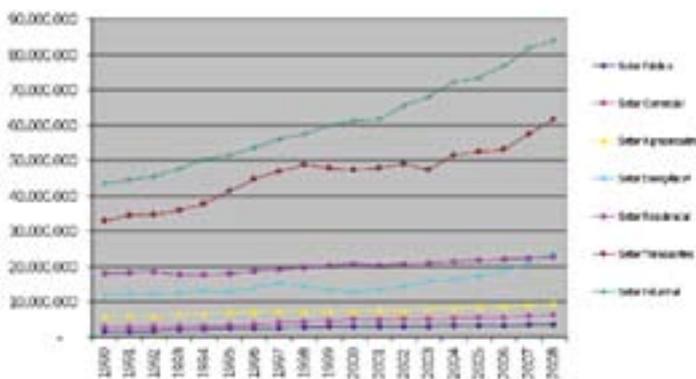
Figura 12. Oferta e consumo de energia no Brasil Fonte: BEN, 2009.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Oferta total de energia (tep)	198.737.000	201.703.000	213.371.000	218.663.000	226.344.000	238.759.000	252.000.000
Consumo total de energia (tep)	165.542.000	168.538.000	178.152.000	182.686.000	188.574.000	201.410.000	211.852.000

Tabela 5. Dados da oferta e consumo de energia no país, de 2002 a 2008. Fonte: BEN, 2009.

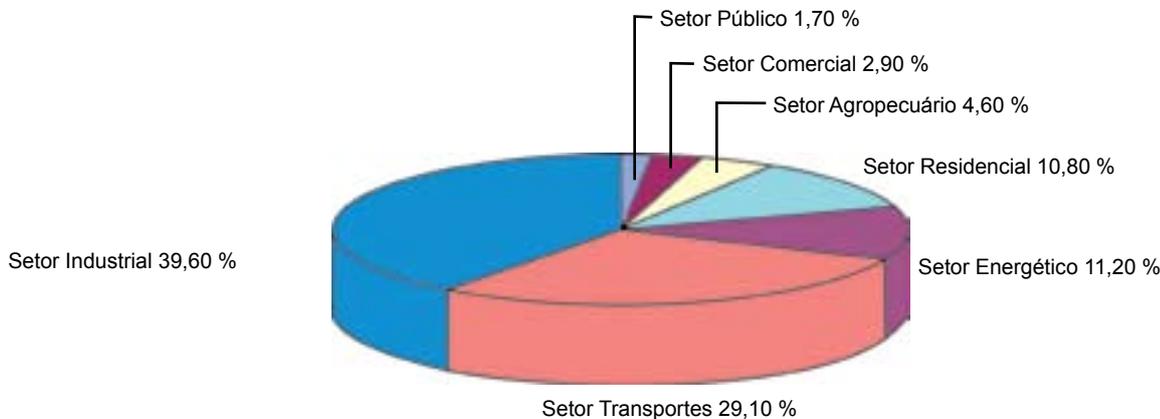
A Figura 13 apresenta o histórico do consumo energético por diferentes setores, desde 1990 até 2008, ficando evidente o acentuado aumento do consumo de energia pelos setores industrial e de transporte. No ano de 2008, esses dois setores foram responsáveis por 68,7% do consumo total de energia no país, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 13. Evolução do consumo energético por diferentes setores.



Fontes: BEN, 2005, 2007, 2008 e 2009.

Figura 14. Participação percentual dos diferentes setores no consumo de energia. Nota:\* O setor energético agrega os centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final.



Fonte: BEN, 2009.

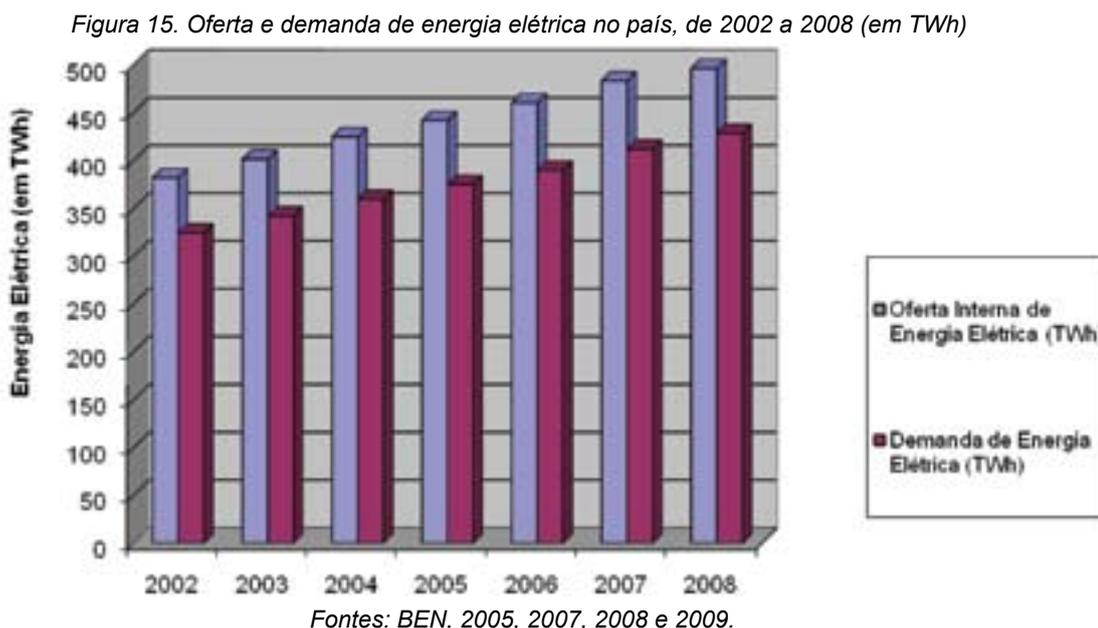
Tabela 6. Evolução da oferta e demanda de energia elétrica no país, nos últimos anos (em TWh).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Oferta Interna de Energia Elétrica (TWh)	382,2	401,5	424,8	442,1	460,5	483,4	496,4
Demanda de Energia Elétrica (TWh)	324,4	342,2	359,6	375,1	390	412,1	428,7

Tabela 6. Evolução da oferta e demanda de energia elétrica no país, nos últimos anos (em TWh). Fonte: IPCC 2007

Em 2008, a oferta de energia elétrica foi de 496,4 TWh, enquanto que a demanda foi de 428,7 TWh.

A Figura 15 faz uma correlação entre a evolução da oferta e demanda de energia elétrica no país, em TWh.



Por esses dados, podemos concluir que tanto a oferta quanto a demanda de energia elétrica têm crescido nos últimos anos, porém a demanda está bem próxima da oferta. Em 2008, por exemplo, a diferença entre a oferta e a demanda foi de apenas 13,6%. Isto significa que o Brasil não tem grande excedente de energia elétrica.

Desta forma, caso o país consiga nos próximos anos atingir um nível de crescimento econômico acima da média recente, inevitavelmente faltará energia elétrica no país, já que a instalação de novas hidrelétricas demanda vários anos para sua conclusão.

Outro fator importante a ser considerado é que as hidrelétricas, que são importantíssimas para a geração de energia elétrica no país, também serão afetadas pelas mudanças globais do clima, tendo em vista que os ciclos hidrológicos no planeta já começaram a ser alterados. Isso já foi constatado em 2001, quando ocorreu o chamado “apagão”, em função do menor índice de chuvas naquele ano.

Assim, para que o Brasil não sofra falta de energia elétrica, nem fique mais dependente do petróleo e seus derivados, é importantíssimo diversificar sua matriz energética e ampliar o uso de outras fontes de energia renovável abundantes no país, tais como:

- Energia solar
- Energia eólica
- Energia das marés
- Biomassa, como resíduos de madeira, cascas de arroz, entre outras;
- Biogás, gerado em aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes e dejetos de animais; entre outros.

Nas sessões seguintes deste manual serão apresentados caminhos para possibilitar o aproveitamento energético do biogás gerado em aterros de resíduos sólidos no Brasil, como uma forma de contribuir não somente para a oferta de energia no país, mas também para reduzir as emissões de metano para a atmosfera.

## 4. ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS GERADO EM ATERROS

*Este capítulo tem por objetivo apresentar as diversas alternativas tecnológicas para possibilitar o aproveitamento energético do biogás gerado em aterros de resíduos sólidos urbanos, no Brasil.*

O biogás, por conter um elevado teor de metano ( $\text{CH}_4$ ), possui diversas aplicações de caráter energético. Embora sua principal aplicação seja como combustível em um motor de combustão interna a gás, que movimenta um gerador de energia elétrica, ele pode ser direcionado também para outros fins.

Entre suas possíveis aplicações, destacam-se a produção de calor de processo, secagem de grãos em propriedades rurais, secagem de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), queima em caldeiras, aquecimento de granjas, iluminação a gás, tratamento de chorume, entre outros.

Independentemente da melhor alternativa técnica para utilização do metano proveniente da biodegradação do lixo, uma parte importantíssima do projeto é o sistema para a extração do biogás do aterro.

### 4.1. Sistema para extração e tratamento do biogás do aterro

Usualmente, para grandes aterros, costuma-se planejar a implantação do sistema de extração em fases, ampliando as instalações conforme o aumento da geração de biogás, de forma a reduzir o investimento inicial.

O sistema de extração é composto basicamente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado. Este pré-tratamento do biogás para a remoção de particulados e líquidos tem a finalidade de proteger os sopradores, aumentando a vida útil dos mesmos.

Os drenos existentes na grande maioria dos aterros sanitários brasileiros e que apresentam boa vazão de biogás poderão ser adaptados e integrados ao sistema de captação. A adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, instalação de um cabeçote e interligação ao sistema de coleta.



*Fig. 16A) Dreno típico de aterros, que pode ser adaptado e inserido no sistema de captação de biogás. Fonte: acervo CENBIO*



*Fig. 16B) Cabeçote de adaptação de dreno existente. Modelo utilizado na Europa e USA. Fonte: Acervo instituto Agir.*



*Fig. 16C) Cabeçote de adaptação de dreno existente. Modelo nacional. Fonte: acervo CENBIO*

As tubulações provenientes dos drenos são interligadas a pontos de regularização de fluxo ou manifolds e estes são interligados a uma linha principal, que conduz o biogás para os sistemas de queima em flare e/ ou reaproveitamento energético. A força motriz para a extração do biogás é a pressão negativa gerada por um soprador, ao qual a linha principal está interligada.

Na linha de entrada do sistema, a vazão de biogás é controlada diretamente por uma válvula borboleta e indiretamente por um inversor de frequência acoplado ao motor do soprador, o qual é acionado através de um transmissor de pressão, instalado na linha de sucção. Assim, o inversor de frequência regula o ponto de operação do motor do soprador em função da pressão, mantendo a vazão do processo constante.

Na mesma linha normalmente é instalado um termômetro, com a finalidade de indicar localmente a temperatura do gás no interior da tubulação. A primeira etapa de tratamento do biogás extraído ocorrerá pela passagem do mesmo através de um filtro, para a remoção de material particulado eventualmente arrastado juntamente com o gás. A montante e a jusante deste filtro são instalados medidores de pressão (vacuômetros) que possibilitam o monitoramento do aumento da perda de carga e permitem identificar o momento da troca do elemento filtrante.

Após passagem pelo filtro, o biogás é encaminhado a um tanque separador de líquidos, denominado desumidificador.

**Sistema de desumidificação mais utilizado:** demisters, que têm a finalidade de segregar eventuais gotículas de líquidos contidos no biogás, evitando seu aporte para os sopradores do sistema de extração de gases. Ver figura 17.

**Princípio de funcionamento:** consiste em reduzir significativamente a velocidade do fluido nos separadores, permitindo a formação de gotículas, que se acumulam na parte inferior do tanque. Essa fase líquida deverá ser drenada por gravidade para um tanque de coleta de condensado e deste é bombeado para o sistema de coleta de chorume para ser tratado juntamente com o mesmo.



Figura 18. Soprador. Fonte: Gardner Denver - Nash ([www.gardnerdenver.com](http://www.gardnerdenver.com))

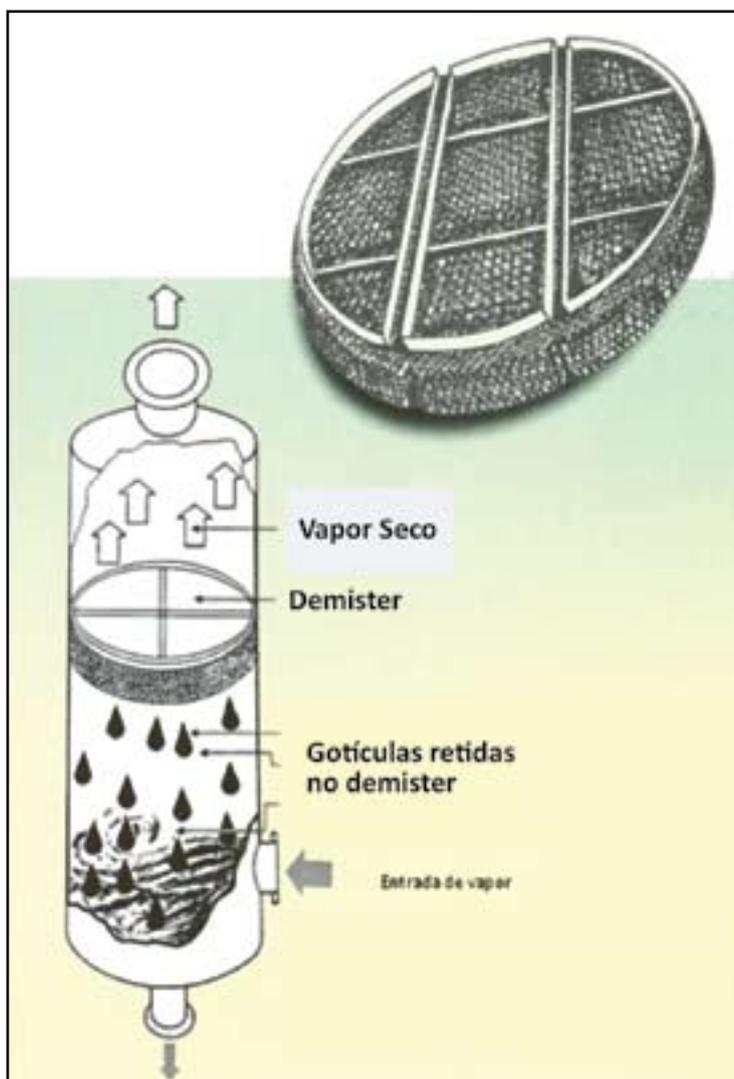


Figura 17. Esquema de desumidificador. Fonte: [www.nicho.co.th](http://www.nicho.co.th)

O biogás, já isento de partículas sólidas e de gotículas líquidas, passa então pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada no flare e/ou para outros sistemas de aproveitamento energético. O soprador tem a finalidade de succionar o biogás do interior do aterro. Conforme mostra a figura 19.

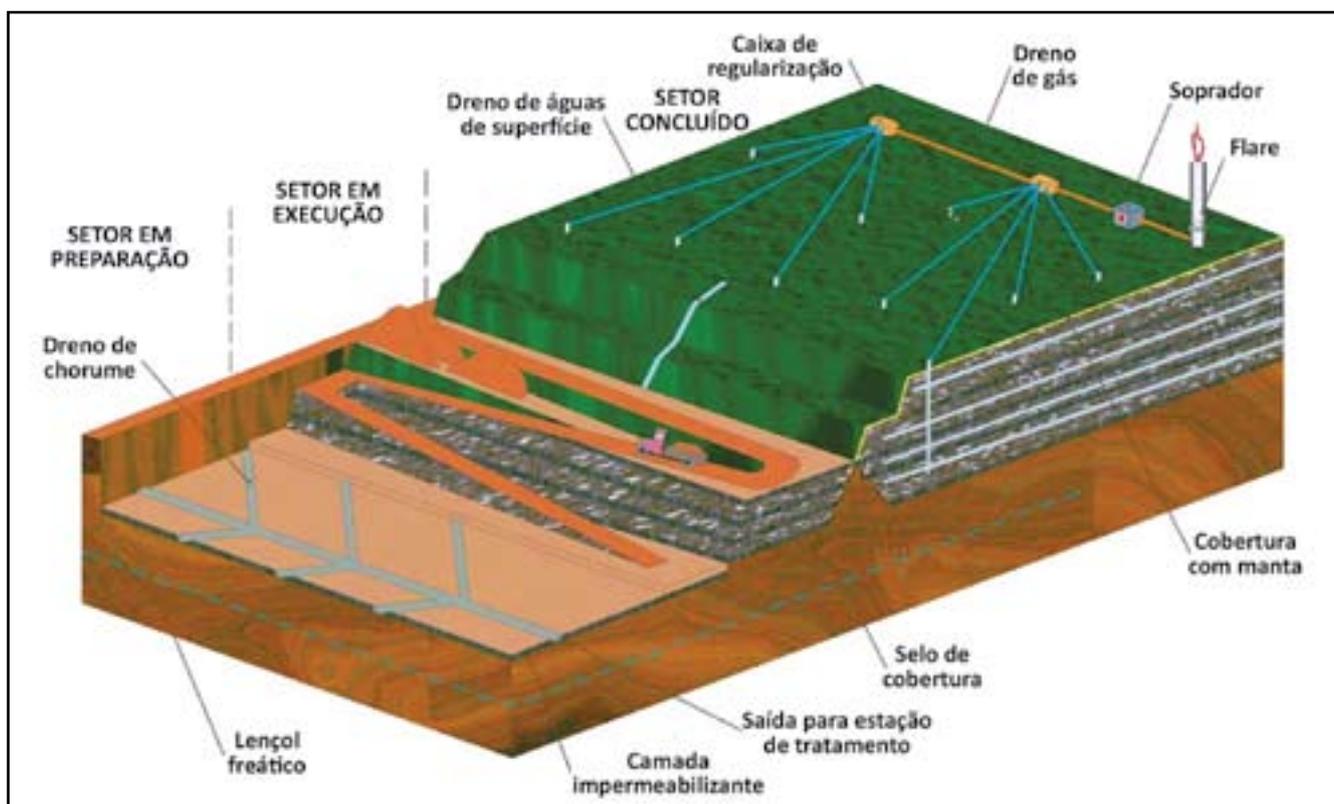


Figura 19. Desenho esquemático de um sistema de captação de biogás de aterro sanitário. Fonte: Gás de Aterro para Projeto de Energia no Aterro Lara - Mauá - SP. Documento de Concepção de Projeto - julho/2004.

O sistema de captação pode utilizar tubulações individuais de captação para cada poço (ou grupos de poços) de drenagem de gás ligados a Pontos de Regularização de Fluxo (PRs) ou manifolds, distribuídos uniformemente pelo aterro. Cada manifold receberá o gás proveniente de um conjunto de poços e/ou drenos horizontais próximos.

Os Pontos de Regularização são ligados diretamente aos coletores principais (figura 20). Uma válvula borboleta na saída de cada manifold deve ser instalada para controlar o fluxo de cada conjunto constituído por, no máximo, 10 poços.

Pontos de amostragem devem ser instalados em cada tubulação ligando os poços aos PRs, permitindo assim determinar as velocidades, temperaturas e umidade do gás com o uso de um anemômetro portátil. A composição do gás gerado, em termos de concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), pode ser determinada por um fotoionizador de chama portátil, calibrado para medir os gases mencionados. Para a tomada de amostras de gás são previstas válvulas de amostragem em cada tubulação ligada aos Pontos de Regularização de Fluxo.



Figura 20. Pontos de Regularização  
Fonte: CENBIO, 2007a.

O gás extraído do aterro é 100% saturado, o que resulta no fato de que cada  $\text{m}^3$  de gás contém aproximadamente 60 a 100 ml de condensado. No ponto de saída dos drenos a temperatura do gás estará

entre 40°C e 50°C. Pelo resfriamento ao longo da tubulação instalada sobre o aterro, será gerado condensado em grande quantidade (por exemplo, a redução da temperatura de 50° para 25°C gera cerca de 60 g de condensado por m³).

Uma vez que toda a tubulação deverá ser instalada com caimento de no mínimo 3%, o líquido será direcionado até os pontos mais baixos do sistema. Para evitar o entupimento dos tubos e a perda de vácuo nas linhas, devem ser previstos nestes pontos drenos com sifões, para permitir que o condensado reinfiltre no depósito do lixo.

## 4.2. Sistema de queima em flares

Independentemente da utilização energética escolhida para o biogás, recomenda-se a instalação de um flare enclausurado (figura 21), especialmente para projetos destinados à obtenção de créditos de carbono. Isto porque, em caso de falha no sistema de geração de energia ou outro tipo de aproveitamento, evita-se a emissão de metano para a atmosfera e a conseqüente perda de créditos de carbono.

