

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO
ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS DE ATERRO
SANITÁRIO:
UM ESTUDO DE CASO**

Tiago Abdom Melo

**Belo Horizonte
2010**

Tiago Abdom Melo

**ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA
ATRAVÉS DO BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO:
UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do certificado de Especialista em **Tecnologia Ambiental**.

Orientador: Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas maravilhas que faz em minha vida. Aos meus pais pelo apoio durante os estudos. À minha namorada Caroline Mapa por ser meu alicerce. Ao Dr. José Cláudio Junqueira e ao Sr. Paulo Eduardo de Almeida pelo apoio à realização deste trabalho. Ao meu orientador Dr. Gilberto Caldeira que muito me ajudou para concluir este trabalho. Aos meus colegas de trabalho pelos conselhos e a todos quanto de alguma maneira me auxiliaram no desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

O biogás gerado a partir da degradação da matéria orgânica num aterro sanitário possui como componentes principais o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), que são gases de efeito estufa. Os aterros sanitários podem dispor de técnicas de captação do biogás para sua queima em *flare*, onde o metano é transformado em dióxido de carbono mitigando os efeitos dos gases de efeito estufa.

O presente estudo avalia o aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário de Santana do Paraíso para geração de energia elétrica. O potencial encontrado para o ano de fechamento do aterro é de 4,2 MW o que atenderia a uma população de 20.000 pessoas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS.....	4
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	5
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	10
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	11
3.2.1 <i>Os resíduos sólidos urbanos no Brasil</i>	11
3.2.2 <i>Conceito de Resíduo</i>	12
3.2.3 <i>Caracterização de resíduos sólidos</i>	13
3.2.4 <i>Classificação de Resíduos</i>	14
3.2.5 <i>Composição do Lixo</i>	16
3.2.6 <i>Disposição final de resíduos sólidos</i>	17
3.3 BIOGÁS DE ATERRO.....	20
3.3.1 <i>Biodegradação dos resíduos sólidos</i>	20
3.3.2 <i>Composição do biogás de aterro</i>	22
3.3.3 <i>Parâmetros que interferem na produção do biogás</i>	23
3.4 CAPTAÇÃO DO BIOGÁS DE ATERRO	25
3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS DE ATERRO.....	26
3.5.1 <i>Turbina de combustão interna</i>	26
3.5.2 <i>Turbina a gás</i>	27
3.5.3 <i>Micro-turbinas</i>	28
4 ESTUDO DE CASO	30
4.1 LOCALIZAÇÃO	30
4.2 QUANTIDADE E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS	30
4.3 ADMINISTRAÇÃO DO ATERRO	32
4.4 CONCEPÇÃO DO ATERRO E PRÁTICAS DE DISPOSIÇÃO	32
4.5 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	33
5 MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1 METODOLOGIA DE CÁLCULO	34
5.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS K E LO.....	36
5.2.1 <i>Determinação do parâmetro k</i>	36
5.2.2 <i>Determinação do parâmetro Lo</i>	36
5.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA E ENERGIA DISPONÍVEL.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	40
6.2 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA	42
7 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS	47
ANEXO I.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Geração dos resíduos sólidos em diversos momentos da seqüência de transformação e utilização dos recursos naturais.....	02
Figura 3.1 – Ciclo básico de geração de lixo no meio ambiente.....	07
Figura 3.2 – Composição percentual média de lixo domiciliar no Brasil.....	11
Figura 3.3 – Composição percentual média de lixo domiciliar em Minas Gerais.....	11
Figura 3.4 – Disposição de RSU em Minas Gerais.....	13
Figura 3.5 – Fases da biodegradação do lixo.....	16
Figura 3.6 – Pontos de regularização de fluxo ou manifolds.....	20
Figura 3.7 – Turbina de combustão interna.....	21
Figura 3.8 – Turbina a gás.....	22
Figura 3.9 – Micro-turbina.....	23
Figura 4.1 – Localização da cidade de Santana do Paraíso.....	24
Figura 5.1 – Página de entrada de dados do Landgem.....	29
Figura 6.1 – Vazão de biogás por ano.....	34
Figura 6.2 – Toneladas de biogás por ano.....	35
Figura 6.3 – Potencial Energético.....	37
Figura 6.4 – Energia Disponível.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Composição do biogás.....	17
Tabela 4.1 – Quantidade de Lixo depositado no Aterro.....	25
Tabela 5.1 – Constante de Geração de Metano.....	25
Tabela 5.2 – Fator de correção do metano para as condições do aterro.....	30
Tabela 5.3 – Valores de COD para diferentes componentes.....	31
Tabela 6.1 – Vazões de metano e Dióxido de Carbono.....	35
Tabela 6.2 – Potencial Energético.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CH₄ – Metano

COD – Carbono Orgânico Degradável

COD_f – Fração de COD Dissociada

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CO₂ – Dióxido de Carbono

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

E – Energia Disponível

EA – Environmental Agency

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPA – Environmental Protection Agency

F – Fração em Volume de Metano no Biogás

FCM – Fator de correção do metano

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIP – Fundação Israel Pinheiro

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GEE – Gases de Efeito Estuda

HFC's – Hidrofluorcarbonos

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPCC – *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IV – Infra-Vermelho

k – Constante da Geração de Metano

LandGEM – *Landfill Gas Emission Model*

Lo – Potencial de Geração de Metano do Lixo

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NMOCs – Non-Methane Organic Compounds

N₂O – Óxido Nitroso

P – Potência Disponível

Pc – Poder Calorífico de Metano

PFC's – Perfluorocarbonos

PVC – Polymer of Vinyl Chloride

Q_x – Vazão de Metano a Cada Hora

RSU – Resíduo Sólidos Urbanos

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

SUPRAM – Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

URC – Unidades Regionais Colegiadas

UV – Ultra-Violeta

η: Eficiência do Motor

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é o resultado do aumento da concentração na atmosfera de gases de efeito estufa – GEE pela ação do homem (IPCC, 2007) e tem sido uma preocupação crescente da comunidade científica e do poder público.

Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUMC), realizada em 1997 na cidade de Quioto, Japão, foi decidida a adoção de um protocolo segundo o qual os países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5%, em relação aos níveis de 1990, no período 2008-2012.

Esse protocolo considera como gases de efeito estufa o CO_2 – dióxido de carbono, CH_4 – metano, N_2O – óxido nitroso, PFC's – perfluorocarbonos, SF_6 – hexafluoreto de enxofre, HFC's – hidrofluorocarbonos. Esses gases retêm o calor refletido pela superfície da Terra e representam uma ameaça potencial ao bem-estar humano e aos ecossistemas naturais. Atribui-se ao uso de combustíveis fósseis, processos industriais e aterros sanitários as principais causas do acúmulo na atmosfera desses gases, principalmente o dióxido de carbono e o metano.

Dentre os principais gases de efeito estufa, o CO_2 é o produzido em maiores quantidades, seguido do metano cujo poder de aquecimento global é cerca de 21 vezes maior que o do CO_2 . Quando queimado, o metano produz calor e CO_2 , reduzindo-se assim seu poder de aquecimento global. Com isso, projetos de aproveitamento desse recurso, através de sua simples queima ou para aproveitamento energético, como produção de calor ou energia elétrica, além de contribuir para diminuir as consequências do aquecimento global, são passíveis de comercialização de créditos de carbono no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL previsto pelo protocolo de Quioto.

A disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) produz quantidades significativas de metano, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis não-metanos e também quantidades não significativas de óxido nitroso, óxido de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO).

A alternativa de aproveitamento energético dos gases e redução do poder de aquecimento global, associados à comercialização de créditos de carbono contribuem para a solução ambientalmente correta na gestão de RSU.

No estado de Minas Gerais ainda não está sendo aproveitado o potencial gerador de energia elétrica dos aterros sanitários. Os grandes municípios mineiros e a região metropolitana de Belo Horizonte possuem o maior potencial para geração dessa energia.

Os aterros sanitários produzem um expressivo volume de gás metano que podem ser usados para geração de energia. A necessidade de atender a demanda de energia tem motivado a busca por novas tecnologias e ações para aumentar a oferta de energia e diminuir os impactos ao meio ambiente.

A Figura 1 ilustra a participação dos gases de efeito estufa nas emissões totais no estado de Minas Gerais.

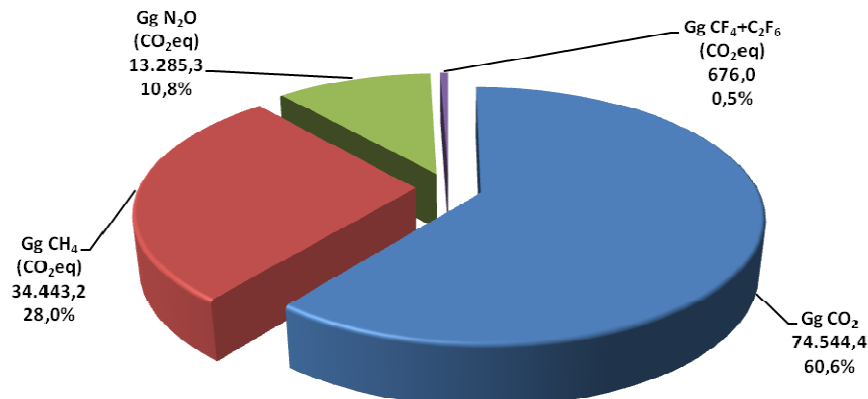


Figura 1.1: Total das emissões de gases de efeito estufa em Minas Gerais no ano de 2005.
Fonte: FEAM, 2008.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é a avaliação do potencial de aproveitamento energético dos RSU depositados no aterro sanitário de Santana do Paraíso utilizando a metodologia da *Environmental Protection Agency – EPA*. Será estimado a geração de metano desde o início da operação no aterro, passando pelo seu fechamento que deve ocorrer por volta de 2033.

2.2 Objetivos específicos

Este estudo terá como objetivos específicos:

- quantificar a geração de metano no aterro sanitário;
- calcular o potencial de geração de energia elétrica;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Mudanças climáticas*

O sistema climático consiste da atmosfera, superfície terrestre, neve, gelo, oceanos, outros corpos de água, e os seres vivos. Esse sistema evolui no tempo sob a influência da sua própria dinâmica interna e devido a mudanças nos fatores externos, tais como: erupções vulcânicas, variações solares, e também as mudanças induzidas pelo homem na composição da atmosfera (IPCC, 2007).

De acordo com o IPCC (2007) existem três formas fundamentais para mudar o balanço de radiação da terra – alterando a radiação solar, alterando a fração da radiação solar que é refletida (chamado de “albedo”) e alterando a radiação de ondas longas da Terra que voltam para o espaço – o clima, por sua vez, responde diretamente a tais mudanças, bem como, indiretamente, através de uma variedade de mecanismos de respostas.

Conforme descrito por BAIRD (2002) e IPCC (2007) a superfície e a atmosfera da Terra são mantidas aquecidas principalmente pela energia proveniente do sol. A quantidade de energia que atinge o topo da atmosfera da Terra a cada segundo sobre uma superfície de um metro quadrado ao dia é de cerca de 1.370 Watts. De toda energia recebida do sol pelas camadas superiores da atmosfera, cerca de pouco mais que a metade é Infravermelho (IV), e o restante é Luz visível.

De toda luz do sol que incide sobre a Terra envolvendo todos os comprimentos de onda, cerca de 30% que atinge o topo da atmosfera é refletida de volta ao espaço. Dessa energia dois terço é refletida devido a nuvens e pequenas partículas na atmosfera. O restante é refletido pelas superfícies de cor clara: neve, gelo e desertos (IPCC 2007). Cerca de 50% dessa energia atinge a superfície e é absorvida. O restante, 20% da luz incidente, são absorvidas por gases – UV, pelo ozônio estratosférico e oxigênio diatômico, e IV pelo CO₂ e H₂O – e pelas gotículas de água presentes no ar (BAIRD 2002).

Segundo BAIRD (2002) “alguns gases presentes no ar podem absorver temporariamente luz Infravermelha térmica de comprimentos de onda específicos, sendo assim, nem todo IV emitido pela superfície da Terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Logo após sua absorção pelas moléculas presentes no ar, como o CO₂, a luz infravermelha é

reemitida em todas as direções, de modo completamente aleatório. Deste modo, uma parte do IV térmico é direcionado de volta em direção à superfície, sendo reabsorvida, e conseqüentemente provocando o aquecimento adicional tanto da superfície como do ar. Esse fenômeno, o redirecionamento ou desvio do IV térmico em direção à Terra, é chamado de efeito estufa.”

3.2 Resíduos sólidos

3.2.1 Os resíduos sólidos urbanos no Brasil

A produção de resíduos sólidos faz parte do dia-a-dia do ser humano. Não se pode imaginar um modo de vida que não gere resíduos sólidos. Entretanto, são visíveis os problemas causados pelos resíduos sólidos devido ao aumento da população humana, à concentração dessa população em centros urbanos, à forma e ao ritmo da ocupação desses espaços e ao modo de vida com base na produção e consumo cada vez mais rápidos de bens (PHILIPPI JR. 2005).

Segundo Philippi Jr. (2005) o gerenciamento dos resíduos sólidos nas áreas urbanas se baseou, historicamente, na coleta e no afastamento dos resíduos. Ao longo do tempo as administrações municipais ou locais equivalentes passaram a prestar o serviço de coleta e afastamento. Esse tipo de serviço, especialmente quando executado com eficiência, cria a sensação mágica na população de que os resíduos simplesmente desaparecem de sua vista. Por isso, a sociedade em geral levou muito tempo para perceber as graves tendências relacionadas à quantidade, qualidade e às soluções para o gerenciamento dos resíduos sólidos.

Diante do cenário que se formou, a sociedade compreendeu a importância sobre o tema resíduos sólidos. Por conseguinte, as discussões políticas e os espaços na mídia tem levado a uma discussão aprofundada sobre os problemas associados aos resíduos sólidos.

Philippi Jr. (2005) cita que um desses elementos que vêm sendo incorporado envolve a noção de que a geração de lixo é inadequada: muitas vezes são lançados nas ruas sem acondicionamento, acondicionados com materiais inadequados ou ainda colocados para coleta em locais que prejudicam a qualidade de vida.

3.2.2 Conceito de Resíduo

A definição de resíduo sólido é encontrada na literatura pelos mais diversos conceitos, porém apresentam aspectos comuns.

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2007) os resíduos sólidos são materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) provenientes das atividades humanas e da natureza, que podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

Segundo Faria, citado por Henriques (2004) resíduo sólido é todo aquele resultante das atividades diárias do homem na sociedade. Sendo estes, na maior parte das vezes, restos alimentares, papéis e papelões, plásticos, trapos, couros, madeiras, latas, vidros, lamas, gases e vapores, poeiras, sabões e detergentes, bem como outras substâncias descartadas de forma consciente.

De qualquer modo, os resíduos constituem, em todas as definições, subprodutos da atividade humana com características específicas, definidas geralmente pelo processo que os gerou. Do ponto de vista da sociedade, materiais descartados que são aproveitados deixam resíduos, constituindo-se as matérias-primas secundárias. Em particular, são denominados rejeitos todos os resíduos que não têm aproveitamento econômico por nenhum processo tecnológico disponível e acessível (PHILIPPI JR. 2005).

O conceito de resíduo sólido é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT 1987) como:

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

Para Teixeira, citado por Cunha (2002) a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é muito ampla e pode estar equivocada ao incluir os líquidos juntamente

com os resíduos sólidos. Contudo como esta definição é a oficial servirá como base a este estudo.