### Flares Enclausurados

Construídos em aço carbono e isolados internamente com fibra cerâmica, possuem queimadores internos fixados em um coletor inferior, interligados com o duto do biogás. Este duto principal de biogás, por sua vez, apresenta uma bifurcação, destinada ao envio do gás para os sistemas de geração de energia ou outras finalidades de reaproveitamento antes da queima. A ignição e manutenção da chama são feitas através de um queimador piloto, o qual normalmente utiliza GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) como combustível inicial.



Figura 21. Flare Enclausurado.  
Fonte: CENBIO, 2007a.

## 4.3. Alternativas para uso do biogás

Existem diversas alternativas para viabilizar o aproveitamento do biogás em aterros sanitários. A Figura a seguir apresenta uma síntese dessas opções.

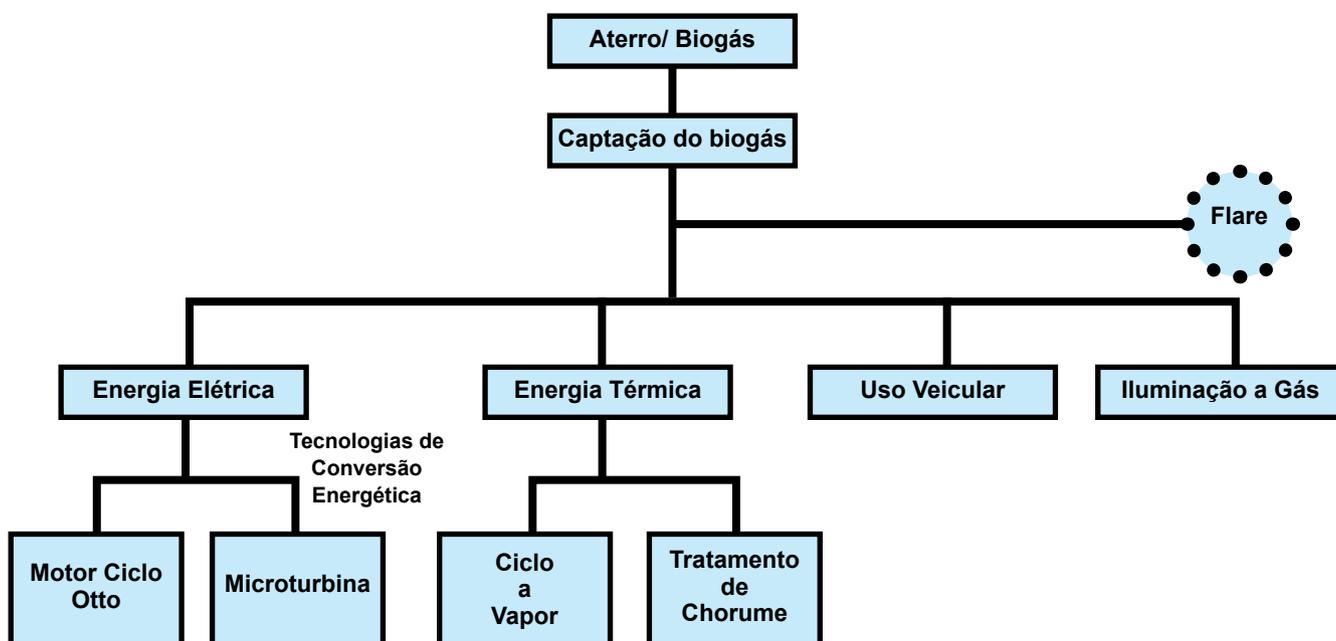


Figura 22. Diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás. Fonte: Instituto Agir Sustentável..

Entre as tecnologias para conversão energética de biogás mais utilizadas atualmente, destacam-se os motores de combustão interna – Ciclo Otto e as microturbinas.

### 4.3.1. Geração de energia elétrica

#### 4.3.1.1. Motores Ciclo Otto

O motor ciclo Otto é o equipamento mais utilizado para queima do biogás, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima de biogás em motores ciclo Otto são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão. Ver figuras 23 e 24.

Os motores ciclo Otto aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida na vela de ignição (PEREIRA, 2006). Esses motores são chamados de 4 tempos, pois seu funcionamento ocorre seqüencialmente em quatro etapas.



Figura 23. Motores Ciclo Otto importados, em operação em aterro sanitário em São Paulo. Fonte: CENBIO, 2007a.

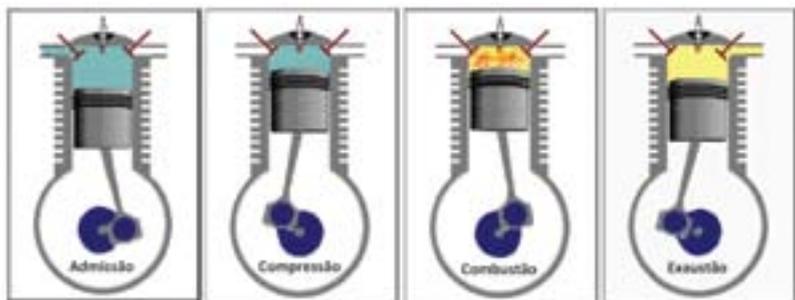


Figura 24. Esquema do funcionamento de um motor ciclo Otto. Fonte: BERTULANI, 2002.

#### Princípio de Funcionamento

**Admissão (primeiro tempo):** abertura da válvula de admissão através da qual é injetada ao cilindro a mistura ar-combustível e o pistão é empurrado para baixo com o movimento do virabrequim;

**Compressão (segundo tempo):** fechamento da válvula de admissão e compressão da mistura (ordem de 10:1) e conforme o pistão sobe (antes de chegar a parte superior) a vela gera uma faísca;

**Combustão (terceiro tempo):** onde ocorre a explosão da mistura e expansão dos gases quentes formados na explosão. Essa expansão dos gases promove uma determinada força, permitindo que o pistão desça;

**Exaustão (quarto tempo):** abertura da válvula de escape através da qual os gases são expulsos pelo pistão.

#### Vantagens

- Geração de energia elétrica para o próprio consumo do aterro;
- Economia de R\$ em relação à energia proveniente da concessionária;
- Possibilidade de obtenção de receita adicional pela venda de excedente de energia;
- Possibilidade de obtenção e comercialização de créditos de carbono (considerada 100% de eficiência de queima).

#### Desvantagens

- Motores grande porte são importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de aproximadamente 230 kW. Isso faz com que o investimento inicial seja elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 5 kW a 1,6 MW;
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%;
- Altos valores de emissão de  $\text{NO}_x$  (gás de grande impacto ambiental). Dependendo do porte do motor, a emissão de  $\text{NO}_x$  varia entre 250 e 3.000 ppm (parte por milhão).

### Exemplos de aplicabilidade

No Estado de São Paulo existem duas grandes centrais térmicas, que podem ser citadas como exemplos de geração de energia elétrica a partir de biogás, utilizando motores ciclo Otto importados.

Uma delas está no Aterro Sanitário Municipal Bandeirantes, localizado no km 26 da Rodovia dos Bandeirantes, em Perus - SP. Nesse aterro foram implementados 24 grupos geradores (motores ciclo Otto importados acoplados a geradores) que possuem capacidade de geração de 22 MW (925 kW cada um). Esse empreendimento é considerado o maior projeto mundial de geração de energia elétrica exclusivamente a biogás. Os representantes da empresa que concebeu a termelétrica deste aterro afirmam que a utilização correta dos gases gerados reduzirá a emissão equivalente a 8 milhões de toneladas de gás carbônico no período de 15 anos, contribuindo assim para a mitigação do aquecimento global.

A outra central térmica está implementada no Aterro Sanitário São João, localizado na Estrada de Sapopemba km 33, em São Mateus, zona leste da capital. Assim como o aterro Bandeirantes, o aterro São João, possui capacidade de geração de 22 MW.

### Ordem de grandeza dos investimentos

Para aterros sanitários de pequeno porte, com baixa produção de biogás e, conseqüentemente, baixa obtenção de metano, existem motores de potências variadas que vão desde 5 kW, cujo investimento é da ordem de R\$ 20.000,00 até 230 kW, cujo investimento é da ordem de R\$700.000,00 cada unidade.

Para aterros sanitários de grande porte, que pretendam aproveitar todo o biogás produzido, existem motores importados de potências variadas que vão desde 925 kW, cujo investimento é da ordem de R\$ 3.400.000,00 até 1,54 MW, cujo investimento é da ordem de R\$ 5.000.000,00 cada unidade.

#### 4.3.1.2. Microturbinas a gás

As microturbinas evoluíram das aplicações da turbina nas indústrias aeroespacial e automotiva, para as aplicações em sistemas elétricos de potência apresentando diversas inovações tecnológicas como o uso de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência. Conforme figura 25.

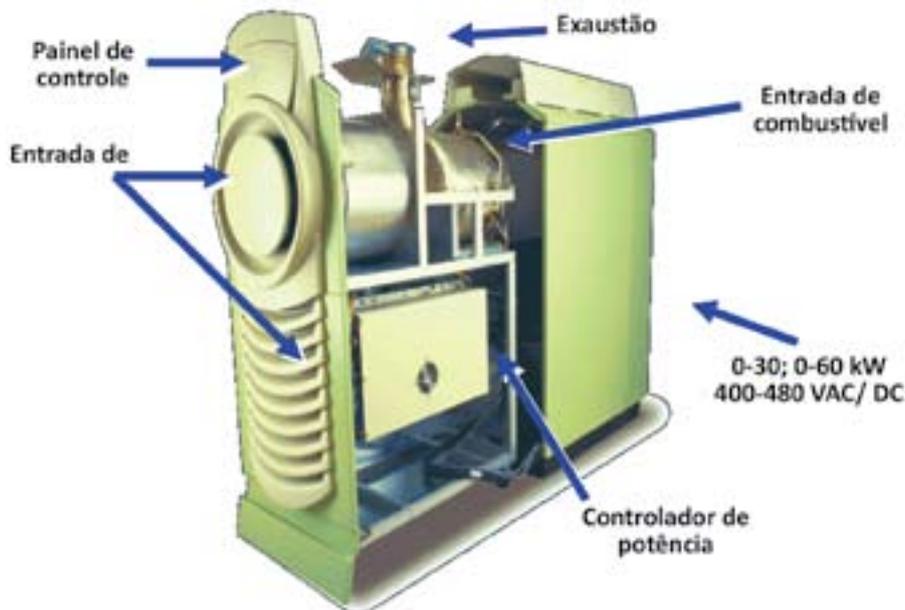


Figura 25. Desenho esquemático de uma microturbina a gás. Fonte: MONTEIRO, 2004.

## Princípio de Funcionamento

Nas microturbinas o ar é aspirado e forçado para seu interior à alta velocidade e pressão, misturado ao combustível para, então, ser queimado na câmara de combustão. Os gases quentes resultantes da combustão são expandidos na turbina e o calor remanescente dos gases de exaustão pode ser aproveitado para aquecimento do ar de combustão.

### Vantagens

Além das vantagens apresentadas nos motores ciclo Otto, as microturbinas apresentam os seguintes benefícios:

- Baixos níveis de ruídos e vibrações;
- Flexibilidade de combustível, dentre eles o biogás;
- Dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instaladas em locais cobertos ou ao ar livre;
- Emissões de NOx são menores que 9 ppm nas microturbinas de baixa potência (30 a 100 kW) e podem chegar a 100 ppm nas de maior potência.

### Desvantagens

- Equipamentos importados: investimento inicial elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 30 kW a 1,0 MW;
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%. Porém, quando utilizadas em instalações de cogeração, sua eficiência pode chegar a mais de 80% (HAMILTON, 2003);
- Alto custo de operação e manutenção, quando comparada a outras tecnologias existentes;
- Necessidade de um rígido sistema de limpeza do biogás e remodelação da microturbina para sua queima, já que é um gás de baixo poder calorífico.

## Exemplo de aplicabilidade

Segundo Hamilton (2003), no aterro de Lopez Canyon, em Los Angeles, o gás proveniente da decomposição do lixo é tratado e utilizado para alimentar 50 microturbinas de 30 KW da Capstone que operam em paralelo. Essa é a maior instalação de microtubinas no mundo.

## Ordem de grandeza dos investimentos

Existem disponíveis no mercado microturbinas de 30, 65, 200, 600, 800 e 1.000 kW. Portanto, dependendo do potencial de geração de energia elétrica disponível no aterro sanitário, para cada microturbina o investimento varia de R\$ 195.000,00 para 30 kW, a R\$ 3.200.000,00 para 1.000 kW (1 MW).

Os valores referentes ao sistema de pré-tratamento do biogás antes de alimentar a microturbina não foram computados.

## 4.3.2. Geração de energia térmica

Para a geração de energia térmica existem as tecnologias descritas a seguir.

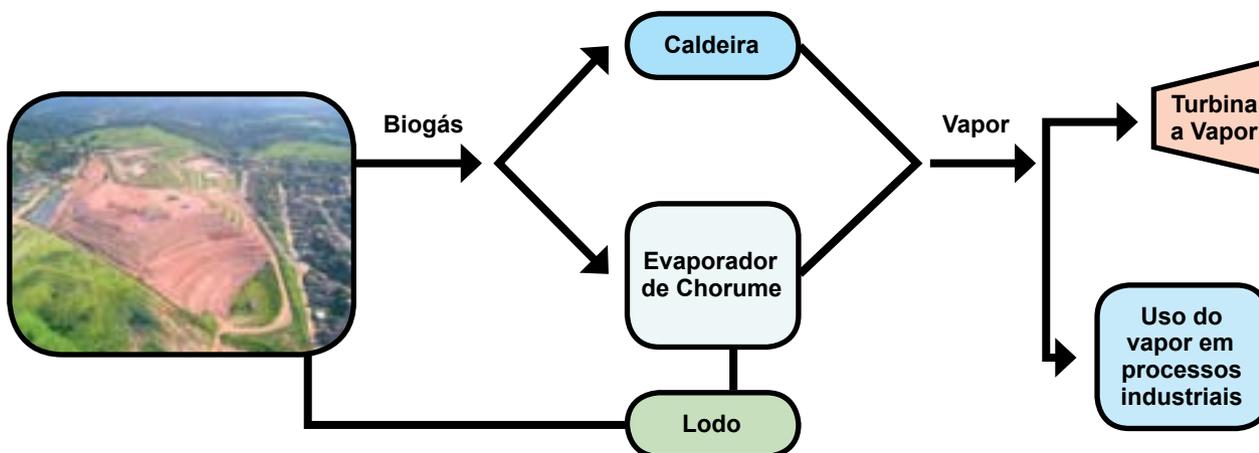


Figura 26. Alternativas para recuperação de energia térmica do biogás. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

### 4.3.2.1. Ciclo a vapor Rankine

Os sistemas de ciclo a vapor funcionam de acordo com o ciclo Rankine, que consiste basicamente em caldeira, turbina, condensador e bomba, conforme figura 27.

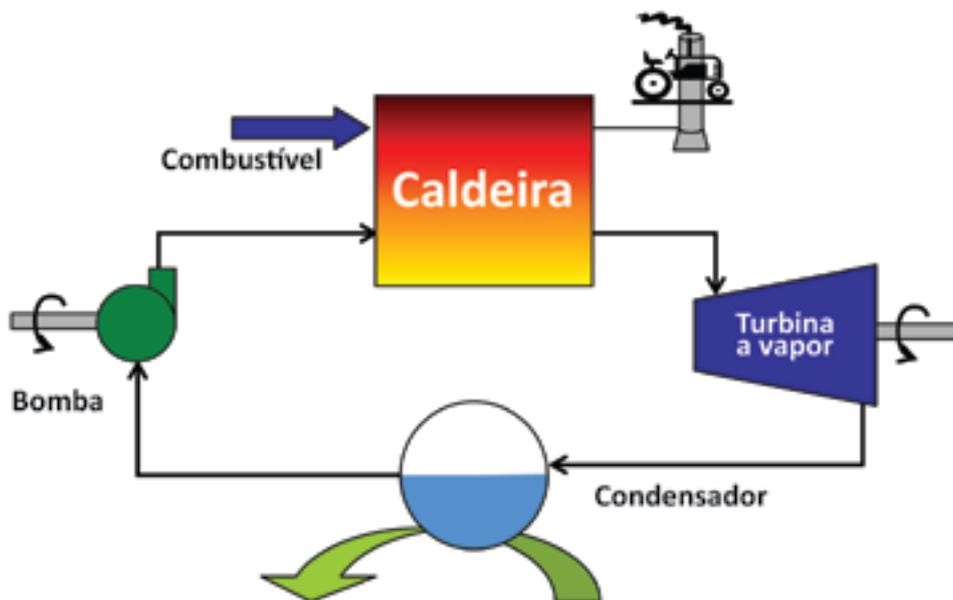


Figura 27. Esquema do Ciclo Rankine Fonte: HIRANI E MANAMI, 2007.

#### **Princípio de funcionamento**

Neste ciclo é utilizado calor proveniente da combustão de biogás, em uma caldeira, para geração de vapor, que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica, por meio do acionamento de uma turbina a vapor acoplada a um gerador.

O calor na forma de vapor ou água quente, diferentemente da energia elétrica, não é facilmente transportado por grandes distâncias. Por isso, as unidades cogeneradoras devem estar próximas das instalações que utilizam energia térmica.

A adaptação dos equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação às características do novo combustível. Para o controle do nível de umidade do gás são utilizados purgadores e linhas de condensado, impedindo, desta forma, danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras.

#### **Vantagens**

O aproveitamento de forma útil dessa energia térmica, processo conhecido como cogeração, traz como benefícios a diminuição das emissões de carbono e outros poluentes atmosféricos, além da diminuição dos impactos causados ao meio ambiente devido ao desperdício de calor para a atmosfera.

Além disso, há ganho econômico devido à redução de gastos referentes à energia adquirida da concessionária e à possibilidade de comercialização dos créditos de carbono.

#### **Desvantagens**

Baixo rendimento térmico: aproximadamente 30% .

A corrosão é um problema para a adaptação de caldeira para biogás, uma vez que compostos presentes neste gás comprometem pré-aquecedores de ar, tubulações e outros componentes. Deve-se realizar manutenção regular, impedindo, desta maneira, a formação de depósitos de sílica, enxofre e cloro nos equipamentos.

#### **Exemplo de aplicabilidade**

Pode-se citar como exemplo da utilização de energia térmica o aterro implementado na Alemanha, onde o calor produzido é transportado para a indústria de papel e celulose, localizada nas mediações do aterro.

### 4.3.2.2. Evaporador de chorume

O chorume, gerado a partir da decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos, contém alta carga poluidora e sua composição apresenta grande quantidade de amônia, cloretos, substâncias recalcitrantes, compostos orgânicos e inorgânicos.

Um dos sistemas utilizados para tratar o chorume é o processo de evaporação. Este processo permite uma redução de até 70% do volume de lixiviado. O tratamento é realizado em equipamento denominado Evaporador, onde o chorume é aquecido a altas temperaturas, como mostra a figura 28.

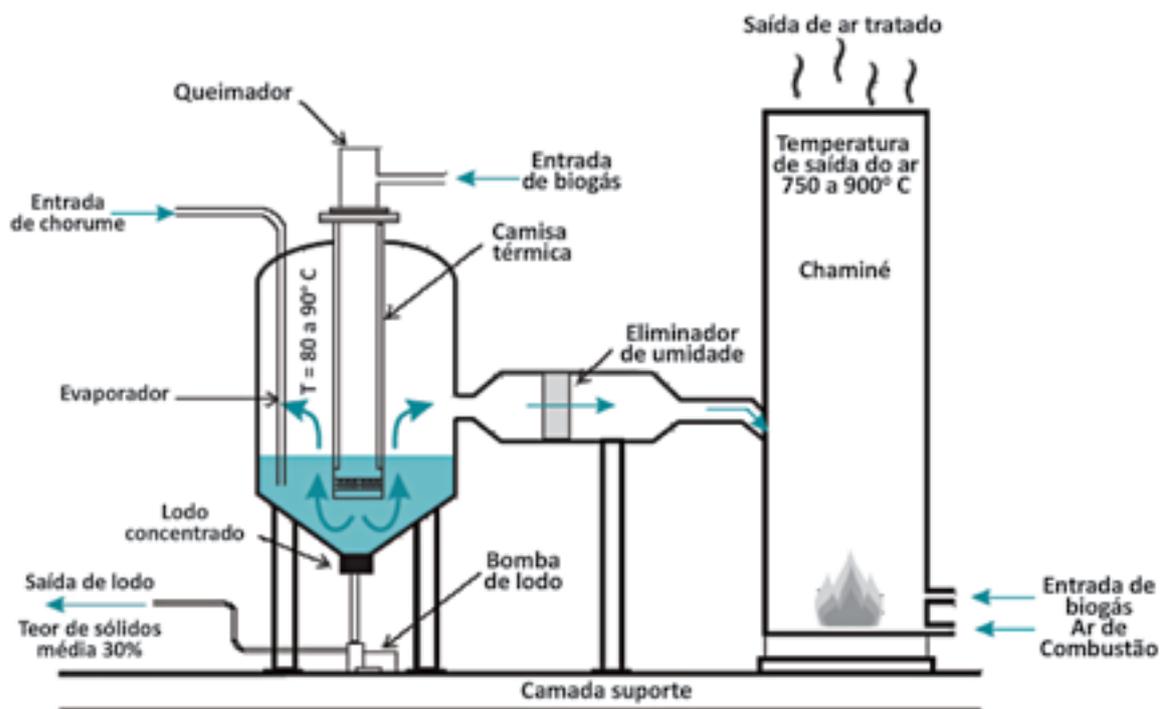


Figura 28. Esquema de um evaporador de chorume Fonte: MONTEIRO et. al., 2001.