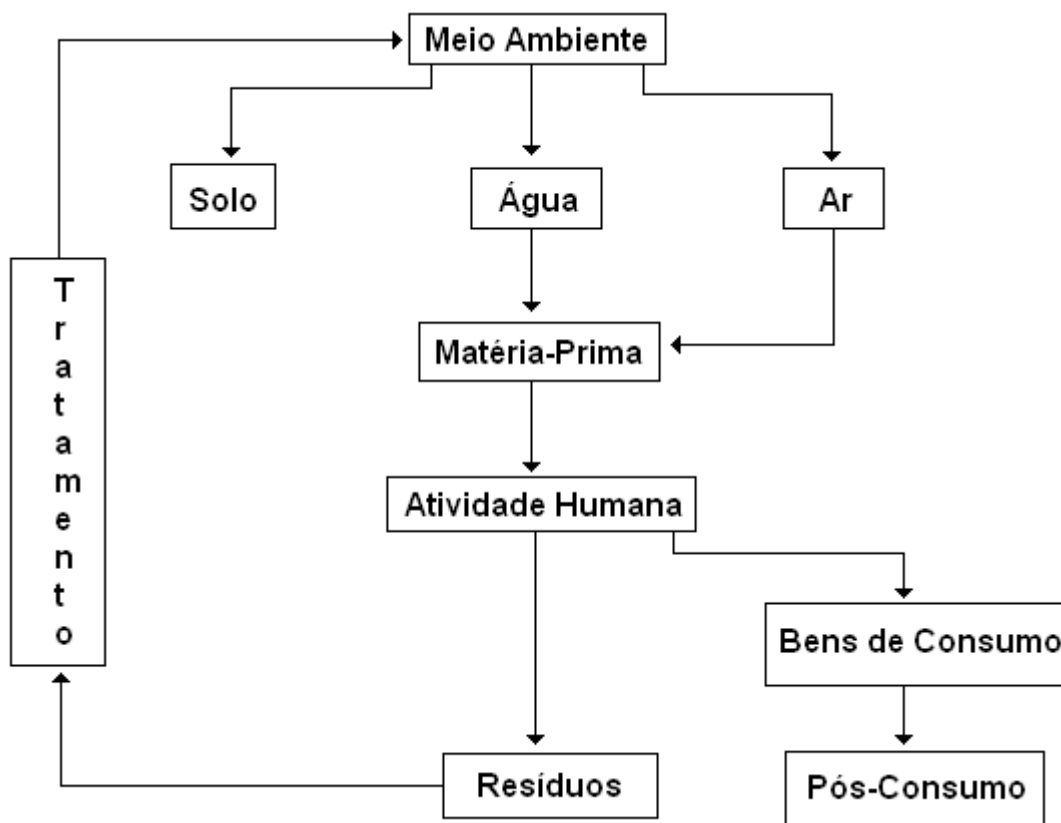


Figura 3.1 – Ciclo básico de geração de lixo no meio ambiente
Fonte: Pereira Neto, 2007

3.2.3 Caracterização de resíduos sólidos

Philippi Jr. (2005) diz que as características dos resíduos sólidos determinam a classificação dos resíduos e, portanto, a forma de manuseio e operação. Algumas das características importantes são:

- Densidade aparente, medida em unidade de massa por unidade de volume;
- Umidade, em porcentagem de massa;
- Composição qualitativa, que corresponde à lista dos materiais e substâncias de interesse presentes nos resíduos;

- Composição quantitativa, que corresponde à quantidade percentual dos materiais ou à quantidade massa/massa de substâncias de interesse;
- Caracterização química, que corresponde à quantificação dos elementos químicos presentes ou ao comportamento do resíduo submetido a testes químicos específicos, como lixiviação, solubilização e combustão.

3.2.4 Classificação de Resíduos

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

Classe I ou Perigosos – São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Classe II ou Não-inertes – São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.

Classe III ou Inertes – São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Outra forma de classificar o lixo é quanto a sua origem, o lixo pode ser classificado, segundo o IPT, como:

- **Lixo Domiciliar**

Aquele originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas e embalagens, papel higiênico e fraldas descartáveis, ou ainda uma infinidade de itens domésticos.

- **Lixo Comercial**

É aquele originado nos estabelecimentos comerciais e de serviços, como supermercados, bancos, lojas, bares, restaurantes, etc. O lixo destes estabelecimentos tem um forte componente de papel, plástico, embalagens diversas e material de asseio, como papel-toalha, papel higiênico, etc.

- **Lixo Público**

São aqueles originados dos serviços de limpeza pública urbana, incluídos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, córregos e terrenos baldios, podas de árvores, etc. Fazem parte ainda desta classificação a limpeza de locais de feiras livres ou eventos públicos.

- **Lixo Hospitalar**

Constituídos de resíduos sépticos que contém ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, como hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc. Este lixo é constituído de agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura, animais usados em teste, sangue coagulado, remédios, luvas descartáveis, filmes radiológicos, etc.

- **Lixo Especial**

É o lixo encontrado em portos, aeroportos, terminais rodoviários ou ferroviários. Constituído de resíduos sépticos, pode conter agentes patogênicos oriundos de um quadro de epidemia de outro lugar, cidade, estado ou país. Estes resíduos são formados por material de higiene e asseio pessoal, restos de alimentação, etc.