#### Princípio de funcionamento

O processo de aquecimento é realizado a partir da utilização do biogás como combustível. A fração líquida é evaporada, concentrando o teor de sólidos do chorume. O vapor quente passa por sistema de purificação para que possa ser lançado à atmosfera ou, então, para ser utilizado na geração de energia térmica de processo, como aquecimento ou refrigeração. O lodo adensado pode retornar para o aterro. Esta tecnologia já é empregada nos Estados Unidos, Europa e Brasil (BAHÉ et. al., 2007).

Este tipo de processo pode ser implementado em qualquer aterro sanitário, independente do porte do aterro e da quantidade de chorume produzido. Os evaporadores de chorume geralmente são divididos em módulos. Cada módulo possui capacidade para evaporar cerca de 0,5 m<sup>3</sup>/h de chorume. Caso o aterro não produza essa quantidade de chorume, este pode ser armazenado em um tanque e, quando atingir o volume ideal, ser enviado ao sistema de tratamento por evaporação.

#### Vantagens

- Utilização do biogás como combustível (combustível de baixo custo)
- Tratamento do chorume no próprio aterro, diminuindo assim os gastos referentes ao transporte e tratamento do chorume em ETEs (Estações de Tratamento de Efluentes);
- Possibilidade de comercialização dos créditos de carbono.

#### Desvantagens

- Necessidade de tratamento dos vapores antes do lançamento na atmosfera;
- Elevado consumo de biogás.

### **Exemplo de aplicabilidade**

Pode-se citar como exemplo de sucesso deste tipo de sistema o aterro sanitário Tremembé, da Onyx SASA, localizado em Tremembé - SP, onde o chorume é armazenado em tanques especiais antes de ser encaminhado ao sistema de tratamento do aterro que possui capacidade de evaporação de 19 m<sup>3</sup>/hora de chorume. Com esta tecnologia o aterro teve 42% de economia em relação aos gastos com tratamento de chorume e transporte para a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

### **Ordem de grandeza dos investimentos**

O sistema de evaporação de chorume funciona por módulos. Cada módulo tem a capacidade de eliminação de 0,50m<sup>3</sup>/h ou 12,5m<sup>3</sup>/dia de chorume. A ordem de grandeza de investimento para cada módulo é de R\$ 70.000,00.

O consumo de biogás é da ordem de 100 m<sup>3</sup>/h para cada módulo. Portanto, dependendo da quantidade de biogás produzido no aterro sanitário e quantidade de chorume a ser tratado, este sistema pode ou não ser viável.

### **4.3.3. Produção de combustível veicular**

Apesar do biogás poder ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, para seu uso veicular existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes, tais como: umidade, ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e partículas (ADNETT, 2000).

#### **Uso Veicular**

No processo de purificação do biogás é importante retirar o CO<sub>2</sub> até que a porcentagem de metano fique próxima à do gás natural, para que possa ser utilizado para os mesmos fins. Segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e máxima de CO<sub>2</sub> de 5%.



*Veículo sendo abastecido com biogás. Fonte: ALVES & FILHO, 2009.*

#### **Princípio de funcionamento**

A remoção de CO<sub>2</sub> do biogás é uma operação unitária em que um componente da mistura é dissolvido em um líquido e em carbonato de potássio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, entre outros. Dentre os métodos físicos, destacam-se os crivos moleculares, separação por membranas e colunas de absorção. Os métodos físicos são os mais conhecidos e utilizados devido à fácil regeneração dos reagentes utilizados na absorção (Wong e Bioletti, 2002).

Existem diversos solventes que podem ser utilizados para a remoção do CO<sub>2</sub>. Em se tratando da solubilidade, o polietileno glicol é uma das opções e, atualmente, é a mais utilizada devido à alta solubilidade do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S. Considerando o custo, a melhor opção a ser utilizada é a água, pois o CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S também são solúveis em água (AD-NETT, 2000).

Um dos fatores mais importantes do processo de absorção do CO<sub>2</sub> é a razão líquido/gás. É definida a quantidade de solvente necessária para absorver uma determinada quantidade de soluto. Cada soluto possui uma solubilidade a um determinado solvente e é por meio dessa solubilidade que é determinada

a vazão de solvente necessária para absorver o soluto existente em uma mistura gasosa, como mostra a tabela 7.

A absorção de CO<sub>2</sub> pela água ocorre em pressões elevadas. As colunas de absorção operam, na maioria dos casos, a pressões na faixa de 600 a 1200 kPa, obtendo-se, na saída do sistema, porcentagem de metano em torno de 95% e 1 a 3% de CO<sub>2</sub> (HAGEN *et al.*, 2001).

Temperatura (°C)	Volume de gás dissolvido em água (m <sup>3</sup> L <sub>100</sub> <sup>-1</sup> kPa <sup>-1</sup> )		
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
20	8,665e <sup>-6</sup>	2,548e <sup>-6</sup>	3,336e <sup>-7</sup>
25	7,501e <sup>-6</sup>	2,252e <sup>-6</sup>	2,961e <sup>-7</sup>
35	5,843e <sup>-6</sup>	1,807e <sup>-6</sup>	2,507e <sup>-7</sup>

Tabela 7. Solubilidade dos gases presentes no biogás em água. Fonte: CCE (2000).

### Vantagens

- Utilização do biogás para alimentar a frota de caminhões de coleta de lixo que transitam pelo aterro, reduzindo os gastos com outros combustíveis;
- Substituição de combustíveis fósseis (diesel, por exemplo) por combustível renovável e de baixo impacto ambiental, pois reduz as emissões de particulados, NOx, entre outros.

### Desvantagens

- Não há tecnologias nacionais comprovadamente eficientes para esta finalidade e com custo competitivo em relação aos combustíveis convencionais;
- Baixa escala de produção e elevados custos de implantação;
- Existem equipamentos importados que garantam eficiência elevada, mas os mesmos nunca foram testados no Brasil e necessitam de adaptações para as características do biogás nacional.

### Exemplo de aplicabilidade

A prática de abastecimento da frota veicular de aterros sanitários é bem comum na Alemanha. Entretanto, no Brasil, em 1985, a Comlurb – Companhia Municipal de Limpeza Urbana, do Rio de Janeiro, deu início à utilização do biogás com combustível veicular e chegou a possuir uma frota de cerca de 150 veículos movidos a biogás, além do abastecimento de táxis que utilizavam este combustível. Este projeto durou cerca de 5 anos. Após esse período, o abastecimento da frota da Comlurb e de terceiros passou a ser com gás natural.

### 4.3.4. Iluminação a gás

O objetivo do sistema de iluminação a gás é iluminar o local onde será implementado.

Sistema de iluminação a gás

Fonte: CENBIO, 2007b.



### **Princípio de funcionamento**

Neste sistema a iluminação acontece com a queima direta do biogás. É importante ressaltar que os postes de iluminação não devem ser instalados próximos aos dutos de biogás em um aterro sanitário, pois o biogás é altamente explosivo e se houver algum tipo de vazamento podem ocorrer explosões.

A necessidade da quantidade de postes e de pontos luminosos de cada poste depende do espaço disponível para instalá-lo e da quantidade de biogás disponível para ser queimado.

#### **Vantagens**

- Além da queima do biogás e conseqüente transformação do metano em dióxido de carbono, há possibilidade de obtenção e comercialização dos créditos de carbono, proporcionando receita adicional ao aterro;
- Economia de R\$ em relação à energia proveniente da concessionária.

#### **Desvantagens**

- Apesar de apresentar tecnologia nacional disponível, a mesma ainda está em fase de ajustes e adequações, sendo que os sistemas já instalados apresentam falhas operacionais e defeitos constantes;
- O sistema possui alto custo de investimento.

### **Exemplo de aplicabilidade**

Até o momento, há um único sistema de iluminação a biogás que encontra-se implementado no aterro sanitário da Essencis Soluções Ambientais, em Caieiras - SP, porém, encontra-se em fase de testes e ainda não há dados disponíveis sobre o sistema.

### **Ordem de grandeza dos investimentos**

O investimento inicial de 01 poste de iluminação a biogás, com consumo de 50 m<sup>3</sup> de biogás/h é de R\$ 43.000,00 (custo de instalação não incluso).

O número de postes a ser implementado no aterro dependerá da necessidade do local a ser iluminado e da quantidade de biogás disponível para queima. Portanto, este sistema pode ou não ser viável.

### **4.3.5. Conclusões**

Neste capítulo foram apresentadas as principais possibilidades de utilização do biogás extraído de aterros sanitários. Embora algumas destas alternativas atualmente ainda não estejam tecnicamente adequadas para implantação em grande escala, é preciso um esforço nacional no sentido de desenvolver novas tecnologias a custos acessíveis, potencializando a utilização do biogás e evitando o atual desperdício energético.

Embora os projetos precisem ser economicamente viáveis, a redução das emissões de gases de efeito estufa é urgente, e é preciso desenvolver mecanismos de geração de créditos de carbono e, principalmente, de estímulo para o aproveitamento do potencial energético desperdiçado, para possibilitar a real sustentabilidade de projetos de extração e utilização de biogás.

## 5. ESTUDOS DE CASO

*Este capítulo tem por objetivo apresentar uma síntese dos estudos de caso realizados para os aterros dos Municípios de Santo André e de Campinas, encomendados pelo projeto Methane to Markets, com a finalidade de avaliar o potencial de implantação de projetos para aproveitamento do biogás gerado nesses aterros.*

### 5.1. Aterro Municipal de Santo André

#### 5.1.1. Visão geral

O município de Santo André está localizado a aproximadamente 18 km da cidade de São Paulo, possuindo uma área aproximada de 75 km<sup>2</sup> e cerca de 650.000 habitantes.

O município possui um aterro sanitário, cujo terreno é público, denominado Aterro Sanitário Municipal de Santo André (Figura 29), que iniciou suas operações em 1986, com encerramento previsto para 2009. Apesar da vida útil do aterro estar praticamente encerrada, uma nova fase será implantada em uma área de expansão com aproximadamente 40.000 m<sup>2</sup>, contígua ao local atual de operação. Com esta ampliação, a vida útil do aterro será prolongada ao menos até 2016. O estudo baseou-se nessa estimativa.

O aterro possui uma área total de aproximadamente 217.000 m<sup>2</sup> e está localizado a 8 km de distância do centro urbano. Praticamente todo o resíduo sólido urbano depositado é proveniente do município de Santo André. Atualmente, cerca de 271.200 toneladas de resíduos são depositadas por ano no aterro. O seu último IQR (Índice de Qualidade de Aterros) foi 8,9.

No local são recebidos também resíduos de serviços de saúde (RSS) e resíduos de construção civil (RCC). A quantidade recebida desses materiais é na ordem de 100 toneladas por mês e 6.000 toneladas por mês, respectivamente. Os RSS são tratados por meio de microondas e depois descartados no aterro. Os RCC são utilizados nos acessos, pistas e cobertura do aterro.

O aterro foi desenvolvido em etapas. As Fases 1A e 1B, em operação desde o início de suas atividades em 1986 até 2009, abrangem uma área de 133.000 m<sup>2</sup>. A Fase 2, que será operada entre 2009 e 2016, abrangerá mais 40.000m<sup>2</sup>, totalizando 177.200 m<sup>2</sup> de área de deposição. As seções mais antigas possuem profundidade aproximada de 83 metros.

O município de Santo André possui coleta seletiva de resíduos recicláveis, feita por empresa terceirizada, uma vez por semana. A triagem dos resíduos ocorre 5 dias por semana, de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> feira, e é realizada por cooperativas localizadas dentro do próprio aterro (Figura 30). A operação de triagem é realizada manualmente, com auxílio de esteira rolante e a separação é feita por tipo de material. O total



Figura 29. Aterro Municipal de Santo André.  
Fonte: Instituto Agir Sustentável.

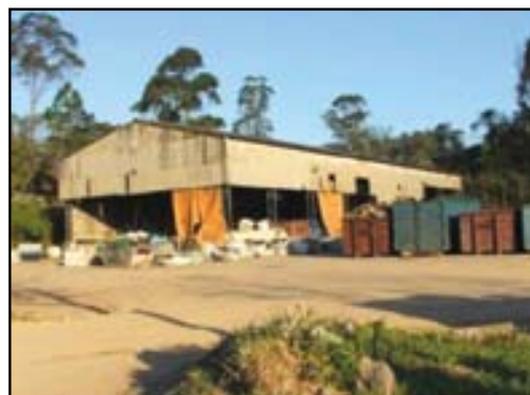


Figura 30. Central de triagem de materiais recicláveis provenientes da coleta seletiva.  
Fonte: Instituto Agir Sustentável.

de resíduos coletados seletivamente é de 600 toneladas por mês, o que corresponde a 3,5% do total dos resíduos sólidos urbanos gerados no município.

O chorume produzido é coletado por meio de drenos verticais e horizontais, implementados no interior do aterro, e encaminhado para a ETE da SABESP de São Caetano do Sul, a cerca de 22 km de distância. A quantidade de chorume produzida é 260 m<sup>3</sup> por dia. As despesas com o transporte e tratamento do chorume são da ordem de R\$ 15,00/m<sup>3</sup> e R\$ 16,80/m<sup>3</sup>, respectivamente. O aterro está analisando a possibilidade do chorume proveniente de sua nova célula ser tratado no próprio local.



Figura 31. Drenos de captação e queima do biogás.  
Fonte: Instituto Agir Sustentável..

Na parte mais recente do aterro o solo é impermeabilizado com manta impermeável de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) com 2 mm de espessura. Na outra parte, mais antiga, a impermeabilização de base foi feita com argila compactada.

Existem 81 drenos de captação de biogás distribuídos pelo aterro (Figura 31). Os drenos são instalados desde o fundo do aterro até, aproximadamente, 1 metro acima da superfície. Além desses drenos verticais, existem ainda tubulações horizontais por toda a extensão do aterro. A queima dos gases ocorre em cada dreno e o acendimento é manual.

### 5.1.2. Determinação do potencial de geração de biogás

Para o cálculo do potencial de geração de biogás no aterro, foram utilizadas as metodologias sugeridas pelo IPCC, contidas no “Módulo 6 – Lixo”, do “Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho”, de 1996 e no “Módulo 5 – Resíduos, Volume 2: Geração de Resíduos, Composição e Gestão de Dados”, e “Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos”, de 2006.

Os resultados obtidos foram:  $L_0 = 73,59 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tonelada de resíduo}$  (potencial de geração de metano)

A Tabela 8 apresenta a vazão de metano (m<sup>3</sup>/ano) no aterro de Santo André, desde o ano de 1986 (início de operação) até a previsão para 2036 (fim da geração de biogás, de acordo com a curva de decaimento). A Figura 32 mostra o comportamento da vazão do metano durante esses anos.

Em função da vazão de metano foram realizados os cálculos da potência (MW) e da energia (MWh/dia) disponíveis no aterro, conforme Tabela 9.

Uma consideração importante é que todas as instalações do sistema serão implantadas no início do investimento.

O comportamento da curva de disponibilidade de potência e energia pode ser observado nas

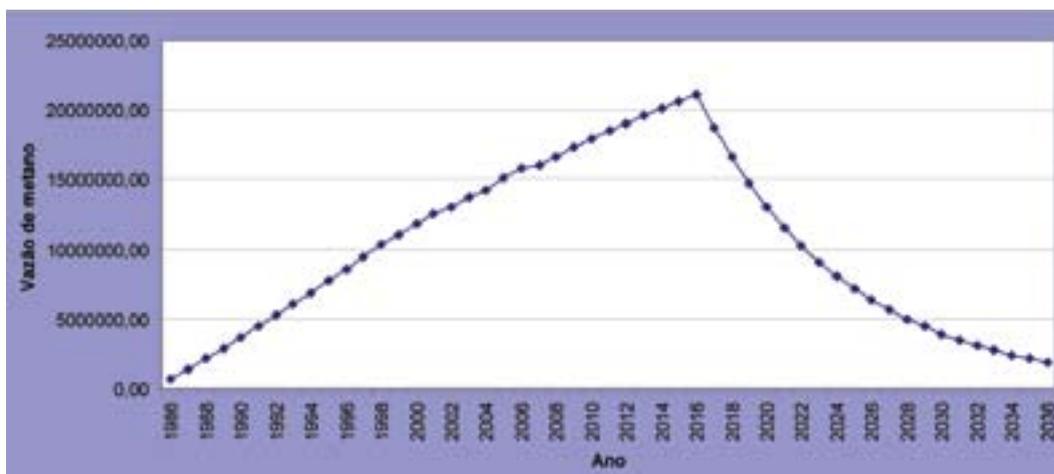


Figura 32. Comportamento da vazão de metano no aterro de Santo André.  
Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Tabela 8. Vazão de metano no aterro de Santo André. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /hora	Ton CH <sub>4</sub> /ano
1986	706473,21	80,65	506,40
1987	1421367,90	162,26	1018,84
1988	2143731,75	244,72	1536,63
1989	2890382,00	329,95	2071,83
1990	3658572,35	417,65	2622,46
1991	4445867,05	507,52	3186,80
1992	5250105,79	599,33	3763,28
1993	6069372,55	692,85	4350,53
1994	6901967,97	787,90	4947,33
1995	7746384,83	884,29	5552,61
1996	8601286,40	981,88	6165,40
1997	9465487,04	1080,54	6784,86
1998	10337935,24	1180,13	7410,23
1999	11085234,63	1265,44	7945,90
2000	11889324,38	1357,23	8522,27
2001	12514178,85	1428,56	8970,16
2002	13059544,14	1490,82	9361,08
2003	13711027,15	1565,19	9828,06
2004	14280009,83	1630,14	10235,91
2005	15137888,81	1728,07	10850,84
2006	15881097,37	1812,91	11383,57
2007	16063394,82	1833,72	11514,24
2008	16648962,08	1900,57	11933,98
2009	17303974,16	1975,34	12403,49
2010	17922987,84	2046,00	12847,20
2011	18510638,98	2113,09	13268,43
2012	19071056,88	2177,06	13670,13
2013	19607903,90	2238,35	14054,95
2014	20124445,94	2297,31	14425,20
2015	20623579,56	2354,29	14782,98
2016	21107273,31	2409,51	15129,69
2017	18720472,06	2137,04	13418,83
2018	16603569,26	1895,38	11901,44
2019	14726044,90	1681,06	10555,63
2020	13060830,17	1490,96	9362,00
2021	11583917,20	1322,36	8303,35
2022	10274012,90	1172,83	7364,41
2023	9112232,01	1040,21	6531,65
2024	8081824,79	922,58	5793,05
2025	7167935,58	818,26	5137,98
2026	6357388,55	725,73	4556,98
2027	5638497,83	643,66	4041,68
2028	5000898,96	570,88	3584,64
2029	4435399,49	506,32	3179,29
2030	3933846,45	449,07	2819,78
2031	3489008,81	398,29	2500,92
2032	3094473,22	353,25	2218,12
2033	2744551,54	313,30	1967,29
2034	2434198,85	277,88	1744,83
2035	2158940,71	246,45	1547,53
2036	1914808,63	218,59	1372,53

Tabela 9. Potência e energia disponíveis no aterro de Santo André. (\*) Taxa cambial considerada: US\$ 1,00 = R\$1,809  
 Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /h captado pelo projeto	Potência disponível (MW)	Energia disponível (MWh/dia)
1986	706473,21	48,39	0,09	1,81
1987	1421367,90	97,35	0,17	3,64
1988	2143731,75	146,83	0,26	5,49
1989	2890382,00	197,97	0,35	7,40
1990	3658572,35	250,59	0,45	9,37
1991	4445867,05	304,51	0,55	11,39
1992	5250105,79	359,60	0,64	13,45
1993	6069372,55	415,71	0,74	15,54
1994	6901967,97	472,74	0,85	17,68
1995	7746384,83	530,57	0,95	19,84
1996	8601286,40	589,13	1,05	22,03
1997	9465487,04	648,32	1,16	24,24
1998	10337935,24	708,08	1,27	26,47
1999	11085234,63	759,26	1,36	28,39
2000	11889324,38	814,34	1,46	30,45
2001	12514178,85	857,14	1,53	32,05
2002	13059544,14	894,49	1,60	33,44
2003	13711027,15	939,11	1,68	35,11
2004	14280009,83	978,08	1,75	36,57
2005	15137888,81	1036,84	1,86	38,77
2006	15881097,37	1087,75	1,95	40,67
2007	16063394,82	1100,23	1,97	41,14
2008	16648962,08	1140,34	2,04	42,64
2009	17303974,16	1185,20	2,12	44,31
2010	17922987,84	1227,60	2,20	45,90
2011	18510638,98	1267,85	2,27	47,40
2012	19071056,88	1306,24	2,34	48,84
2013	19607903,90	1343,01	2,40	50,21
2014	20124445,94	1378,39	2,47	51,54
2015	20623579,56	1412,57	2,53	52,82
2016	21107273,31	1445,70	2,59	54,05
2017	18720472,06	1282,22	2,30	47,94
2018	16603569,26	1137,23	2,04	42,52
2019	14726044,90	1008,63	1,81	37,71
2020	13060830,17	894,58	1,60	33,45
2021	11583917,20	793,42	1,42	29,67
2022	10274012,90	703,70	1,26	26,31
2023	9112232,01	624,13	1,12	23,34
2024	8081824,79	553,55	0,99	20,70
2025	7167935,58	490,95	0,88	18,36
2026	6357388,55	435,44	0,78	16,28
2027	5638497,83	386,20	0,69	14,44
2028	5000898,96	342,53	0,61	12,81
2029	4435399,49	303,79	0,54	11,36
2030	3933846,45	269,44	0,48	10,07
2031	3489008,81	238,97	0,43	8,94
2032	3094473,22	211,95	0,38	7,92
2033	2744551,54	187,98	0,34	7,03
2034	2434198,85	166,73	0,30	6,23
2035	2158940,71	147,87	0,26	5,53
2036	1914808,63	131,15	0,23	4,90

Figuras 33 e 34, respectivamente.