- **Lixo Industrial**

É aquele originado nas atividades industriais, dentro dos diversos ramos produtivos existentes. O lixo industrial é basicamente variado e pode estar relacionado ou não com o tipo de produto final da atividade industrial. É constituído por resíduos de cinzas, óleos, lodo, substâncias alcalinas ou ácidas, escórias, corrosivos, etc.

- **Lixo Agrícola**

Resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como, por exemplo, embalagens de adubos e agrotóxicos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. Em várias regiões do mundo, este tipo de lixo vem causando preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal gerados nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agroquímicos diversos, em geral tóxicos, têm estado na mira das legislações específicas.

3.2.5 Composição do Lixo

A composição dos resíduos sólidos é função de cada atividade desenvolvida pelo homem e sofrem variações com o decorrer do tempo em função do desenvolvimento de uma região e das modificações advindas da transformação dos processos industriais (CUNHA, 2002).

Segundo Oliveira (2004) os resíduos sólidos urbanos possuem composição típica conforme descrita a seguir: papéis, plásticos, vidros e metais, oriundos de embalagens; material orgânico, oriundo de restos alimentícios (cascas e sobras) e poda de árvores, têxteis, borrachas; e inertes.

As figuras a seguir mostram a composição percentual média de lixo no Brasil e em Minas Gerais, como uma forma de se comparar cada situação apresentada.

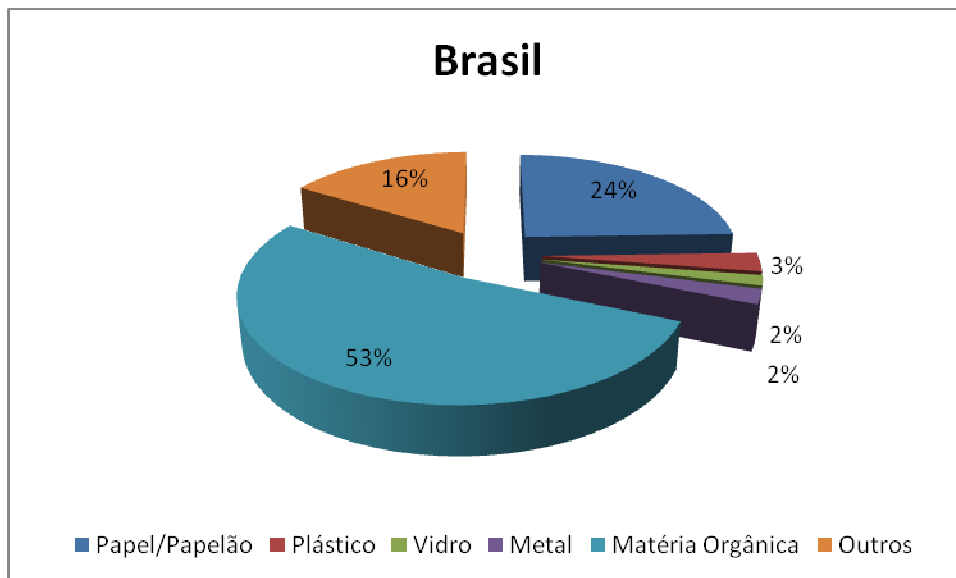


Figura 3.2 – Composição percentual média de lixo domiciliar no Brasil
 Fonte: IPT, 2002 (Adaptado pelo autor)

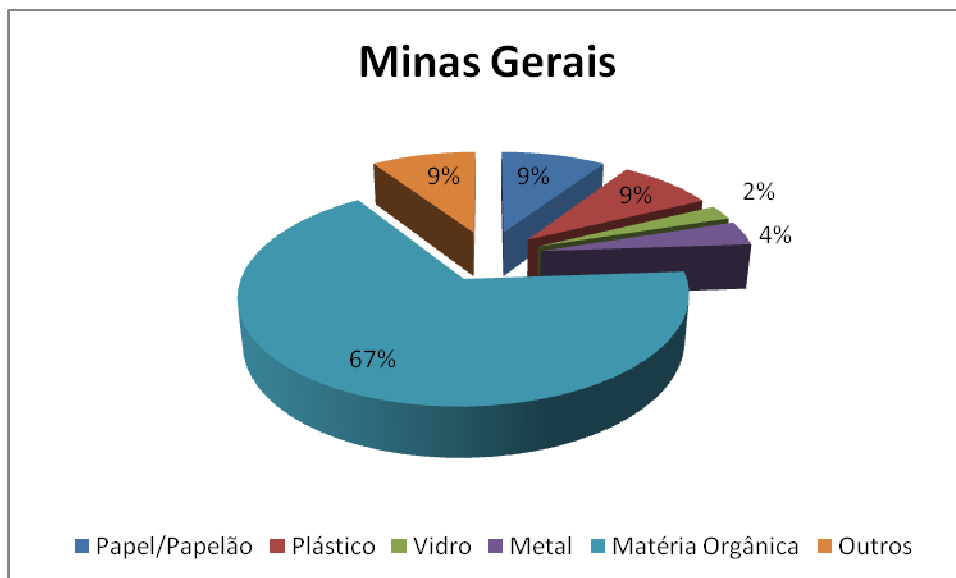


Figura 3.3 – Composição percentual média de lixo domiciliar em Minas Gerais
 Fonte: Pereira Neto, 1999 (Adaptado pelo autor)

3.2.6 Disposição final de resíduos sólidos

De acordo com Oliveira (2004), para disposição mínima de resíduos sólidos pode-se ordenar as rotas de disposição dos resíduos da seguinte maneira: redução na geração da fonte, reutilização do material produzido, reciclagem, recuperação de energia e aterro sanitário.