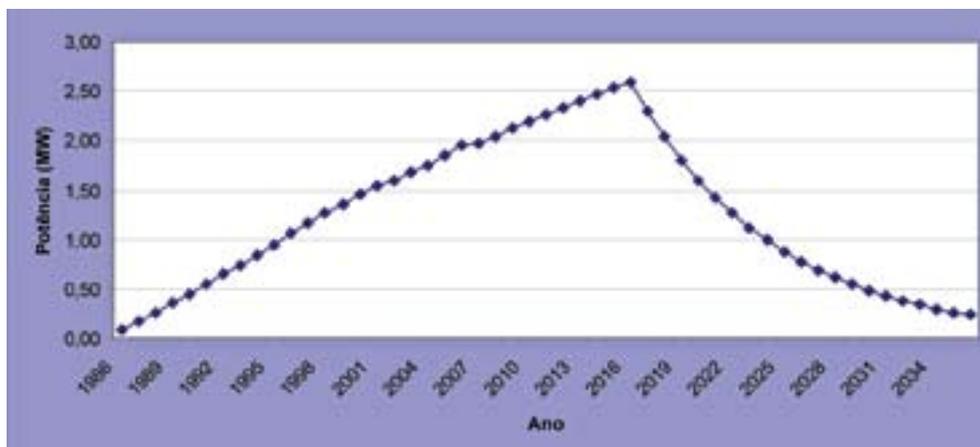


Figura 33. Curva de comportamento da potência. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

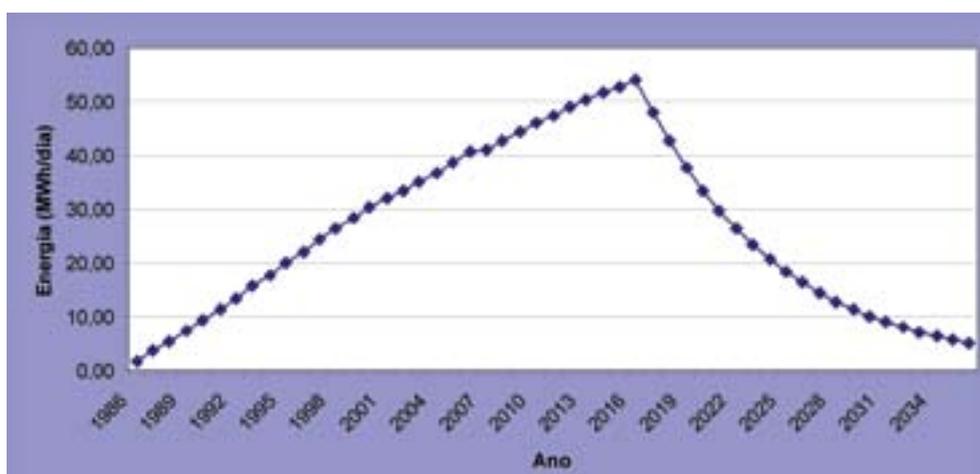


Figura 34. . – Curva de comportamento da energia. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

### 5.1.3. Projeto conceitual e pré-cálculo do sistema de extração de biogás

O sistema de extração de biogás é composto basicamente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado. Este pré-tratamento do biogás para a remoção de particulados e líquidos tem a finalidade de proteger os sopradores, aumentando a vida útil dos mesmos.

Considerando a projeção para geração de biogás no aterro de Santo André, conforme apresentado na Tabela 9, adotando-se a concentração de metano no biogás igual a 50% e considerando que 60% do biogás gerado será extraído pelo sistema de exaustão, as vazões de biogás extraído variarão de 2.455,2 a 2.891,4 Nm<sup>3</sup>/h entre 2010 e 2016. Assim, para o dimensionamento preliminar e as estimativas de ordem de grandeza do investimento para o sistema de extração, será considerada a vazão de projeto de 3.000Nm<sup>3</sup>/h.

A quantidade de drenos necessária ao projeto de extração deve ser calculada a partir de ensaios de permeabilidade e extração. Normalmente, o raio de influência de um dreno vertical é de 30 a 40 metros, sendo necessários em média 10 drenos por hectare. Como a nova fase do aterro terá aproximadamente 4 ha (40.000 m<sup>2</sup>), haverá a necessidade de instalação de aproximadamente 40 drenos.

Os drenos existentes e que apresentam boa vazão de biogás poderão ser adaptados e integrados ao sistema de captação. A adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, instalação de um cabeçote e interligação ao sistema de coleta.

O custo dos cabeçotes é bastante significativo no valor total do projeto. Assim, várias alternativas economicamente mais viáveis vêm sendo testadas nos projetos de extração de biogás, apresentando bons resultados e custos mais atrativos.

Convém ressaltar que os drenos existentes que não possuem vazão de biogás suficiente para serem adaptados e inseridos no sistema de captação de biogás, deverão ser selados para evitar o aporte de ar atmosférico no sistema de extração.

#### **5.1.4. Alternativas de aproveitamento do biogás**

Neste estudo de caso foram abordadas as seguintes alternativas para aproveitamento energético do biogás:

- a) Geração de energia elétrica com motores de combustão interna – Ciclo Otto;
- b) Geração de energia elétrica com microturbinas;
- c) Tratamento de chorume por evaporação, utilizando biogás para energia térmica;
- d) Uso veicular do biogás;
- e) Iluminação a biogás;

Uma consideração importante é que todas as instalações do sistema serão implantadas no início do investimento.

#### **5.1.5. Análise de viabilidade econômica**

A primeira premissa importante a ser considerada é a de que o aterro não será encerrado em 2009 e que uma nova fase, com 40.000 m<sup>2</sup>, será instalada em terreno contíguo à atual área de depósito de lixo.

A Tabela 10 apresenta a estimativa de redução de emissões de CH<sub>4</sub> e a respectiva geração de créditos de carbono. Para tanto, utilizou-se o cálculo da vazão total de CH<sub>4</sub> gerado no aterro entre 2010, ano em que se iniciaria hipoteticamente a extração de biogás, até o ano de 2036, considerando o decaimento das emissões de metano após o encerramento do aterro, previsto para 2016.

Para o cálculo da receita obtida anualmente com a venda dos créditos de carbono não foram consideradas variações no preço da tonelada de carbono (considerada constante e igual a US\$ 10,00).

##### **5.1.5.1. Alternativa 1a: Queima em flare com venda de créditos de carbono**

A estimativa de investimentos totais, incluindo projeto executivo, elaboração de documentos e registro do projeto para geração de créditos de carbono, equipamentos, tubulações, montagem eletromecânica, drenos (construção de novos e adaptação de existentes) é de R\$ 3.625.000,00 e o custo anual de manutenção é estimado em R\$ 383.835,00

Considerando o investimento inicial, as despesas operacionais e as receitas obtidas com a venda dos créditos, o retorno do investimento (payback) ocorreria em 2 anos e 8 meses.

Ressalta-se ainda que, apesar do período de geração de metano se estender até 2036 teoricamente, a operação do sistema de extração só é viável até o ano de 2028. A partir de então, o rendimento líquido passa a ser negativo e a continuidade de operação não é mais economicamente viável.

Tabela 10. Estimativa de Redução de Emissões. (\*) Taxa cambial considerada: US\$ 1,00 = R\$1,809. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

ANO	CH <sub>4</sub> extraído pelo sistema ton/ano (60% do total gerado)	CH <sub>4</sub> extraído pelo sistema ton/ano (60% do total gerado) X eficiência de queima 90% em flare	CO <sub>2</sub> eq. extraído pelo sistema ton/ano	CO <sub>2</sub> eq. Para geração de créditos (descontando emissões de linha de base) ton/ano	Receita obtida com os créditos (US\$)	Receita obtida com os créditos (R\$)(*)
2010	7708,32	6937,49	145687,22	116549,78	1.165.497,77	2.108.385,47
2011	7961,06	7164,95	150463,95	120371,16	1.203.711,61	2.177.514,30
2012	8202,08	7381,87	155019,31	124015,45	1.240.154,52	2.243.439,52
2013	8432,97	7589,67	159383,08	127506,47	1.275.064,66	2.306.591,97
2014	8655,12	7789,61	163581,80	130865,44	1.308.654,40	2.367.355,81
2015	8869,79	7982,81	167639,01	134111,21	1.341.112,11	2.426.071,81
2016	9077,82	8170,03	171570,72	137256,58	1.372.565,80	2.482.971,52
2017	8051,30	7246,17	152169,58	121735,67	1.217.356,65	2.202.198,19
2018	7140,86	6426,78	134962,31	107969,85	1.079.698,50	1.953.174,58
2019	6333,38	5700,04	119700,83	95760,67	957.606,66	1.732.310,45
2020	5617,20	5055,48	106165,11	84932,09	849.320,92	1.536.421,54
2021	4982,01	4483,81	94160,01	75328,01	753.280,08	1.362.683,66
2022	4418,65	3976,78	83512,44	66809,95	668.099,50	1.208.591,99
2023	3918,99	3527,09	74068,89	59255,11	592.551,10	1.071.924,94
2024	3475,83	3128,25	65693,21	52554,57	525.545,68	950.712,13
2025	3082,79	2774,51	58264,65	46611,72	466.117,20	843.206,02
2026	2734,19	2460,77	51676,11	41340,89	413.408,87	747.856,65
2027	2425,01	2182,50	45832,60	36666,08	366.660,78	663.289,35
2028	2150,79	1935,71	40649,87	32519,89	325.198,94	588.284,88
2029	1907,58	1716,82	36053,20	28842,56	288.425,58	521.761,88
2030	1691,87	1522,68	31976,32	25581,05	255.810,54	462.761,28
2031	1500,55	1350,50	28360,45	22688,36	226.883,60	410.432,43
2032	1330,87	1197,78	25153,46	20122,77	201.227,70	364.020,91
2033	1180,38	1062,34	22309,12	17847,30	178.472,96	322.857,59
2034	1046,90	942,21	19786,41	15829,13	158.291,32	286.348,99
2035	928,52	835,67	17548,98	14039,18	140.391,80	253.968,77
2036	823,52	741,17	15564,54	12451,64	124.516,36	225.250,09

Considerando a geração de créditos de carbono apenas até 2012, a continuidade da operação seria viável apenas até 2012, e, a partir de então, o rendimento líquido seria negativo. Apesar do investimento não ser inviável, os riscos envolvidos são muito elevados (atrasos na obra, não geração da quantidade prevista de biogás no primeiro ano de operação) para encorajar um investimento elevado com geração de receitas por apenas 2 anos.

#### **5.1.5.2. Alternativa 1b: Queima em flare sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono o investimento seria totalmente inviável, não havendo retorno do investimento além de haver custos mensais para operação e manutenção.

#### **5.1.5.3. Alternativa 2a: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica com venda de créditos de carbono**

O custo de implantação desta alternativa foi estimado em R\$ 14.742.820,00, com custos de manutenção anuais de R\$ 600.191,00

Considerando o preço médio de venda de energia igual R\$ 117,00/ MWh (média dos leilões de energia nos últimos três anos) a venda de créditos de carbono a US\$ 10,00 até 2031 (quando a operação não seria mais viável pois o rendimento líquido seria negativo) e a utilização do biogás para geração de energia elétrica em uma pequena central elétrica, o investimento seria viável com a venda dos créditos, com payback estimado em 5 anos e 10 meses.

Se a energia fosse vendida a R\$ 247,56, ou seja, pelo preço de compra pelo consumidor final, o payback ocorreria em 4 anos e 9 meses e a operação do sistema seria viável até 2035.

Considerando a venda de créditos de carbono até 2012 e a venda de energia a R\$ 117,00 / MWh, o investimento seria inviável, com payback superior a 25 anos.

#### **5.1.5.4. Alternativa 2b: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono, a receita proveniente da venda de energia não seria suficiente para viabilizar o investimento, sendo o payback maior que 25 anos.

#### **5.1.5.5. Alternativa 3a: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbinas com venda de créditos de carbono**

O custo de implantação desta alternativa foi estimado em R\$ 12.370.375,00, com custos de manutenção anuais de R\$ 552.743,00

Considerando o preço médio de venda de energia igual R\$ 117,00/ MWh (média dos leilões de energia nos últimos três anos) e a venda de créditos de carbono a US\$ 10,00 até 2032 (quando a operação não seria mais viável pois o rendimento líquido seria negativo) à utilização do biogás para geração de energia elétrica em microturbinas, o investimento seria viável com a venda dos créditos, com payback estimado em 9 anos e 9 meses.

Considerando a venda de créditos de carbono até 2012 e a venda de energia a R\$ 117,00 / MWh, o investimento seria inviável, com payback superior a 25 anos.

Em suma, o investimento em microturbinas só será viável com a continuidade de venda de créditos de carbono após 2012.

### **5.1.5.6. Alternativa 3b: Utilização do biogás para a geração de energia em microturbina sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono, a receita proveniente da venda de energia não seria suficiente para viabilizar o investimento, sendo o payback maior que 25 anos.

### **5.1.5.7. Utilização do biogás para o tratamento do chorume**

O tratamento de chorume no aterro de Santo André é feito atualmente em estação de tratamento de esgoto da SABESP, em São Caetano do Sul, SP. Para tanto, é necessário transportar diariamente o líquido até a estação de tratamento. A geração diária é de 260 m<sup>3</sup> de chorume.

Uma das alternativas possíveis para a utilização do biogás do aterro seria o tratamento do chorume por evaporação. Além da redução do volume do efluente em 70%, o vapor gerado no processo também poderia ser utilizado para energia térmica.

Na análise de viabilidade foi considerado apenas o processo de evaporação, com lançamento do vapor gerado para a atmosfera, após tratamento por filtração.

A parcela de biogás utilizada no evaporador foi considerada também nos cálculos de geração de créditos de carbono, como se fosse queimada em flare.

Atualmente, o custo de transporte do chorume até a estação de tratamento da SABESP é de R\$ 15,00/m<sup>3</sup> e o custo de tratamento é de R\$ 16,80/m<sup>3</sup>. Considerando a geração diária de 260 m<sup>3</sup> de chorume, o aterro tem um gasto anual de R\$ 2.976.480,00 por ano. Nos cálculos este valor anual foi considerado como uma receita, pois é um valor que o aterro deixará de gastar caso o evaporador seja implantado.

A utilização de parte do biogás extraído para evaporação de chorume é uma alternativa de investimento viável, com payback de 2 anos e 3 meses, desde que esteja inserido num projeto de geração de créditos de carbono.

Mesmo sem a geração de créditos de carbono, o investimento é viável, com taxa de retorno de 3 anos.

Convém ressaltar que nesta alternativa o sistema é viável até 2036, quando a taxa de geração de metano estará em seu limite mínimo.

### **5.1.5.8. Utilização do biogás como combustível para os caminhões de coleta de lixo**

A utilização do biogás como combustível veicular é possível desde que o mesmo seja tratado para atingir os mesmos padrões do GNV. No entanto, não há tecnologias nacionais comprovadamente eficientes para esta finalidade e com custo competitivo em relação aos combustíveis convencionais.

Dada à baixa escala de produção e os elevados custos de implantação, além da incerteza quanto à eficiência deste alternativa, considerou-se que esta aplicação não é tecnicamente viável para o aterro de Santo André, motivo pelo qual não foram detalhadas as análises financeiras.

Existem equipamentos importados que garantem eficiência elevada, mas os mesmos nunca foram testados no Brasil e necessitam de adaptações para as características do biogás nacional.

### **5.1.5.9. Utilização do biogás para iluminação a gás**

A alternativa de utilização do biogás para iluminação a gás, apesar de apresentar tecnologia nacional disponível, a mesma ainda está em fase de ajustes e adequações, sendo que os sistemas já instalados apresentam falhas operacionais e defeitos constantes.

Por este motivo, esta alternativa foi considerada tecnicamente inviável para o aterro de Santo André e não foi realizada análise econômica para a mesma.

No entanto, buscou-se o custo de investimento, conforme segue: custo de 01 poste a biogás, com consumo de 50 m<sup>3</sup> de biogás/h: R\$ 43.000,00 (custo de instalação não incluso). Como a vazão de biogás seria de 3.000 m<sup>3</sup>/h, seria possível abastecer 60 postes, com investimento superior a R\$ 2.580.000,00 apenas em postes.

### 5.1.6. Indicação do sistema tecnicamente viável

Considerando as alternativas de reaproveitamento do biogás apresentadas, conclui-se que tecnicamente todas podem ser aplicadas ao aterro de Santo André.

No entanto, do ponto de vista econômico, conclui-se que qualquer alternativa que não inclua a venda de créditos de carbono será economicamente inviável, exceto a implantação do evaporador de chorume. Esta alternativa é a mais viável para o aterro de Santo André, pois independe da geração de créditos de carbono.

## 5.2. Aterro Municipal de Campinas (Delta A)

### 5.2.1. Visão geral

O município de Campinas está localizado a aproximadamente 120 km da cidade de São Paulo, possuindo uma área de 796 km<sup>2</sup> e cerca de 1.040.000 habitantes.

A prefeitura municipal de Campinas possui um aterro, denominado Aterro Sanitário Delta A (Figura 35), que iniciou suas operações em 1992, com encerramento previsto para 2011, caso seja aprovado pelo órgão ambiental o pedido de elevação de cota de 630 m para 640 m. Caso contrário, encerrará em dezembro de 2010. O Delta A possui uma área de 52 hectares, sendo 26 destinados à disposição de resíduos e está localizado a cerca 20 km de distância do centro urbano.



Figura 35. Aterro Delta A no município de Campinas. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Haverá a construção de uma nova célula em área contígua ao aterro atual e estas duas áreas são separadas apenas por um canal. Essa nova célula será denominada Delta B e terá uma área de 40 hectares. A previsão para início das atividades do Delta B é janeiro de 2012 e será operado por mais de 20 anos.



Figura 36. Área onde está prevista a construção do Delta B. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Praticamente todo o resíduo sólido urbano depositado no aterro Delta A é proveniente de Campinas. O município possui 100% de coleta dos resíduos. Atualmente cerca de 27.000 toneladas de resíduos são depositadas por mês no aterro. O seu último IQR (Índice de Qualidade de Aterros) foi 8,6.

O Delta A é gerenciado pelo município de Campinas, por meio do Departamento de Limpeza Urbana. O aterro é operado pelo consórcio de empresas privadas denominado TECAM. Entre os parceiros do consórcio estão Severo Vilares, Tejofran, Delta e MB Engenharia. A TECAM é a responsável pela coleta dos resíduos sólidos urbanos.

A coleta é realizada com caminhões caçamba compactadora. Em certas regiões a coleta é diária, em outras, é alternada no período diurno e noturno.

A TECAM realiza coleta seletiva no município de porta em porta e por meio de pontos de entrega voluntária. A coleta é realizada de 1 a 2 vezes por semana e são utilizados 5 caminhões compactadores, com capacidade de transportar 2 toneladas cada um por viagem, e 2 caminhões gaiola. Cerca de 600 toneladas de resíduos recicláveis são coletados por mês.

Existem centrais de triagem instaladas no município, operadas por 14 cooperativas e 3 incubadoras (CRCA, EDH e ITCP – Unicamp).

O município de Campinas realiza compostagem dos resíduos de podas e jardinagem, resíduos provenientes do CEASA (Centrais de Abastecimento de Campinas) e lodo da ETE Sanasa Piçarrão (este ainda é um projeto piloto).

O processo de compostagem é operado pela TECAM e supervisionado pela PMC (Prefeitura Municipal de Campinas) sendo processadas cerca de 80 toneladas por dia de resíduos. O material resultante desse processo é terra orgânica de qualidade, destinado aos canteiros, praças e municípios da cidade (Departamento de Parques e Jardins).

Os resíduos dos serviços de saúde são tratados em sistema de microondas instalado no próprio aterro. O resíduo final resultante deste processo é disposto no aterro. São tratados cerca de 160 toneladas por mês de resíduos provenientes de ambulatórios e 120 toneladas por mês de resíduos provenientes de hospitais. Anteriormente, esses resíduos eram incinerados.

A prefeitura de Campinas possui uma central de beneficiamento / reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) do município, instalada ao lado do aterro atual, recebendo em média 100 caçambas por dia, com capacidade de 5 m<sup>3</sup> cada, resultando em aproximadamente 650 toneladas de RCC por dia.

A impermeabilização do solo do aterro é realizada por meio de argila compactada de 70 cm de espessura. Nas camadas de base mais recentes há manta impermeável de PEAD de 2 mm de espessura. A cobertura do topo é realizada com uma camada de solo de 40 cm de espessura.

O chorume produzido no aterro é captado por meio de drenos verticais e horizontais no interior do mesmo. Há um sistema de tratamento de chorume no local que funciona através da técnica de lodo ativado (sistema biológico), porém o mesmo está desativado. O chorume então é encaminhado para a ETE da SANASA de Campinas por meio de caminhões tipo esgota fossa. A quantidade de chorume produzido e tratado é de, aproximadamente, 190 m<sup>3</sup> por dia.

Existem 110 drenos de captação de biogás distribuídos pelo aterro. Os drenos são instalados desde o fundo do aterro até, aproximadamente, 1 metro acima da superfície. Além desses drenos na vertical, existe ainda tubulação horizontal por toda a extensão do aterro. A queima dos gases ocorre em cada dreno e o acendimento é manual.

### **5.2.2.Determinação do potencial de produção de biogás**

Para o cálculo do potencial de geração de biogás no aterro, foram utilizadas as metodologias sugeridas pelo IPCC, contidas no Módulo 6 – Lixo, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996 e no Módulo 5 – Resíduos, Volume 2: Geração de Resíduos, Composição e Gestão de Dados, e Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos, de 2006.

Os resultados obtidos são mostrados a seguir: L0 = 98,19 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonelada de resíduo (potencial de geração de biogás)

A Tabela 11 apresenta a vazão de metano (m<sup>3</sup>/ano) no aterro Delta A, desde o ano de 1992 (início de

operação) até a previsão para 2042, quando se encerraria a produção de biogás, de acordo com a curva de decaimento. A Figura 37 mostra o comportamento da vazão do metano durante esses anos.

Assim, em função da vazão de metano, podem-se realizar os cálculos da potência (MW) e da energia

Ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /hora	Toneladas de CH <sub>4</sub> /ano
1992	722.290,70	83,60	517,74
1993	2.807.486,47	324,94	2.012,41
1994	4.713.710,25	545,57	3.378,79
1995	6.752.711,25	781,56	4.840,34
1996	8.855.597,81	1024,95	6.347,69
1997	10.894.741,61	1260,97	7.809,35
1998	12.722.496,32	1472,51	9.119,49
1999	14.427.598,61	1669,86	10.341,70
2000	15.924.505,90	1843,11	11.414,69
2001	17.327.963,48	2005,55	12.420,68
2002	18.651.322,43	2158,72	13.369,27
2003	19.580.300,08	2266,24	14.035,16
2004	20.588.163,00	2382,89	14.757,60
2005	21.442.355,58	2481,75	15.369,66
2006	22.326.521,61	2584,09	16.003,65
2007	23.400.984,49	2708,45	16.773,83
2008	24.450.058,11	2829,87	17.525,80
2009	25.668.910,37	2970,94	18.399,47
2010	26.869.444,98	3109,89	19.260,02
2011	28.067.318,57	3247,37	20.111,49
2012	24.884.609,24	2880,16	17.837,29
2013	22.070.668,49	2554,48	16.820,26
2014	19.574.926,94	2265,62	14.031,31
2015	17.361.402,75	2009,42	12.444,65
2016	15.398.162,91	1782,20	11.037,42
2017	13.656.963,11	1580,67	9.789,31
2018	12.112.639,66	1401,93	8.662,34
2019	10.742.947,68	1243,40	7.700,54
2020	9.528.139,65	1102,79	6.829,77
2021	8.450.701,95	978,09	6.057,46
2022	7.495.100,27	867,49	5.372,49
2023	6.647.557,60	769,39	4.764,97
2024	5.895.854,69	682,39	4.226,15
2025	5.229.154,02	605,23	3.748,26
2026	4.637.843,57	536,79	3.324,41
2027	4.113.398,24	476,09	2.948,48
2028	3.648.256,96	422,25	2.615,07
2029	3.235.713,66	374,50	2.319,36
2030	2.869.820,57	332,16	2.057,09
2031	2.545.302,52	294,60	1.824,47
2032	2.257.480,82	261,28	1.616,16
2033	2.002.205,87	231,74	1.435,18
2034	1.775.797,31	205,53	1.272,69
2035	1.574.990,92	182,29	1.128,95
2036	1.396.891,64	161,68	1.001,29
2037	1.238.931,74	143,39	888,07
2038	1.098.833,65	127,18	787,64
2039	974.578,23	112,80	698,58
2040	864.373,35	100,04	619,58
2041	768.830,39	88,73	549,52
2042	679.940,16	78,70	487,38

Tabela 11 - Vazão de metano no aterro Delta. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

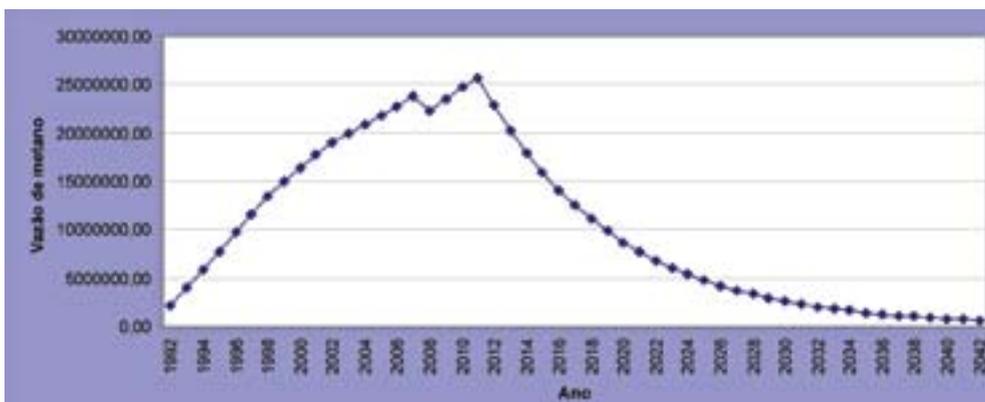


Figura 37. Comportamento da vazão de metano no aterro de Campinas. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

(MWh/dia) disponíveis no aterro, conforme Tabela 12.

Ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> gerado/ano	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /h captado pelo projeto	Potência disponível (MW)	Energia disponível (MWh/dia)
1992	722.290,70	-	-	-
1993	2.807.486,47	-	-	-
1994	4.713.710,25	-	-	-
1995	6.752.711,25	-	-	-
1996	8.855.597,81	-	-	-
1997	10.894.741,61	-	-	-
1998	12.722.496,32	-	-	-
1999	14.427.598,61	-	-	-
2000	15.924.505,90	-	-	-
2001	17.327.963,48	-	-	-
2002	18.651.322,43	-	-	-
2003	19.580.300,08	-	-	-
2004	20.588.183,00	-	-	-
2005	21.442.355,58	-	-	-
2006	22.326.521,61	-	-	-
2007	23.400.984,49	-	-	-
2008	24.450.058,11	-	-	-
2009	25.668.910,37	-	-	-
2010	26.869.444,98	1.865,93	3,30	68,81
2011	28.057.318,57	1.948,42	3,44	71,85
2012	24.884.609,24	1.728,10	3,05	63,73
2013	22.070.668,49	1.532,69	2,71	56,52
2014	19.574.926,94	1.359,37	2,40	50,13
2015	17.361.402,75	1.205,65	2,13	44,46
2016	15.398.182,91	1.069,32	1,89	39,43
2017	13.656.963,11	946,40	1,68	34,97
2018	12.112.639,68	841,16	1,49	31,02
2019	10.742.947,68	746,04	1,32	27,51
2020	9.528.139,85	661,68	1,17	24,40
2021	8.450.701,95	586,85	1,04	21,64
2022	7.495.100,27	520,49	0,92	19,19
2023	6.647.557,60	461,64	0,82	17,02
2024	5.895.854,69	409,43	0,72	15,10
2025	5.229.154,02	363,14	0,64	13,39
2026	4.637.843,57	322,07	0,57	11,88
2027	4.113.398,24	285,65	0,50	10,53
2028	3.648.256,96	253,35	0,45	9,34
2029	3.235.713,66	224,70	0,40	8,29
2030	2.869.820,57	199,29	0,35	7,35
2031	2.545.302,52	176,76	0,31	6,52
2032	2.257.480,82	156,77	0,28	5,78
2033	2.002.205,87	139,04	0,25	5,13
2034	1.775.797,31	123,32	0,22	4,55
2035	1.574.990,92	109,37	0,19	4,03
2036	1.396.891,64	97,01	0,17	3,58
2037	1.238.931,74	86,04	0,15	3,17
2038	1.098.833,88	76,31	0,13	2,81
2039	974.578,23	67,68	0,12	2,50
2040	864.373,35	60,03	0,11	2,21
2041	766.630,39	53,24	0,09	1,96
2042	679.940,16	47,22	0,08	1,74

Tabela 12. Potência e energia disponíveis no aterro Delta A. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

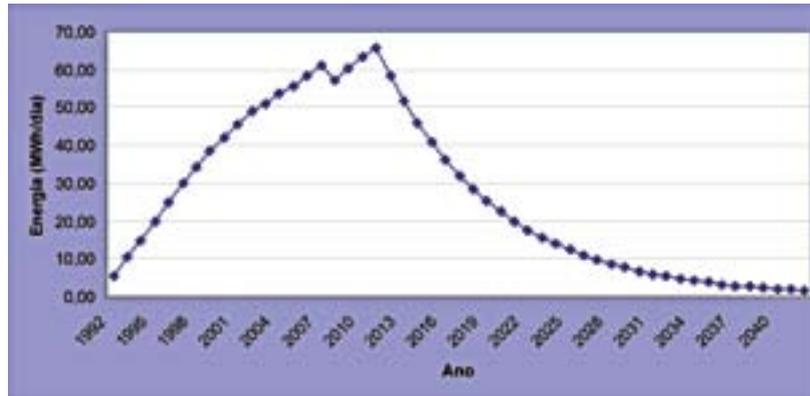


Figura 38. Curva de comportamento da potência Fonte: Instituto Agir Sustentável.

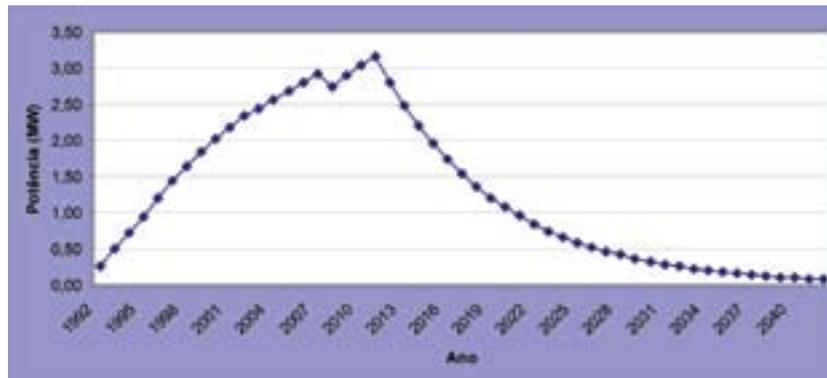


Figura 39. Curva de comportamento da energia Fonte: Instituto Agir Sustentável.

### 5.2.3. Projeto conceitual e pré-cálculo do sistema de extração de biogás

Independentemente da melhor alternativa técnica para utilização do metano proveniente da biodegradação do lixo, uma parte importante do projeto é o sistema utilizado para a extração do biogás do aterro.

Considerando a projeção para geração de biogás no aterro de Campinas, conforme apresentado na Tabela 11, a geração horária de metano variará de 3.110 a 3.247 Nm<sup>3</sup>/h entre 2010 e 2011. Adotando-se a concentração de metano no biogás igual a 50% e considerando que 60% do biogás gerado será extraído pelo sistema de exaustão, as vazões de biogás extraído variará de 3.732 a 3.897 Nm<sup>3</sup>/h no período supra citado.

Assim, para o dimensionamento preliminar e as estimativas de ordem de grandeza do investimento para o sistema de extração, será considerada a vazão de projeto de 3.900 Nm<sup>3</sup>/h.

A atual frente de trabalho no aterro está distante da nova área de deposição de resíduos. Assim, deve-se avaliar duas possibilidades: 1) implantar o sistema de extração no Delta A, de forma a atender aos dois aterros, aumentando o comprimento das tubulações de extração; ou 2) avaliar a possibilidade de re-alocar o sistema ao longo do período de operação do segundo aterro.

O sistema de extração é composto basicamente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado. Este pré-tratamento do biogás para a remoção de particulados e líquidos tem a finalidade de proteger os sopradores, aumentando a vida útil dos mesmos.

A vazão nominal do soprador para o aterro de Campinas será de 3900 Nm<sup>3</sup>/h.

A Figura 40 apresenta um desenho esquemático típico de um sistema de extração de biogás.

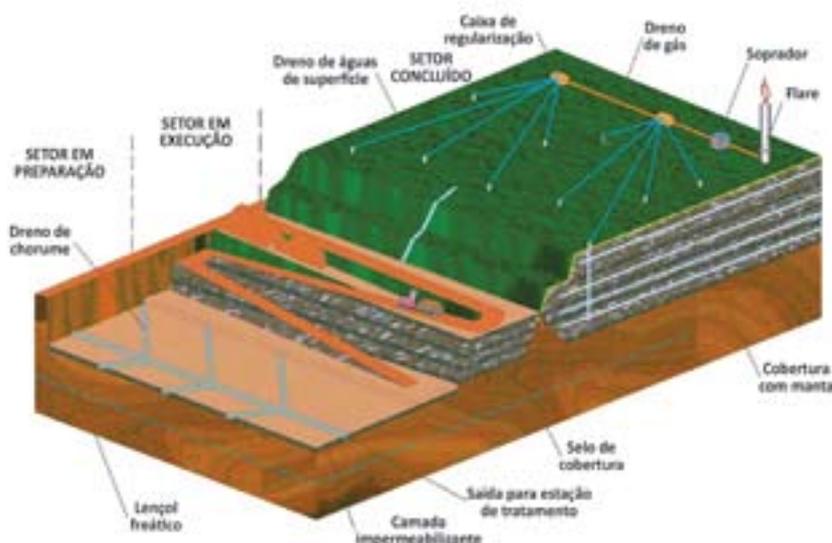


Figura 40.  
Desenho esquemático  
de um sistema de  
captação de biogás.  
Fonte: Gás de Aterro  
para Projeto de Energia  
no Aterro Lara - Mauá  
- SP. Documento de  
Concepção de Projeto -  
julho/2004.

Nos itens subseqüentes serão descritos os principais processos utilizados no sistema de captação e tratamento de biogás.

A quantidade de drenos necessária ao projeto de extração deve ser calculada a partir de ensaios de permeabilidade e extração. Normalmente, o raio de influência de um dreno vertical é de 30 a 40 metros, sendo necessários em média 10 drenos por hectare. Como a nova fase do aterro terá aproximadamente 4 ha (40.000 m<sup>2</sup>), haverá a necessidade de instalação de aproximadamente 40 drenos.

Os drenos existentes e que apresentam boa vazão de biogás poderão ser adaptados e integrados ao sistema de captação. A adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, instalação de um cabeçote e interligação ao sistema de coleta.

Convém ressaltar que os drenos existentes que não possuem vazão de biogás suficiente para serem adaptados e inseridos no sistema de captação de biogás, deverão ser selados para evitar o aporte de ar atmosférico no sistema de extração.

#### 5.2.4. Alternativas de aproveitamento do biogás

Neste estudo de caso foram abordadas as seguintes alternativas para aproveitamento energético do biogás:

- a) Geração de energia elétrica com motores de combustão interna – Ciclo Otto;
- b) Geração de energia elétrica com microturbinas;
- c) Tratamento de chorume por evaporação, utilizando biogás para energia térmica;
- d) Uso veicular do biogás;
- e) Iluminação a biogás;

#### 5.2.5. Análise de viabilidade econômica

A primeira premissa importante a ser considerada é a de que o aterro será encerrado em 2011 mas um outro aterro, com 40.000 m<sup>2</sup>, será instalado em terreno contíguo à atual área de depósito de lixo.

Admite-se ainda que em toda a extensão do novo aterro os sistemas de impermeabilização de base serão realizados com manta de PEAD e que a cobertura diária do lixo depositado será feita com camada de no mínimo 20 cm de solo argiloso.

A Tabela 13 apresenta a estimativa de redução de emissões de CH<sub>4</sub> e a respectiva geração de créditos de carbono. Para tanto, utilizou-se o cálculo da vazão total de CH<sub>4</sub> gerado no aterro entre 2010, ano em que se iniciaria hipoteticamente a extração de biogás, até o ano de 2042, considerando o decaimento das emissões de metano após o encerramento do aterro, previsto para 2011.

Do total de CH<sub>4</sub> gerado, estima-se que 60% será coletado pelo sistema de extração e que, deste total, 90% será oxidado termicamente em um flare enclausurado, ou seja, um flare com eficiência de queima de 90%. Além disto, para o cálculo dos créditos de carbono é necessário descontar as emissões da linha de base, ou seja, é necessário descontar o total de metano atualmente queimado ao ar livre nos drenos de gás existentes. Estima-se que 20% do total de metano gerado seja queimado nos drenos, portanto, apenas 80% será passível de geração de créditos, descontando-se ainda a ineficiência de coleta e a ineficiência de queima.

Para o cálculo da receita obtida anualmente com a venda dos créditos de carbono não foram consideradas variações no preço da tonelada de carbono (considerada constante e igual a US\$10,00).

ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES (T CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE)						
ANO	CH <sub>4</sub> extraído pelo sistema ton/ ano (60% do total gerado)	CH <sub>4</sub> extraído pelo sistema ton/ ano (60% do total gerado) X eficiência de queima 90% em flare	CO <sub>2eq</sub> extraído pelo sistema ton/ ano	CO <sub>2eq</sub> Para geração de créditos (descontando emissões de linha de base) ton/ ano	Receita obtida com os créditos (US\$)	Receita obtida com os créditos (R\$)
2010	10625,77	9563,19	200827,00	160661,60	1.606.615,96	2.906.368,27
2011	11061,10	9954,99	209054,77	167243,82	1.672.438,16	3.025.440,62
2012	9810,31	8829,28	185414,95	148331,96	1.483.319,58	2.683.325,12
2013	8700,97	7830,87	164448,31	131558,64	1.315.586,45	2.379.895,89
2014	7717,07	6945,36	145852,56	116682,05	1.166.820,51	2.110.778,30
2015	6844,42	6159,98	129359,62	103487,70	1.034.876,95	1.872.092,41
2016	6070,46	5463,41	114731,69	91785,35	917.853,52	1.660.397,02
2017	5384,01	4845,61	101757,88	81406,30	814.083,05	1.306.114,56
2018	4775,19	4297,67	90251,14	72200,92	722.009,15	1.306.114,56
2019	4235,22	3811,69	80045,58	64036,47	640.364,67	1.158.419,69
2020	3756,30	3380,67	70994,06	58795,25	587.952,51	1.027.425,10
2021	331,54	2998,39	62966,09	50372,87	503.728,69	911.245,20
2022	2954,81	2659,33	55845,91	44676,73	446.767,27	808.201,99
2023	2620,68	2358,61	49530,88	39624,70	396.247,02	716.810,87
2024	2324,34	2091,90	43929,95	35143,96	351.439,58	635.754,21
2025	2061,50	1855,35	38962,37	31169,89	311.698,95	583.863,40
2026	1828,39	1645,55	34556,52	27645,22	276.425,17	500.101,97
2027	1621,63	1459,47	30648,88	24519,11	245.191,08	443.550,66
2028	1438,26	1294,43	27183,12	21746,50	217.464,98	393.394,14
2029	1275,62	1148,06	24109,27	19287,41	192.974,01	309.454,79
2030	1131,38	1018,24	21383,00	17106,40	171.064,01	309.454,79
2031	1003,44	903,10	18965,02	15172,02	151.720,17	274.461,78
2032	889,97	800,97	16820,46	13456,37	134.563,72	243.425,76
2033	789,33	710,40	14918,41	11934,73	119.347,31	215.899,28
2034	700,08	630,07	13231,45	10685,16	106.851,57	191.485,49
2035	620,91	558,82	11735,24	9388,19	93.881,92	169.832,39
2036	550,70	495,63	10408,22	8326,58	83.265,79	150.627,92
2037	488,43	439,58	9231,27	7385,01	73.850,13	133.594,89
2038	433,20	398,88	8187,40	6549,92	65.499,19	116.488,04
2039	384,21	345,79	7281,57	5809,26	58.092,57	105.089,46
2040	340,76	306,69	6440,44	5152,35	51.523,49	93.205,99
2041	302,23	272,01	5712,15	4569,72	45.697,24	82.666,30
2042	268,05	241,25	5066,23	4052,98	40.529,81	73.318,43

Tabela 13. Estimativa de Redução de Emissões. (\*) Taxa cambial considerada: US\$ 1,00 = R\$1,809. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Uma consideração importante é que todas as instalações do sistema serão implantadas no início do investimento. Isto não é usual para aterros; normalmente as instalações são feitas progressivamente, a medida que há aumento na produção de biogás. No caso de Campinas, no entanto, nota-se que a diferença entre a geração de biogás no primeiro ano do projeto (considerado 2010) e no ano de encerramento (2011) é pequena e decresce a partir deste ano, caso o novo aterro não seja instalado.