Os resíduos sólidos urbanos podem ser dispostos diretamente em aterros sobre o solo ou previamente submetido à triagem para reciclagem, incinerados, ou usar o método da pirólise,

compostagem aeróbia e/ou anaeróbia, como forma de reduzir a quantidade de lixo a ser enterrado (MELLO, 2004).

Disposição direta em aterros

De acordo com MELLO (2004) a disposição direta sobre o solo ocorre sem qualquer tipo de tratamento ou intervenção física, química ou biológica. Por ser uma alternativa mais barata de disposição de resíduos, é a forma mais amplamente utilizada no Brasil.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2002) os aterros podem ser classificados em:

- Lixões: forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.
- Aterros controlados: técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Apesar de utilizar alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, geralmente, não dispõe de impermeabilização de base, nem de sistemas de tratamento do percolato ou do biogás gerado.
- Aterros sanitários: processo para disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

O programa Minas sem lixões, criado em 2003, tem como meta, até 2011, reduzir em 80% o número de lixões no estado de Minas Gerais. A Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM junto com a Fundação Israel Pinheiro – FIP tem orientado os municípios na gestão dos resíduos sólidos urbanos. A FEAM publicou o “Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos” com o objetivo de auxiliar esses municípios. A figura abaixo mostra a situação da disposição do lixo no estado de Minas Gerais no ano de 2008.

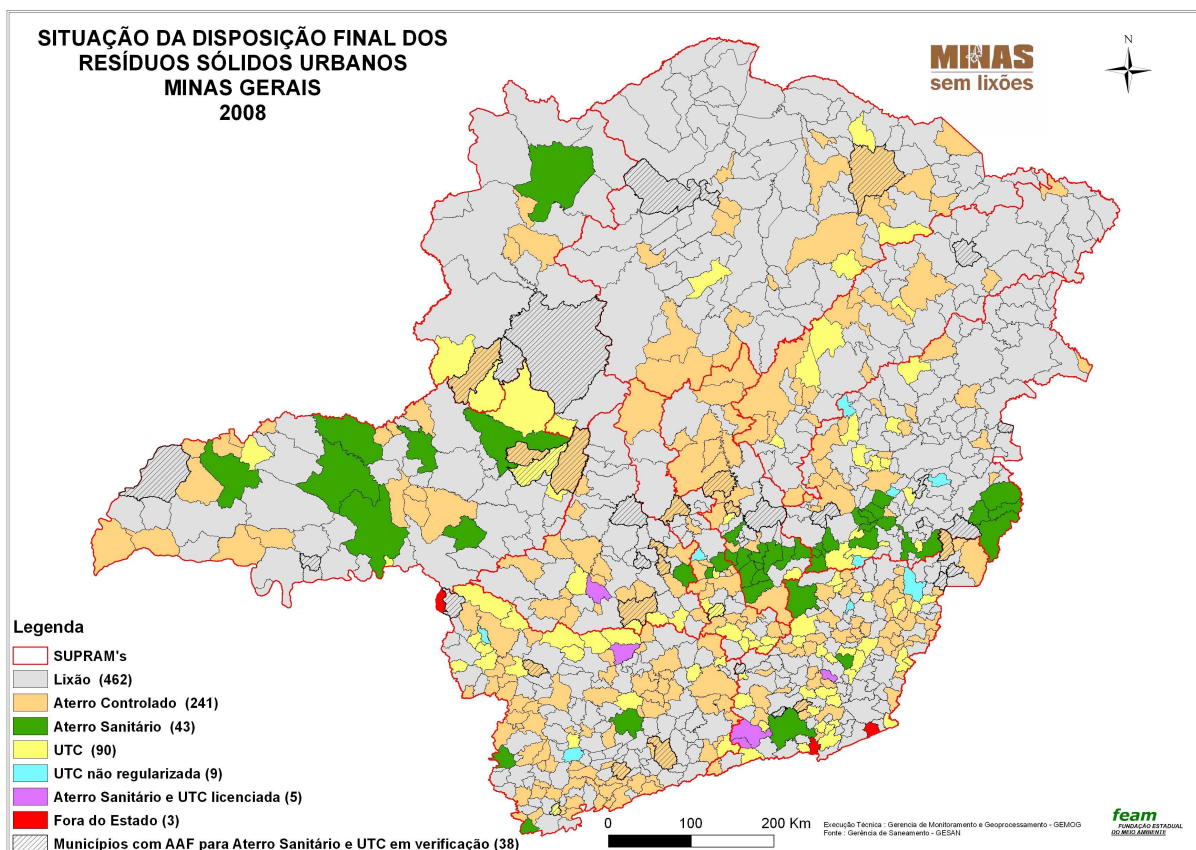


Figura 3.4 – Disposição de RSU em Minas Gerais
Fonte: Feam, 2008

Disposição em aterros mediante triagem prévia

Conforme descrito em MELLO (2004) as formas de pré-tratamento do lixo são:

- **Reciclagem:** consiste em retirar parte do resíduo seco, que tem valor no mercado, mas que representa uma pequena porção, dificilmente maior que 25%. Esse pré-tratamento aumenta a quantidade de matéria orgânica, mas redundando apenas num pequeno reflexo no aumento do potencial de geração de biogás por área nos aterros. Como premissa para a reciclagem é realizada a segregação do lixo através do acondicionamento em diferentes recipientes separados.
- **Compostagem:** consiste em retirar a matéria orgânica em quantidade que pode ser maior que a triagem para reciclagem, influenciando significativamente no potencial de geração de metano dos aterros. A compostagem pode ser aeróbia ou anaeróbia e, em ambos os casos, os aterros tendem a diminuir o seu potencial energético.

- Incineração: é a mais eficiente forma de pré-tratamento de lixo. As cinzas que sobram do processo são destinadas a aterros como material inerte. Os incineradores, entretanto, são formas importantes de geração de energia termelétrica. A condição ideal, do ponto de vista energético, seria a separação da fração reciclável, a incineração do rejeito com aproveitamento termelétrico e a compostagem anaeróbia da fração orgânica com aproveitamento termelétrico do biogás, mas se trata de uma alternativa com alto custo.
- Pirólise: é um processo de gaseificação do lixo com produção de gás de síntese que pode ser aproveitado para geração de energia. O subproduto resultante também deve ser encaminhado para aterros, mas apresenta baixo potencial de geração de metano. Considerado, também, um processo caro no Brasil.

3.3 Biogás de aterro

3.3.1 Biodegradação dos resíduos sólidos

“O lixo ao ser depositado em aterros, permanece um período de tempo descoberto e em contato com o ar atmosférico, até ser compactado e coberto. Neste período já se constata a emissão de compostos voláteis que constituem a massa do resíduo. Esses compostos continuarão a ser emitidos mesmo após a aplicação do material de cobertura e o fechamento da célula do aterro” (ENSINAS 2003).

De acordo com Borba (2006) um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume.

Conforme Mann (2001), são as seguintes as fases da biodegradação:

Fase I – aeróbia – Durante a primeira fase da decomposição, as bactérias aeróbicas, bactérias que vivem apenas na presença de oxigênio, consomem o oxigênio, enquanto quebram as complexas longas cadeias moleculares de carboidratos, proteínas e lipídeos que compõe os resíduos orgânicos. O principal subproduto desse processo é o dióxido de carbono. O teor de nitrogênio é alta no início desta fase, mas diminui à medida que o aterro passa pelas quatro fases. A Fase I continua até que o oxigênio disponível é esgotado. Esta fase pode durar dias ou meses, dependendo da quantidade de oxigênio que está presente quando os resíduos são

depositados no aterro. Esses níveis variam de acordo com fatores como a forma de disposição ou compactação dos resíduos quando enterrado.

Fase II – anaeróbia não metanogênica – A decomposição da Fase II se inicia após o consumo do oxigênio do aterro. Usando um processo anaeróbio (um processo que não precisa de oxigênio), as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbicas em ácidos acético, láctico, fórmico e alcoóis, como metanol e etanol. O aterro sanitário torna-se altamente ácido. Os subprodutos gasosos desses processos são o dióxido de carbono e hidrogênio. Se o oxigênio de alguma forma for introduzido no aterro, os processos microbianos voltarão para a Fase I.

Fase III – anaeróbia metanogênica, instável – A decomposição da Fase III começa quando certos tipos de bactérias anaeróbicas consomem os ácidos orgânicos produzidos na Fase II. Este processo faz com que o aterro torne-se um ambiente mais neutro onde as bactérias produtoras de metano começam a se estabelecer. As bactérias metanogênicas e as produtoras de ácido têm uma relação simbiótica. As bactérias produtoras de ácido produzem compostos para as metanogênicas consumirem. Por sua vez, as bactérias metanogênicas consomem o dióxido de carbono e o acetato, que são tóxicos para as bactérias produtoras de ácido.

Fase IV – anaeróbia metanogênica, estável – A decomposição na Fase IV começa quando a produção de gás metano e dióxido de carbono permaneçam relativamente constante. Esta fase geralmente contém aproximadamente 45% a 60% de metano, em volume, 40% a 60% de dióxido de carbono, e 2% a 9% de outros gases, tais como sulfetos. O gás é produzido em uma taxa estável, normalmente por cerca de 20 anos, no entanto, o gás continuará a ser emitido por 50 anos ou mais após os resíduos serem depositados no aterro. Uma produção de gás poderá durar mais tempo quando uma quantidade maior de produtos orgânicos estiverem presentes nos resíduos.

A figura 5 descreve as fases da biodegradação do lixo ao longo do tempo.