Outro fator que influenciará de forma definitiva a viabilidade dos investimentos é o período de geração de créditos de carbono. Atualmente, sabe-se que até 2012 o Brasil não faz parte do anexo B do Protocolo de Quioto, ou seja, está enquadrado como país em desenvolvimento, para o qual não há compromisso de redução de emissões. Se, a partir da Conferência das Partes em 2012, o cenário se alterar e o Brasil tiver metas de redução de emissões, a comercialização dos créditos de carbono poderá ser alterada.

### **5.2.6. Alternativa 1a: Queima em flare com venda de créditos de carbono**

A estimativa de investimentos totais, incluindo projeto executivo, elaboração de documentos e registro do projeto para geração de créditos de carbono, equipamentos, tubulações, montagem eletromecânica, drenos (construção de novos e adaptação de existentes) é da ordem de R\$ 4.079.500,00.

Para a estimativa de custos de implantação de novos drenos e adaptação dos existentes foi considerada a utilização de cabeçotes simplificados, manifolds com cada entrada atendendo a um grupo de até 10 drenos e utilização de tubulação flexível (mangueiras) em vários trechos.

Para a análise de viabilidade do investimento, considerou-se um custo de oportunidade de 10% ao ano. Custos de impostos foram admitidos inclusos no preço de venda dos créditos, ou seja, o preço médio de US\$ 10 por tonelada foi considerado já com o desconto dos impostos (Segundo a RST, 2009, os preços brutos de venda variam entre US\$ 7.00 e US\$ 26.00).

Considerando as estimativas do investimento inicial, as despesas operacionais e as receitas obtidas com a venda dos créditos, o retorno do investimento ocorreria em 2 anos e 11 meses.

Ressalta-se ainda que, apesar do período de geração de metano se estender até 2036 teoricamente, a operação do sistema de extração só é viável até o ano de 2028. A partir de então, o rendimento líquido passa a ser negativo e a continuidade de operação não é mais economicamente viável.

Considerando a geração de créditos de carbono apenas até 2012, a continuidade da operação seria viável apenas até 2012, e, a partir de então, o rendimento líquido seria negativo. Apesar do investimento não ser inviável, os riscos envolvidos são muito elevados (atrasos na obra, não geração da quantidade prevista de biogás no primeiro ano de operação) para encorajar um investimento elevado com geração de receitas por apenas 2 anos.

#### **5.2.6.1. Alternativa 1b: Queima em flare sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono o investimento seria totalmente inviável, não havendo retorno do investimento além de haver custos mensais para operação e manutenção.

#### **5.2.6.2. Alternativa 2a: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica com venda de créditos de carbono**

O custo de implantação desta alternativa foi estimado em R\$15.197.320,00, com custos de manutenção anuais de R\$400.946,00.

Considerando o preço médio de venda de energia igual R\$ 117,00/ MWh (média dos leilões de

energia nos últimos três anos), a venda de créditos de carbono a US\$ 10.00 até 2031 (quando a operação não seria mais viável pois o rendimento líquido seria negativo) e a utilização do biogás para geração de energia elétrica em uma pequena central elétrica, o investimento seria viável com a venda dos créditos, com payback estimado em 5 anos e 7 meses.

Considerando a venda de créditos de carbono até 2012 e a venda de energia a R\$ 117,00 / MWh, o investimento seria inviável, com payback superior a 25 anos.

Em suma, o investimento em uma pequena central elétrica só será viável com a continuidade de venda de créditos de carbono após 2012.

#### **5.2.6.3 Alternativa 2b: Utilização do biogás para a geração de energia em pequena central elétrica sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono, a receita proveniente da venda de energia não seria suficiente para viabilizar o investimento, sendo o payback maior que 25 anos.

#### **5.2.6.4. Alternativa 3a: Utilização do biogás para a geração de energia em micro-turbinas com venda de créditos de carbono**

O custo de implantação desta alternativa foi estimado em R\$ 12.824.875, com custos de manutenção anuais de R\$ 433.498,00.

Considerando o preço médio de venda de energia igual R\$ 117,00/ MWh (média dos leilões de energia nos últimos três anos), a venda de créditos de carbono a US\$ 10.00 até 2032 (quando a operação não seria mais viável pois o rendimento líquido seria negativo) e a utilização do biogás para geração de energia elétrica em microturbinas, o investimento seria viável com a venda dos créditos, com payback estimado em 9 anos e 9 meses.

Considerando a venda de créditos de carbono até 2012 e a venda de energia a R\$ 117,00 / MWh, o investimento seria inviável, com payback superior a 25 anos.

Em suma, o investimento em microturbinas só será viável com a continuidade de venda de créditos de carbono após 2012.

#### **5.2.6.5. Alternativa 3b: Utilização do biogás para a geração de energia em micro-turbina sem venda de créditos de carbono**

Sem a venda dos créditos de carbono, a receita proveniente da venda de energia não seria suficiente para viabilizar o investimento, sendo o payback maior que 25 anos.

#### **5.2.6.6. Utilização do biogás para o tratamento do chorume**

O tratamento de chorume gerado pelo aterro de Campinas é realizado atualmente em estação de tratamento de esgoto da SANASA, no mesmo município. Para tanto, é necessário transportar diariamente o líquido até a estação de tratamento. A geração diária é de 190 m<sup>3</sup> de chorume.

Uma das alternativas possíveis para a utilização do biogás do aterro seria o tratamento do chorume por evaporação. Além da redução do volume do efluente em 70%, o vapor gerado no processo também poderia ser utilizado para energia térmica.

Na análise de viabilidade foi considerado apenas o processo de evaporação, com lançamento do vapor gerado para a atmosfera, após tratamento por filtração.

A parcela de biogás utilizada no evaporador foi considerada também nos cálculos de geração de créditos de carbono, como se fosse queimada em flare.

Atualmente, o custo de transporte do chorume até a estação de tratamento da SANASA é de R\$90.000,00/mês e o custo de tratamento é de R\$16,80/m<sup>3</sup> (estes custos foram informados pelo aterro). Considerando a geração diária de 190 m<sup>3</sup> de chorume, o gasto com tratamento e transporte de chorume é de R\$ 2.229.120 por ano. Nos cálculos, este valor anual foi considerado como uma receita, pois é um valor que o aterro deixará de gastar caso o evaporador seja implantado.

Além disso, no sistema de evaporação do aterro de Campinas seriam tratados também 530 m<sup>3</sup>/mês de chorume provenientes do antigo aterro Pirelli e 1.400 m<sup>3</sup>/mês provenientes do aterro Santa Bárbara. Estes dois aterros já foram encerrados e a remediação dos mesmos é uma condicionante de licença do aterro Delta A. Os custos atuais de transporte e tratamento destas vazões totalizam R\$ 519.357,23 por ano.

Considerando que o custo anual de transporte de chorume dos aterros Santa Bárbara e Pirelli até o aterro Delta A seria de R\$130.269,00 por ano (levando-se em conta a redução de distâncias percorridas), o aterro economizaria um total de R\$2.748.477,00 por ano. Este valor foi considerado como uma receita nos cálculos econômicos, pois representa um valor que o aterro deixaria de gastar por ano.

A utilização de parte do biogás extraído para evaporação de chorume é uma alternativa de investimento viável, com payback de 1 ano e 2 meses, desde que esteja inserido num projeto de geração de créditos de carbono.

Mesmo sem a geração de créditos de carbono, o investimento é viável, com taxa de retorno de 2 anos e 9 meses.

#### **5.2.6.7 Utilização do biogás na frota do aterro**

A utilização do biogás como combustível veicular é possível desde que o mesmo seja tratado para atingir os mesmos padrões do GNV. No entanto, não há tecnologias nacionais comprovadamente eficientes para esta finalidade e com custo competitivo em relação aos combustíveis convencionais.

Dada à baixa escala de produção e os elevados custos de implantação, além da incerteza quanto à eficiência desta alternativa, considerou-se que esta aplicação não é tecnicamente viável para o aterro de Campinas, motivo pelo qual não foram detalhadas as análises financeiras.

Existem equipamentos importados que garantem eficiência elevada, mas os mesmos nunca foram testados no Brasil e necessitam de adaptações para as características do biogás nacional.

#### **5.2.6.8. Utilização do biogás para iluminação a gás**

A alternativa de utilização do biogás para iluminação a gás, apesar de apresentar tecnologia nacional disponível, ainda está em fase de ajustes e adequações, sendo que os sistemas já instalados apresentam falhas operacionais e defeitos constantes.

Por este motivo, esta alternativa foi considerada tecnicamente inviável para o aterro de Campinas e não foi realizada análise econômica para a mesma.

No entanto, buscou-se o custo de investimento, conforme segue: custo de 01 poste a biogás, com consumo de 50 m<sup>3</sup> de biogás/h: R\$ 43.000,00 (custo de instalação não incluso). Como a vazão de biogás seria de 3.000 m<sup>3</sup>/h, seria possível abastecer 60 postes, com investimento superior a R\$ 2.580.000,00 apenas em postes.

### 5.2.7. Indicação do sistema tecnicamente viável

Considerando as alternativas de reaproveitamento do biogás apresentadas, conclui-se que tecnicamente todas podem ser aplicadas ao aterro de Campinas.

No entanto, do ponto de vista econômico, conclui-se que qualquer alternativa que não inclua a venda de créditos de carbono será economicamente inviável, exceto a implantação do evaporador de chorume. Esta alternativa é a mais viável para o aterro de Campinas, pois independe da geração de créditos de carbono.

Uma observação importante a ser feita é que todas as análises para o aterro de Campinas foram feitas sem considerar o acréscimo de metano a ser gerado no aterro Delta B. Assim, os cálculos são conservadores e, se for considerado o cenário de implantação do Delta B, os investimentos serão mais atrativos.

---

## 6. PASSO A PASSO

*Este capítulo tem por objetivo fornecer aos governos locais orientações básicas, apresentadas passo a passo, para que possam identificar o potencial para implantação de projetos de aproveitamento do biogás gerado em seus aterros de resíduos sólidos.*

### 6.1. Passo 1 – Verificação das condições técnicas, operacionais e geográficas do aterro

Para que seja possível a implantação de sistemas para aproveitamento do biogás gerado em aterros, é fundamental que ela atenda alguns requisitos básicos, a saber:

#### **Quanto à localização do aterro e ao que existe em seu entorno**

Para a instalação de um aterro sanitário é necessário que o terreno atenda a alguns requisitos técnicos, como: tipo de solo, profundidade do lençol freático, facilidade de acesso para os caminhões que transportam resíduos e terra para o aterro, entre outros. Por este motivo e também para manter-se distante de comunidades e empresas que possam incomodar-se com o mau cheiro exalado, o intenso tráfego de caminhões transportando lixo e terra e a desvalorização imobiliária que podem ocasionar, geralmente esses locais de disposição final de resíduos acabam sendo instalados a alguns quilômetros de distância dos centros urbanos.

No entanto, como as áreas urbanizadas nas cidades se expandem com o passar do tempo, muitos aterros já possuem em seu entorno áreas residenciais (geralmente com população de baixa renda), industriais ou agrícolas.

Para se iniciar uma análise do potencial de aproveitamento energético do biogás, é muito importante que se conheça as atividades existentes no entorno do aterro (considerando um raio de até aproximadamente 1 km, para que não haja muita perda ou gastos no transporte da energia ou do biogás) e suas demandas energéticas, que podem ser de energia elétrica, calor ou vapor para alimentar seus processos.

Estas informações são fundamentais para se verificar a possibilidade de uso direto / venda da energia que venha a ser produzida a partir do biogás gerado no aterro.

#### **Quanto à preparação do terreno antes do início das atividades do aterro**

Durante a projeção de um aterro são realizados estudos geológicos e topográficos para selecionar a área a ser destinada ao aterramento do lixo, de forma que o meio ambiente não seja comprometido com a sua instalação.

Para que um aterro seja considerado aterro sanitário, antes de serem iniciadas suas atividades, o solo deve ser protegido com camadas de argila e com manta de impermeabilização (geralmente é de Polietileno de Alta Densidade – PEAD) para que não haja contaminação do solo e lençol freático pela infiltração do chorume produzido.

Além disso, após a disposição e compactação dos resíduos depositados e encerramento da célula, a superfície do aterro também deve estar protegida pela mesma manta de PEAD para evitar infiltração de água de chuva que pode interferir na decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos depositados.

Para evitar o excesso de água de chuva, o aterro deve implementar um sistema de coleta dessa água por meio de tubos ao seu redor, permitindo que seja desviada para tanques de armazenamento para posterior utilização.

### **Quanto ao licenciamento ambiental de projetos de extração de biogás e aproveitamento energético**

O licenciamento ambiental é uma etapa importante e deve ser prevista no cronograma de implantação do projeto.

Usualmente, os projetos de extração de biogás são implantados em aterros sanitários que já possuem a Licença de Operação e, para a obtenção desta, já realizaram Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA / RIMA).

Nesta situação, com o aterro já devidamente licenciado, o projeto de extração de biogás precisará de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) para novos equipamentos. Normalmente não há necessidade de EIA/RIMA para este licenciamento, pois o mesmo é uma melhoria ambiental. No entanto, dependendo da sensibilidade da área e do entorno da implantação do projeto de extração e do tipo de aproveitamento do biogás, o órgão ambiental competente poderá exigir estudos ambientais adicionais.

Além disto, caso haja necessidade de remoção de vegetação arbórea nativa ou intervenção em áreas de preservação permanentes (APP), será necessário obter previamente do órgão ambiental uma autorização para corte de árvores isoladas. Esta autorização é emitida juntamente com um termo de compromisso para a recuperação ambiental. Como regra geral, para cada árvore cortada é necessário fazer o plantio compensatório de 25 mudas de espécies nativas da região.

Para o caso específico de produção de energia a partir do biogás, onde redes de distribuição sejam instaladas, será necessário também obter uma licença da ANEEL e da concessionária local para distribuição.

Em cada etapa de licenciamento haverá condicionantes que devem ser cumpridas para que a licença não seja invalidada ou “caçada”. Usualmente estas condicionantes são relacionadas ao cumprimento da legislação ambiental vigente, especialmente àquelas relacionadas ao controle da poluição, como monitoramento dos efluentes líquidos e gasosos. O monitoramento de solo e água subterrânea já existente em aterros sanitários deve ser avaliado para contemplar a área de instalação do projeto de extração.

O tempo necessário para obter as licenças (LP, LI e LO) deve ser considerado no cronograma de implantação do projeto. Para cada etapa do licenciamento, leva-se em média de 30 a 60 dias para obtenção da licença. Os documentos requeridos para se dar entrada no processo de licenciamento são: 1) plantas do projeto (fluxograma de engenharia, lay out) contendo a localização dos equipamentos, a área projetada para os mesmos, a área total do terreno e áreas de atividade ao ar livre; 2) MCE (Memorial de Caracterização do Empreendimento) ou documento similar, que é um formulário padrão contendo os principais dados do projeto, tais como listagem de equipamentos, potências e capacidades produtivas, balanço hídrico e de energia, dados sobre destinação de resíduos, dentre outros; 3) formulário padrão para solicitação de licenças. Outros documentos poderão ser solicitados pelo órgão ambiental, dependendo da localização do empreendimento.

Nos processos de aterros novos, onde há exigência de EIA/RIMA, é importante considerar nas análises de investimento o tempo para realização e aprovação do estudo, sendo 6 meses o tempo médio para elaboração do EIA /RIMA e de 6 a 12 meses para a aprovação.

Um ponto muito importante a ser mencionado é que para a obtenção de créditos de carbono, o projeto deve ser voluntário e não deve constar em condicionantes de licença. Como a extração e o aproveitamento do biogás não são uma exigência legal, normalmente não se configuram em uma condicionante de licenciamento.

### ***Quanto à quantidade dos resíduos que o aterro já recebeu e irá receber até o encerramento de suas atividades***

Para ter um efetivo controle da quantidade de resíduos que chegam a um aterro, o ideal é que o aterro tenha uma balança tipo plataforma para pesagem dos caminhões que trazem resíduos para serem aterrados. Com o adequado controle dessas pesagens, pode-se calcular a quantidade de resíduos que efetivamente foram dispostos no aterro. A partir dos totais anuais desde o início da operação, pode-se calcular a taxa de crescimento anual e, a partir dela, estimar as quantidades de resíduos para os anos seguintes, até o encerramento do aterro.

Quando o aterro não dispõe de balança para a pesagem dos caminhões, pode-se estimar a quantidade de resíduos com base no número de caminhões de lixo, ou caçambas, e multiplicá-lo pelo peso médio de resíduos que transportam. A imprecisão deste método para estimar a quantidade de resíduos no aterro compromete as estimativas do potencial de geração e aproveitamento de biogás.

A partir da quantidade de resíduos depositados no aterro, além de outros fatores como a composição dos resíduos, pode-se estimar a produção de biogás gerado no aterro. Os cálculos a serem realizados para essa estimativa, encontram-se no Passo 2.

### ***Quanto ao tipo e composição dos resíduos dispostos no aterro***

Como a produção de biogás em um aterro ocorre em função da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos em seu interior, é de suma importância conhecer sua participação percentual (em peso) no resíduo que é continuamente disposto no aterro. Devem ser levados em consideração todos os tipos de resíduos que são dispostos no aterro, incluindo, se for o caso, resíduos da construção civil, de podas, de feiras livres, de varrição pública, de serviços de saúde, entre outros.

O ideal é possuir essa informação desde o início do aterro e tentar estimá-la até o momento de encerramento de suas atividades. Desta forma, se o município planeja implantar projetos na área de resíduos sólidos urbanos que possam alterar substancialmente a composição dos resíduos que serão aterrados, isto deve ser levado em conta para a estimativa da produção de biogás nesse aterro.

De maneira geral, os resíduos sólidos gerados em municípios brasileiros apresentam um elevado teor de material orgânico, variando entre 40% e 60% em peso. Este número é considerado alto, quando comparado à sua participação nos resíduos gerados em países desenvolvidos, e deve-se principalmente ao grande desperdício de alimentos em residências, lanchonetes e restaurantes, que se somam às perdas na distribuição e comercialização de alimentos (feiras livres, varejões) e aos descartes de resíduos de podas e jardinagem.

### ***Quanto ao tempo de vida útil total e restante do aterro***

A vida útil de um aterro depende do tamanho da área destinada à disposição dos resíduos sólidos, da sua cota mínima e máxima, ou seja, até que altura as células do aterro podem chegar e, principalmente, da quantidade de resíduos que recebe diária, mensal e anualmente.

Normalmente, os aterros são projetados para 20 anos ou mais. Técnicas de compactação de resíduos, associadas a processos de coleta seletiva e reciclagem podem contribuir para aumentar a vida útil do aterro.

### **Quanto à forma de operação do aterro**

Os aterros devem atender normas ambientais e operacionais específicas, de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança, minimizando seus impactos negativos, entre elas:

- A operação do aterramento do lixo deve ser bem gerenciada, a fim de evitar a exposição dos resíduos sólidos ao ar livre por muito tempo e, conseqüentemente, evitar o aparecimento de animais.
- Geralmente os aterros sanitários são compostos por células. Cada célula possui sua área e cota máxima de aterramento de lixo. Os resíduos sólidos são depositados na célula que está em operação no momento, e após o encerramento de cada célula, a mesma é recoberta por terra (solo proveniente das escavações) e grama. Na maioria dos aterros as células são operadas uma de cada vez.
- O lixo depositado é aterrado, compactado e, ao final de cada jornada, é recoberto por camada de solo.
- Com esse isolamento, a matéria orgânica presente no biogás é então decomposta em meio anaeróbio, onde ocorre a formação do biogás e do chorume.
- Juntamente com o aterramento do lixo, devem ser implementadas tubulações para a captação do chorume e do biogás gerados.

### **Quanto à forma de captação e tratamento do chorume**

O chorume, líquido poluente, de cor escura e odor nauseante, também é formado durante a decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos dispostos nos aterros.

Normalmente, o chorume é captado do interior do aterro por meio de tubulações e encaminhado a tanques especiais, onde fica armazenado. Na maioria dos casos, o chorume armazenado é encaminhado para a ETE mais próxima do aterro, minimizando o custo de transporte.

A fim de obter ainda mais economia com o transporte e também redução de gastos com o tratamento, sugere-se a implementação de um sistema de tratamento de chorume, por evaporação, no próprio aterro, utilizando o biogás como combustível. Esta tecnologia está descrita no Capítulo 4 deste manual.

### **Quanto ao sistema de extração do biogás gerado**

Na grande maioria dos aterros sanitários do Brasil existem drenos individuais espalhados em pontos estratégicos da área do aterro. Esses drenos podem ser adaptados e integrados ao sistema de extração.

O sistema de extração é composto basicamente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado.

O sistema de extração permite que as tubulações adaptadas em cada dreno se unifiquem e sejam conectadas aos sopradores, equipamentos que possuem o poder de succionar o biogás do interior do aterro. Dos sopradores, o biogás é encaminhado aos flares, por meio de tubulações. Nos flares o biogás é queimado a altas temperaturas (em torno de 1000 °C) para que ocorra a total destruição das moléculas de metano.

Apenas com esse sistema de extração do biogás e posterior queima em flare, o projeto pode ser inserido no MDL e, conseqüentemente, pode obter e comercializar os créditos de carbono.

## 6.2. Passo 2 - Cálculo da produção de biogás e do potencial de geração de energia pelo seu uso

### **Estimativa do potencial de geração de biogás no aterro**

Para o cálculo do potencial de geração em aterros, sugere-se que sejam utilizadas as metodologias elaboradas pelo IPCC, contidas no Módulo 6 – Lixo, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996 e no Módulo 5 – Resíduos, Volume 2: Geração de Resíduos, Composição e Gestão de Dados, e Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos, de 2006.

Para o cálculo da emissão de metano, utiliza-se a seguinte equação:

$$LFG = k \times R_x \times L_0 \times e^{-k(x - T)} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

LFG = emissão de metano ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$ );

$k$  = constante de decaimento (valor obtido a partir da Tabela 3.3 do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC, Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos, de 2006, para clima tropical – resíduo úmido);

$R_x$  = fluxo de resíduos no ano (tonRSD) (dados reais da quantidade de resíduos depositados desde o início de operação do aterro e estimativas da quantidade a ser depositada até o encerramento do aterro);

$L_0$  = potencial de geração de metano ( $\text{m}^3\text{biogás}/\text{tonRSD}$ );

$x$  = ano atual;

$T$  = ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação).

Entretanto, será necessário primeiro calcular a fração de carbono orgânico degradável no lixo (DOC) depositado no aterro:

$$DOC = \sum (DOC_i \times W_i) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

DOC = fração de carbono orgânico degradável no lixo;

$DOC_i$  = fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo  $i$ ;

$W_i$  = fração do tipo de resíduo  $i$  por categoria do resíduo

O valor de DOC é obtido a partir da composição do material depositado no aterro e da Tabela 2.5 do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC, Volume 2: Geração de Resíduos, de 2006.

Após o cálculo do DOC, é necessário calcular o potencial de geração de metano no resíduo (L0):

$$L0 = MCF \times DOC \times DOCf \times F \times 16/12 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

L0 = potencial de geração de metano do resíduo (m<sup>3</sup>biogás/tonRSD);

MCF = fator de correção do metano = 1 (aterro bem gerenciado);

DOC = valor obtido por meio dos cálculos realizados na Eq. 2;

DOCf = fração de DOC que pode se decompor = 0,50 (recomendação do IPCC, 2006);

F = fração de metano presente no biogás. Caso o aterro não possua o valor real da quantidade de metano presente no biogás, pode-se utilizar a estimativa de 0,5, pois geralmente a quantidade de metano presente no biogás de aterro é 50%;

16/12 = conversão de carbono para metano (CH<sub>4</sub>).

A unidade do L0 calculado a partir da Equação 3 será kg CH<sub>4</sub>/kgresíduo. Portanto, para que a unidade seja transformada para m<sup>3</sup>biogás/tonRSD deve-se dividir o valor de L0 obtido por 0,0007168 ton/m<sup>3</sup> (densidade do metano).

Assim, a partir do L0, da constante de decaimento k e do fluxo de resíduo no ano, utiliza-se a Equação 1 para calcular a quantidade de metano emitida por ano no aterro (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano)

Se a fração de metano presente no biogás for 50%, a quantidade de biogás será o dobro do valor de LFG, ou seja, será duas vezes a quantidade de metano obtida na Equação 1.

### **Estimativa da potência e energia disponíveis no aterro**

Para a determinação da potência e energia sugere-se utilizar as seguintes expressões:

$$P = \frac{Q \times PCI \times \eta}{860.000} \quad \text{Eq. 4}$$

$$E = P \times \text{Rend} \times \text{Tempo de Operação}$$

Onde:

P = potência disponível (MW);

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano. Caso o aterro não possua o valor real do PCI do metano, pode-se adotar 5.500 kcal/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> (valor adotado para 50% de metano presente no biogás de aterro);

η = eficiência de motores (geralmente é 28% = 0,28);

860.000 = conversão de kcal para MW;

---

E = energia disponível (MWh/dia)

Rend = rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 87% = 0,87)

Tempo de operação do motor = 24 horas/dia

Portanto, em função da vazão de metano, pode-se realizar os cálculos da potência (MW) e da energia (MWh/dia) disponíveis no aterro ano a ano.

### 6.3. Passo 3 – Análise das alternativas tecnológicas para o aproveitamento do biogás

Para que as emissões de metano sejam diminuídas, além da queima do biogás em flares, existem outras possibilidades, apresentadas neste manual.

Em sistemas de geração de energia elétrica, por exemplo, além da queima do biogás no interior dos motores ou microturbinas, a energia gerada por esses sistemas pode ser consumida pelo próprio aterro e, caso haja excedente de energia, o mesmo pode ser comercializado com a rede de distribuição local.

Diante das tecnologias e ordens de grandeza de investimentos apresentados neste manual, os aterros terão a oportunidade de analisar a viabilidade de aproveitamento do biogás que seja mais adequada às suas necessidades.

### 6.4. Passo 4 – Análise da viabilidade financeira do sistema para aproveitamento do biogás

Para a realização dos cálculos da análise de viabilidade do investimento, deve-se considerar o investimento inicial, as despesas operacionais e as receitas obtidas com a venda dos créditos.

#### **Investimento Inicial**

- Drenos (construção de novos drenos e sistema de adaptações dos drenos individuais já existentes no aterro);
- Sistema de transporte do biogás, por meio de tubulações, dos drenos até a conexão com os sopradores;
- Equipamentos pertencentes ao sistema de extração: sopradores, filtros separadores de líquido/gás, válvulas, medidores, entre outros;
- Flare (dependendo da quantidade de biogás produzido no aterro, há necessidade de implementação de mais de 1 flare);
- Sistema (s) de aproveitamento do biogás;
- Projeto executivo;
- Registro do projeto para créditos de carbono.

#### **Despesas Operacionais**

- Manutenção dos poços e linhas de extração (3% do investimento);
- Manutenção do flare e sistema de extração (2% do investimento);

- Manutenção do (s) sistema (s) de aproveitamento do biogás.
- Salários dos operadores;
- Gerenciamento e administração;

Para a estimativa de redução de emissões de CH<sub>4</sub> e a respectiva geração de créditos de carbono, deve-se considerar a vazão total de metano gerado no aterro desde o ano de implementação dos sistemas até, aproximadamente, 15 anos após o encerramento do aterro (considerando o decaimento da emissão de metano após seu encerramento).

Do total de CH<sub>4</sub> gerado, estima-se que 60% será coletado pelo sistema de extração e que, deste total, 90% será oxidado termicamente em um flare com eficiência de queima de 90%. Além disso, para o cálculo dos créditos de carbono é necessário descontar o total de metano atualmente queimado ao ar livre nos drenos de gás existentes. Estima-se que 20% do total de metano gerado seja queimado nos drenos, portanto, apenas 80% será passível de geração de créditos.

Para o cálculo das receitas deve-se considerar os créditos de carbono provenientes da queima em flare (90% de eficiência de queima) e os créditos adicionais relativos ao aproveitamento energético do biogás (considerada em 100% a eficiência de queima). Portanto, entre a queima do biogás em flare e seu aproveitamento energético, há um adicional de 10%.

Para o cálculo da receita obtida anualmente com a venda dos créditos de carbono pode-se considerar US\$ 10,00 a tonelada de carbono (valor bem conservador).

Outra consideração importante a ser abordada na análise econômica é que, em aterros, normalmente as instalações são feitas progressivamente, a medida que há aumento na produção de biogás.

Os projetos de extração e aproveitamento de biogás trazem sem dúvida grandes benefícios ambientais. No entanto, a implantação destes tipos de projeto depende da viabilidade econômica dos mesmos.

A escolha da melhor alternativa a ser implantada em um aterro dependerá diretamente da viabilidade econômica, sendo usualmente escolhida a que for economicamente mais viável a qual, nem sempre, é a melhor ambientalmente. Este fato pode ser ilustrado pela maioria dos projetos de MDL atualmente implantados, onde se faz apenas a queima do biogás em flare enclausurado, por motivos financeiros, desperdiçando-se o enorme potencial energético deste gás.

Na fase de avaliação das diversas possibilidades de aproveitamento do biogás, tem-se disponível normalmente apenas ordens de grandeza de investimentos, baseadas em experiência de consultores na implantação de projetos similares e cotações preliminares dos equipamentos maiores. Nesta fase, a análise financeira utilizada consiste no cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL é uma das formas mais empregadas para a análise de viabilidade de empreendimentos e consiste em um cálculo para trazer todos os valores dos fluxos de caixa futuros para a data atual, considerando a taxa de retorno estabelecida.

A fórmula para o cálculo de VPL, considerando diversas parcelas de investimentos (I<sub>n</sub>), diversas parcelas de receitas (R<sub>j</sub>), diversas parcelas de custos (C<sub>j</sub>) e taxa de retorno (i) é a seguinte:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+i)^j}$$

Quando há apenas um investimento inicial, a fórmula acima pode ser simplificada para:

$$VPL = -I_{\text{inicial}} + \sum^n + \frac{C_1}{(1+i)} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \frac{C_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa  $i$  quando o VPL é igual a zero. Ela indica qual é a taxa a ser aplicada ao fluxo de investimentos de modo que, trazidos aos valores atuais, os investimentos, custos e despesas se igualem ao valor das receitas. Assim, quanto maior a TIR, melhor é o investimento em termos de rentabilidade.

A TIR pode ser comparada também com o Custo de Oportunidade do Capital (COC) para julgar se um investimento é viável. Se a TIR for menor que o COC, o investimento deve ser rejeitado. Por outro lado, se a TIR for maior que COC, o investimento é viável.

No caso de projetos de extração de biogás, para se escolher entre as diversas alternativas de projetos, compara-se os VPLs e o projeto que apresentar maior VPL é o mais viável.

É importante ressaltar que esta análise de viabilidade é bem simplificada e aplicável apenas para estudos preliminares. Para a implantação de biogás deve-se rever todos os cálculos após um detalhamento pormenorizado do projeto, onde se possam obter custos de investimento mais próximos do real, ou seja, onde os investimentos sejam avaliados através de cotações concretas e específicas para o projeto em questão. Além disto, nos cálculos financeiros é importante considerar todos os riscos envolvidos, os quais não foram considerados no presente trabalho, por se tratar de uma estimativa inicial.

## 6.5. Passo 5 – Busca de recursos financeiros para viabilizar os investimentos necessários

Um empreendimento em aterros, contemplando a extração do biogás, a queima em flare e seu aproveitamento energético, pode ser realizado por órgãos e/ou empresas públicas ou por meio de empresas privadas e concessionárias de serviços públicos, obedecendo à legislação pertinente, utilizando as linhas de crédito disponibilizadas por uma Instituição de Fomento ou com recursos próprios.

Muitos investimentos em saneamento ambiental, principalmente em aterros sanitários, foram inviabilizados pelo desequilíbrio fiscal da maioria dos entes públicos aliados a formas de financiamentos inadequadas.

Diante da incapacidade dos municípios de financiar todas as fases desse tipo de empreendimento, sugere-se um modelo que permita reduzir os riscos que se possa ocorrer nas fases de implementação e operação do empreendimento.

Uma das opções é a estrutura de um Project Finance, onde os recursos são captados para financiar um projeto de capital economicamente separável.

Em um Project Finance devem ser identificados os riscos de implementação e operação dos sistemas, além de definir um mecanismo de controle do projeto.

A partir da identificação e alocação dos riscos, deve-se elaborar as obrigações das partes, por meio de contrato formal, reconhecido em lei, protegendo os interesses do credor, estabelecendo os cumprimentos das atividades descritas, de modo a assegurar o desempenho do projeto, permitindo a amortização do financiamento. Esse tipo de contratação pode ser realizada por métodos licitatórios.

Deve-se salientar que existem empreendimentos nacionais e internacionais com esta modelagem nos segmentos de energia, telecomunicações, rodovias, saneamento, entre outros.

## 6.6. Passo 6 – Elaboração e registro de um projeto no âmbito do MDL

### Ciclo de Projeto – MDL

A operação de um aterro sanitário padrão, ambientalmente licenciado, em relação ao biogás gerado pela decomposição da matéria orgânica existente nos resíduos, necessita apenas de um sistema de drenos para a captação e queima do biogás. Atualmente, a maioria dos aterros sanitários no Brasil são operados dessa maneira.

Entretanto, os projetos de MDL devem ir além, incluindo mecanismos como selamento do aterro e extração dos gases com pressão negativa, para reduzir a um patamar mínimo as possíveis perdas com emissões livres e, ainda, a queima controlada em flares com medição precisa do volume de gás anualmente incinerado. O processo exige monitoramento constante de diversos parâmetros e auditoria anual sob responsabilidade da ONU e, só assim, poderão ser emitidos os créditos de carbono.

A utilização do biogás gerado em aterros sanitários para produzir energia é prática comum em outros países com tecnologia mais avançada. No entanto, os aterros sanitários brasileiros iniciaram as atividades de captação e queima do biogás em flares motivados pelo incremento financeiro advindo do Tratado de Quioto, por meio do MDL.

Para a obtenção dos créditos de carbono, há a necessidade de seguir alguns trâmites, apresentados na Figura 41.

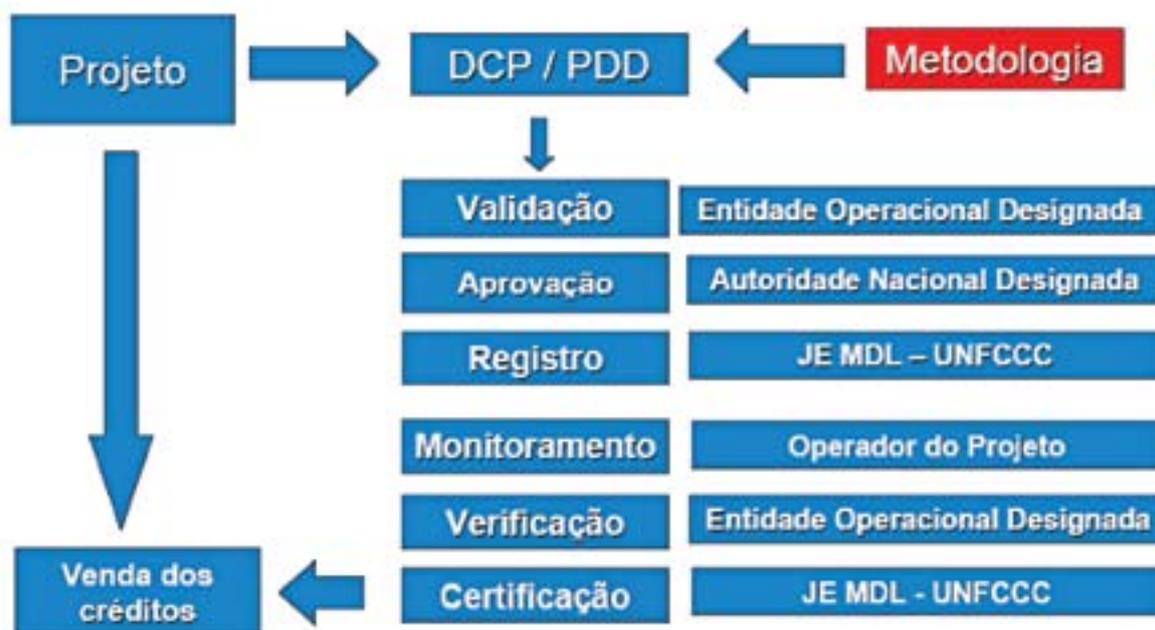


Figura 41. Ciclo de Projeto de MDL. Fonte: ECOENERGY INTERNATIONAL, 2008.

O desenvolvimento de um projeto de MDL, de forma objetiva, compreende, em primeiro lugar, a elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP), onde todos os aspectos técnicos e características deverão ser amplamente contemplados.

Após preencherem o DCP, os Participantes do projeto o encaminham para a Entidade Opera-

cional Designada (EOD), devidamente reconhecida pelo Conselho Executivo (UNFCCC), a fim de obter a validação do projeto. Após análise e validação, o projeto é encaminhado para aprovação da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima que, no Brasil, corresponde à Autoridade Nacional Designada – AND. Uma vez aprovado, o projeto é enviado para registro no Conselho Executivo.

Na fase de monitoramento, os Participantes do projeto devem seguir um plano estabelecido pela metodologia definida no projeto, produzindo relatórios a serem submetidos à EOD para verificação. A verificação é a revisão independente e periódica, efetuada pela EOD, das reduções monitoradas das emissões de GEE, que ocorreram (ou ocorrerão) em consequência de atividade registrada do projeto de MDL, durante o período de verificação.

Finalmente, a certificação é a garantia, dada por escrito pela EOD, de que, durante o período de tempo especificado, o projeto em operação atingiu (ou atingirá) as reduções das emissões de gases de efeito estufa conforme verificado.

Com a certificação, torna-se possível requerer ao Comitê Executivo a emissão dos CERs (Certificados de Emissões Reduzidas) relativos à quantidade reduzida e/ou removida. Esses CERs têm validade determinada e, conforme o caso, podem ser renovados.

Uma vez aprovado e implantado o projeto, o aterro estará apto para comercializar os créditos de carbono (quantidade de carbono, em toneladas, que o aterro deixou de emitir para a atmosfera). Os compradores destes créditos, normalmente, são empresas emissoras de gases de efeito estufa, sediadas em países desenvolvidos.

### ***Exemplo de Comercialização dos Créditos de Carbono***

*Uma empresa sediada em um país desenvolvido com uma cota de emissão de 100 toneladas de carbono/ano, mas que efetivamente emite 120 ton/ano, para equilibrar a sua meta teria que comprar os créditos de carbono de um país que não faz parte do Anexo I do Protocolo de Quioto (o Brasil, por exemplo), referentes às 20 toneladas de carbono que emitiu a mais da sua cota.*

*Essa quantidade de carbono que a empresa comprará pode ser proveniente de um aterro que implementou o projeto de MDL.*

A venda de certificados negociáveis de carbono constitui-se em uma importante fonte suplementar de recursos para que os vários países invistam em um gerenciamento de resíduos mais adequado. Embora nem sempre estes recursos sejam direcionados às prefeituras locais, uma vez que na maioria das vezes integram o retorno esperado pelas empresas privadas que investem nesses projetos, o saldo para o bem estar social nessas localidades ainda é bastante vantajoso.

O mercado de créditos de carbono está trazendo o incentivo financeiro necessário para que as atividades relativas à disposição de resíduos se estabeleçam sem comprometer a qualidade ambiental do seu entorno, atendendo, assim, às premissas do desenvolvimento sustentável.

### ***Exigências de Adicionalidade***

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é uma oportunidade para entidades brasileiras desenvolverem projetos que visem à redução de emissão ou à absorção de carbono, principalmente no que se

refere às energias renováveis, aumento de eficiência energética e reflorestamento.

Na implementação de tais projetos há a possibilidade de transferência de tecnologias e recursos externos de empresas dos países do Anexo I interessados na obtenção de CER de gases de efeito estufa.

Conforme estabelecido pelo Protocolo de Quioto e regulado por meio de procedimentos estabelecidos pelo Acordo de Marraqueche (COP 7), todo projeto MDL tem que ser adicional.

A adicionalidade consiste na redução de emissões de gases precursores do efeito estufa de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto. Ou seja, para que um projeto de MDL seja creditado e possa emitir CERs, deve comprovar que contribuiu de forma adicional à determinada linha de base de referência, para a redução de emissões ou para o seqüestro de carbono da atmosfera.

Para verificar essa adicionalidade é necessária a construção de uma linha de base confiável, uma vez que isso é uma condição necessária à aprovação do projeto pelo Conselho Executivo do MDL (CDM Executive Board).

No caso de projetos de aumento da eficiência no uso de eletricidade e de geração de eletricidade a partir de biogás para injeção na rede, deve-se estabelecer a proveniência da energia elétrica deslocada pelo projeto. Em outras palavras, deve-se determinar qual tipo de fonte primária (que no caso dos aterros é o biogás) estaria gerando eletricidade para a rede, no cenário de referência (ausência do projeto) e a energia que virá a ser economizada ou substituída pelo projeto.

O conteúdo em carbono dessa geração evitada é que determina a quantidade de CERs da atividade de projeto e, conseqüentemente, a receita com a venda de créditos de carbono propiciada pelo projeto.

A redução das emissões resultantes de cada projeto de MDL deve ser certificada por entidades operacionais designadas pela Conferência das Partes definida no Protocolo de Quioto.

## Metodologias

As metodologias de MDL para resíduos sólidos aprovadas pela ONU são:

- AM2 – Landfill gas capture & flaring with public concession contract (Captação e queima de biogás de aterro com o contrato de concessão público);
- AM3 – Simplified financial analysis for landfill gas capture projects - no CERs from electricity (Análise financeira simplificada para projetos de captação de biogás de aterro – usem CER de eletricidade);
- AM10 – Landfill gas electricity - CERs from electricity (Eletricidade biogás de aterro - CER de eletricidade);
- AM11 – Landfill gas recovery with electricity generation – no CERs from electricity (Recuperação do biogás de aterro com geração de eletricidade – sem CERs de eletricidade).

As 4 metodologias citadas acima foram substituídas pela ACM1 – Landfill gas project activities (Atividades do projeto de biogás de aterro) na EB35. Em alguns projetos de MDL foram utilizadas duas metodologias: a ACM1 e a ACM2 – Connected electricity generation for renewable sources - no biomass (Geração de eletricidade por fontes renováveis (não biomassa) e interligação à rede)

A metodologia ACM1 é aplicada à atividade de projeto de captação de gás de aterro, onde o gás coletado é queimado e é aplicável a atividades de projeto de captação de gás de aterro onde a linha de base é o lançamento na atmosfera total ou parcial do gás.

Segundo a ACM1, a redução de emissão de gases de efeito estufa conquistada pela atividade de projeto durante um ano “y” ( $ER_y$ ) é a diferença entre a quantidade de metano realmente destruída durante o ano ( $MD_{project, y}$ ) e a quantidade de metano que teria sido destruída durante o ano na ausência da atividade de projeto ( $MD_{reg, y}$ ), multiplicado pelo valor do potencial de aquecimento global aprovado para o metano ( $GWP_{CH_4}$ ).

O cálculo é feito pela Equação 1, a seguir:

$$ER_y = ( MD_{project, y} - MD_{reg, y} ) \times GWP_{CH_4} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$ER_y$  : medido em toneladas de  $CO_2$  equivalentes ( $tCO_2e$ )

$MD_{project, y}$ ;  $MD_{reg, y}$ : medidos em toneladas de metano ( $tCH_4$ )

$GWP_{CH_4}$ : 21  $tCO_2e/tCH_4$

O biogás coletado na linha de base é viável por si só. No entanto, é importante destacar que os custos de implantação de um sistema de coleta de biogás não são proporcionais à potência instalada. Cada porcentagem de eficiência de coleta tem seus custos associados, em escala exponencial. Essas quantidades vendidas aos clientes são mensuráveis, acordadas em contrato e registradas.

Para que sejam certificadas as reduções de emissões, torna-se necessário cumprir o critério da adicionalidade, no qual as emissões antropogênicas de GEE por fontes são reduzidas abaixo daquelas que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto de MDL. Outro fator importante é definir as alternativas da atividade de projeto, bem como as barreiras que impediriam a implementação das mesmas, a fim de escolher a alternativa viável à execução do projeto.

O sistema de coleta de biogás varia de 60 a 80%, quando funcionando em sua capacidade total, e posterior queima em flare. A principal barreira desta atividade é econômica, visto que os gastos com o sistema de coleta de gás, bem como com energia, operação e manutenção da rede de captação, aumentam os custos do aterro.

Na situação da adicionalidade, ao invés da queima em flare, o biogás pode ser utilizado para outros fins, tais como: geração de energia elétrica e térmica, tratamento de chorume, uso veicular e iluminação a gás.

## 6.7. Passo 7 – Arranjos políticos e institucionais favoráveis

### **Forma e Tempo de Contratação para Atrair Investidores**

Para que o aterro tenha maior custo benefício em relação à sua operação, deve ser levada em consideração a possibilidade de consórcios entre municípios que envolvam todos os serviços ou apenas a coleta, o tratamento ou a disposição final dos resíduos sólidos.

A disposição final dos resíduos sólidos, que envolve a construção, regularização, recuperação de aterros sanitários ou lixões e a desativação de aterros, pode ser executada pelo Poder Público.

Em aterros particulares, para a execução dos serviços, destaca-se a parceria público-privada. Este tipo de parceria permite que os riscos apresentados sejam divididos entre o aterro particular e o Poder Público.

As parcerias público-privadas são realizadas por meio de licitações, modalidade concorrência pública, onde o valor mínimo do projeto é estabelecido em R\$ 20.000.000,00 (vinte milhões de reais) e os prazos são definidos de 5 a 35 anos, sendo este o tempo máximo de contratação.

Em aterros pertencentes ao próprio município, para a contratação de serviços de terceiros, destaca-se a delegação legal. Este tipo de contratação permite a transferência de serviço público para a administração pública indireta. A titularidade dos serviços também é transferida.

Existem outras diversas formas de contratação para execução de serviços em aterros sanitários, como: delegação contratual, concessão, permissão, convênio de cooperação, entre outras.

## **Interesse dos Investidores – Créditos de Carbono**

O crédito de carbono deve ser visto como uma das fontes de recursos que pode contribuir para viabilizar empreendimentos de saneamento ambiental em aterros, com aproveitamento energético do biogás. O ingresso de recursos provenientes do crédito de carbono aparece como uma alternativa que contribui para a melhoria dos resultados de tais empreendimentos.

O MDL, que permite a criação, emissão e venda de créditos de carbono para projetos realizados nos países em desenvolvimento, aumenta o incentivo financeiro para os órgãos ou empresas interessadas na busca da transferência de tecnologias limpas. A adição da venda dos créditos de carbono para o fluxo financeiro do projeto pode aumentar as taxas de retorno de investimento.

Os negócios oriundos do mercado de carbono apresentam vantagens econômicas, ambientais e sociais para todo o planeta. Os recursos financeiros obtidos por meio do MDL são captados apenas por projetos que têm enfoque sustentável, com a adoção de medidas preventivas à poluição e contribuição ao desenvolvimento social do local foco do projeto.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo concentrou-se em uma opção importante no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, como forma de promover a redução das emissões de gases de efeito estufa: a captura e aproveitamento do biogás de aterros sanitários. Após a apresentação de vários argumentos e subsídios técnicos contidos nos diversos capítulos deste manual, esperamos que este trabalho possa estimular os gestores públicos municipais e os responsáveis pelo gerenciamento da limpeza urbana no Brasil a analisarem o potencial de seus aterros de resíduos sólidos e implantarem sistemas que permitam o aproveitamento do biogás. É preciso lembrar, porém, que esta opção será mais eficiente no âmbito de um sistema integrado de gestão dos resíduos sólidos urbanos, que inclua coleta seletiva, compostagem e reciclagem.

Isto posto, ao considerarmos apenas o aproveitamento de biogás, constatamos ser possível obter uma significativa redução de custos para suprir as demandas de:

- energia elétrica, para uso no próprio aterro, em indústrias próximas ou consumidores distantes, neste último caso, por meio da venda e distribuição dessa energia via rede já existente;
- energia térmica (calor), útil em processos como secagem de chorume e usos industriais diversos;
- combustíveis veiculares, para abastecimento da frota de caminhões de coleta de lixo e veículos públicos; e
- iluminação pública, por meio do uso de postes abastecidos diretamente com o biogás.

Cabe lembrar que, independentemente da alternativa de aproveitamento do biogás escolhida, é imprescindível a implantação de um sistema eficaz para a extração do biogás gerado no aterro com a instalação de um flare enclausurado para queima do biogás excedente, garantindo a destruição mesmo em momentos em que o sistema de aproveitamento não esteja em operação. Estas são, inclusive, exigências para aprovação de um projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para gerar os créditos de carbono.

Os aterros brasileiros que obtiveram a aprovação de seus projetos para destruição de metano junto às autoridades nacionais e o Secretariado da Convenção da ONU para Clima (UNFCCC e o CDM Executive Board), já contemplaram esses itens em seus custos. Portanto, os investimentos necessários para implantar um sistema de aproveitamento do biogás para geração de energia, seria bem menor. No caso dos projetos que apenas se propõem a simplesmente queimar o biogás em flares, é provável que se tenha desperdiçado o potencial desses aterros como fonte de energia renovável.

Os poucos aterros brasileiros que já utilizam, ou que em breve utilizarão o biogás gerado para fins energéticos, foram um passo além, gerando um ganho duplo: promovem efetivamente a redução das emissões de gases do efeito estufa e contribuem para a ampliação da participação de energia renovável na matriz brasileira.

Neste manual foram apresentadas orientações básicas para a implantação de projetos de aproveitamento energético do biogás, a partir do estudo detalhado de dois casos concretos, em Santo André e Campinas, além da consideração dos resultados em São Paulo como “benchmark”. Gostaríamos de ressaltar, porém, que é necessário realizar os estudos de viabilidade específicos para cada aterro sendo avaliado, considerando os dados, potencialidades e necessidades locais. Fatores como localização junto a indústrias ou comunidades sem acesso à rede de energia, características de clima e solo, tec-

nologia disponível e composição dos resíduos podem definir se a opção de aproveitamento do biogás gerado no aterro é de fato vantajosa do ponto de vista econômico. Vale lembrar também que quanto mais projetos forem implantados, menores deverão ser os custos para aquisição dos equipamentos, em função do ganho de escala de produção, além das possibilidades de otimização logística e redução dos custos de importação, caso os fornecedores sejam internacionais.

Finalmente, reconhecendo que o tema não se esgota nesta publicação, esperamos que as informações contidas aqui, juntamente com outros trabalhos realizados sobre o tema de gestão de resíduos sólidos urbanos, possam contribuir para que os municípios brasileiros avaliem objetivamente esta opção e implementem sistemas para aproveitamento do biogás gerado em seus aterros de resíduos sólidos, além de melhorar as condições de saneamento e qualidade de vida em suas comunidades com a correta disposição de seu lixo.

Em tempos de aquecimento global, quando todos estão tentando fazer a sua parte para reduzir o impacto das atividades humanas sobre os recursos do Planeta, a redução das emissões de metano, um poderoso gás causador de efeito estufa, tem ainda vantagens do ponto de vista do desenvolvimento sustentável local, melhorando as condições de saneamento e qualidade de vida nas cidades.

---

# GLOSSÁRIO

AND – Autoridade Nacional Designada

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo

APP – Áreas de Preservação Permanentes

BEN – Balanço Energético Nacional

CEASA – Centrais de Abastecimento de Campinas

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CH<sub>4</sub> – Metano

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

Comlurb – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CQNUMC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CRE – Certificados de Redução de Emissões (Créditos de Carbono) / CER – Certified Emission Reduction

COC – Custo de Oportunidade do Capital

DCP – Documento de Concepção do Projeto

ECO-92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992

EIA / RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental

EOD – Entidade Operacional Designada

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GEE – Gases de Efeito Estufa

GNV – Gás Natural Veicular

H<sub>2</sub>S – Ácido sulfídrico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQR – Índice de Qualidade de Aterros

LI – Licença de Instalação

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

MCE – Memorial de Caracterização do Empreendimento

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo / CDM – Clean Development Mechanism

NOx – Óxidos de nitrogênio

O<sub>2</sub> - Oxigênio

ONU – Organização das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PRs – Pontos de Regularização de Fluxo

RCC – resíduos de construção civil

RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares

RSS – Resíduos de Serviços de Saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SOx - Óxidos de enxofre

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Tep – toneladas equivalentes de petróleo

TIR – Taxa Interna de Retorno

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

VPL – Valor Presente Líquido

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD-NETT. *Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Wastes: Information Networks*. Technical Summary on Gas Treatment. Netherlands, 2000. 31p.

ALVES, J. W.; FILHO, E. C. *Biogás – Aproveitamento energético de aterros sanitários, 2009*. Divisão de Questões Globais da CETESB. PROCLIMA – Programa de Prevenção às Mudanças Climáticas. Disponível em <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/palestras.asp>. Acesso em setembro de 2009.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. *Portaria 128, de 28 de agosto de 2001*. 10p.

BAHÉ, J. M. C. F.; VERÓL, A. P.; ALVES, L. V.; CANTANHEDE, A.; FIGUEIREDO, I. C. *Estudo do desempenho de evaporador unitário como opção de tratamento de lixiviados produzidos em aterros sanitários do Rio de Janeiro*. Trabalho apresentado no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte/MG; 2007.

BEN – *Balanço Energético Nacional 2005 – Ano Base 2004*. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 188 p. Brasil, 2005.

BEN – *Balanço Energético Nacional 2008 – Ano Base 2007*. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 244 p. Brasil, 2008.

BEN – *Balanço Energético Nacional 2009 – Resultados Preliminares – Ano Base 2008*. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 48 p. Brasil, 2009.

BEN – *Balanço Energético Nacional 2007 – Sumário Executivo – Ano Base 2006*. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 60 p. Brasil, 2007.

BERTULANI, C. *Projeto de ensino de física a distância, 2002*. Disponível em [www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda\\_lei/segunda\\_lei.html](http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda_lei/segunda_lei.html). Acesso em agosto de 2009.

CCE – Centro para Conservação e Energia. *Guia Técnico de Biogás*. Amadora – Portugal, 2000. 117p.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Pesquisa Ciclosoft, 2008*. disponível em [http://www.cempre.org.br/ciclosoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php). Acesso em setembro de 2009.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. *Relatório de Atividades – Visita a Aterros Sanitários. Projeto: Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás, 2007a*.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Relatório de Atividades. *Estado da Arte do Sistema de Iluminação a Gás. Projeto: Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás, 2007b*.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / FEALQ – Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiróz. *Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “ater-*

ros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil. Piracicaba, 2004.

ECOENERGY INTERNATIONAL. Mercado de Crédito de Carbono. *Introdução aos Projetos de Captação de Biogás*. Novembro de 2008. Disponível em [http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/cursos\\_seminarios/forum\\_internacional/downloads/francisco.pdf](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/cursos_seminarios/forum_internacional/downloads/francisco.pdf). Acesso em outubro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. Methane to Markets - *Final Assessment Report: Landfill Biogas Recovery and Utilization at the Santo André Municipal Sanitary Landfill Santo André, Brazil*. Prepared for: Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André. Prepared under: U.S. Environmental Protection Agency - Landfill Methane Outreach Program. Setembro, 2008.

EPA - Environmental Protection Agency. Methane to Markets - *Final Assessment Report: Landfill Biogas Recovery and Utilization at the Delta A Sanitary Landfill Campinas, Brazil*. Prepared for: Urban Cleaning Department of Campinas. Prepared under: U.S. Environmental Protection Agency - Landfill Methane Outreach Program. Setembro, 2007.

EPA - Environmental Protection Agency. Sources and Emissions: Sources of methane and current emission levels. Disponível em: <http://www.epa.gov/methane/index.html>. Acesso em setembro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Projections and Mitigation Costs: Projections of future methane emissions and the costs associated with reducing those emissions*. Disponível em: <http://www.epa.gov/methane/index.html>. Acesso em setembro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Voluntary Programs: Landfill Methane Outreach Program (LMOP) - Basic Informations: informations about methane emissions from landfills and how LMOP is working collaboratively with businesses, states, energy providers, and communities to convert landfill gas to energy*. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/overview.htm>. Acesso em outubro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Voluntary Programs: Landfill Methane Outreach Program (LMOP) - Benefits of LFG Energy – environmental and economic benefits of landfill gas energy projects*. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/benefits.htm>. Acesso em outubro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Voluntary Programs: Landfill Methane Outreach Program (LMOP) - Documents, Tools, and Resources: Fact Sheets - Landfill Gas Energy: Fueling the Economy and a Sustainable Future*. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/docs/LMOPGeneral.pdf>. Acesso em outubro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Voluntary Programs: Landfill Methane Outreach Program (LMOP) - Documents, Tools, and Resources: Fact Sheets - Green Power from Landfill Gas*. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/docs/LMOPGreenPower.pdf>. Acesso em outubro de 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. *Voluntary Programs: Landfill Methane Outreach Program (LMOP) - Documents, Tools, and Resources: Software - LFGE Benefits Calculator: tool to estimate greenhouse gas reductions from LFG the energy project*. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/res/calc.htm>. Acesso em setembro de 2009.

ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS. *Imagem disponibilizada pela Central de Tratamento de Resíduos de Caieiras/São Paulo*, 2009.

HAMILTON, S. L. *Microturbine Generator Handbook*. PennWell Corporation, 2003.

HAGEN M.; POLMAN, E.; MYKEN, A.; JENSEN, J.; JONSSON, O.; DAHL, A. *Adding Gas from Biomass to the Gas Grid: Final Report. Contract No: XVII/4.1030/Z/99-412*. European Commission. 2001. 142 p.

HIRANI, E. W.; MAMANI, L. A. G. *Algoritmos Evolucionários para Otimização Multi-objetivo no Projeto de Sistemas Térmicos*, 2007. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~gb/pg-ic/multiGA/DAS%206652%20-%20Apresenta%E7%E3o.ppt#256,1,Slide1>. Acesso em agosto de 2008.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. *Módulo 6 – Lixo, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa*. Volume 2: Livro de Trabalho, 1996.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. *Módulo 5 – Resíduos. Volume 2: Geração de Resíduos, Composição e Gestão de Dados e Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos*, 2006.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2007a). *Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2007b). *Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima*. Contribuição do Grupo de Trabalho III ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007.

MONTEIRO, C. *Microturbinas. Produção e Transporte de Energia II*. LEEC – Faculdade de Engenharia da FEUP, 2004. Disponível em [http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2\\_Microturbinas.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2_Microturbinas.pdf). Acesso em dezembro de 2007.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO M. A. F. de; BRITO J. C. X. de; ALMEIDA T. P. F. de; MANSUR G. L. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PEREIRA, J. C., *Motores e Geradores – Princípio de funcionamento, instalação e manutenção de grupos diesel geradores*, 2006. Disponível em <http://www.joseclaudio.eng.br>. Acesso em julho de 2009.

PESQUISAS DE QUÍMICA. *Representação esquemática da molécula de Metano, de geometria tetraédrica*, 2008. Disponível em <http://crispassinato.wordpress.com/2008/06/03/distribuicao-espacial-dos-atomos-em-uma-molecula/>. Acesso em outubro de 2009.

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico / IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>. Acesso em setembro de 2009.

RST – Rede de Tecnologia Social, 2009. Disponível em <http://www.rts.org.br/>. Acesso em setembro de 2009.

UNEP Risoe Centre, Denmark. *Capacity Development for the Clean Development Mechanism Project. CDM Pipeline*, 2009. Disponível para download em <http://cdmpipeline.org/>. Acesso em setembro de 2009.

WILLUMSEN, H. C. *Energy Recovery From Landfill Gas in Denmark and Worldwide*. LG Consultant, 2001.

WONG S.; BIOLETTI R. *Carbon Dioxide Separation Technologies. Carbon & Energy Management*, Canada, 14p. 2002.

## Realização



### Secretariado para América Latina e Caribe

Avenida Quarto Centenário, 1268 - Sala 215  
Portão 7A do Parque do Ibirapuera  
04030-000 São Paulo SP Brasil  
Fone: +55 (11) 5084-3079  
Fax: +55 (11) 5084-3082  
iclei-lacsbrasil@iclei.org  
www.iclei.org/lacs/portugues

## Parceria



ICLEI - Estados Unidos

## Patrocínio



United States  
Environmental Protection  
Agency



ISBN 978-85-99093-06-1



9 788599 093061