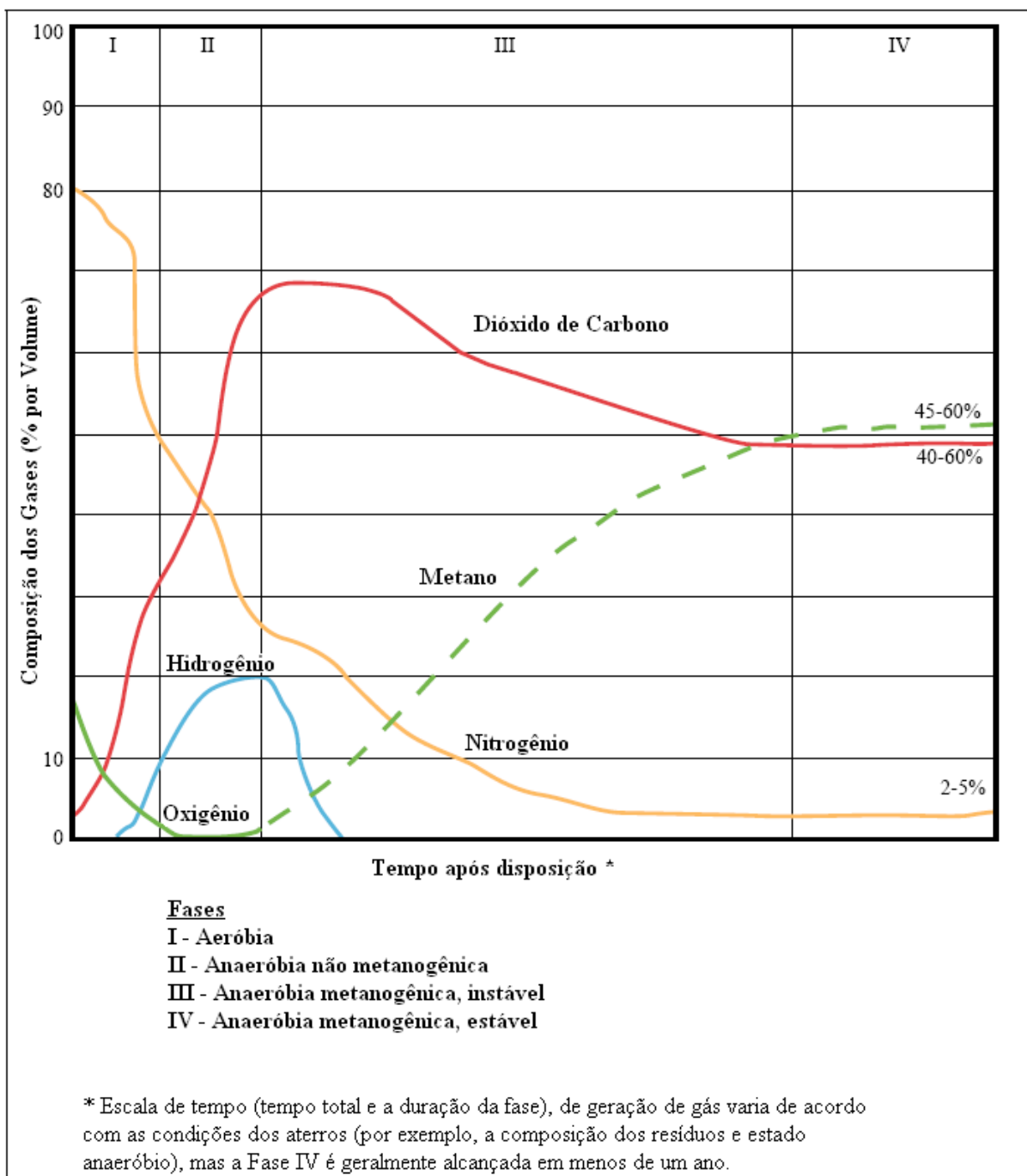


Figura 3.5 – Fases da biodegradação do lixo
 Fonte: EPA, 2010

3.3.2 Composição do biogás de aterro

Segundo HENRIQUES (2004), a composição do biogás de aterro constitui de metano, dióxido de carbono, alguns gases inertes e compostos sulfurosos. Normalmente 100 – 200 m³ de biogás são produzidos por tonelada de resíduos sólidos orgânico digerido.

Gás	Fórmula química	Concentração (%)
-----	-----------------	------------------

Hidrogênio	H ₂	1 – 10
Nitrogênio	N ₂	0,5 – 3
Oxigênio	O ₂	0,1 – 1
Monóxido de Carbono	CO	0,1
Gás Sulfídrico	H ₂ S	0,1
Vapor D'água	H ₂ O	Variável
Dióxido de Carbono	CO ₂	35 – 45 (média 35)
Metano	CH ₄	50 – 70 (média 60)

Tabela 3.1 – Composição do biogás
 Fonte: MOTTA, APUD CUNHA, 2002

3.3.3 Parâmetros que interferem na produção do biogás

STANFORTH et al citado em CARVALHO (2005) explica que na estabilização dos resíduos nos aterros muitas variáveis interferem neste processo, tais como: a quantidade de água introduzida, que afeta na taxa de degradação; a composição dos resíduos; as variações sazonais da temperatura; as práticas de operação do aterro, etc. Ocorrem, ainda, interferências de micro-ambientes atuando em diferentes fases ao mesmo tempo, por exemplo: ocorrência simultânea de alto teor de ácidos voláteis, baixo pH e metanogênese.

Na seqüência alguns autores citam alguns fatores principais que afetam a digestão anaeróbia em aterros sanitários (MANN 2001; CARVALHO 2005; ALVES 2008).

Composição dos resíduos

Quanto maior for a presença de matéria orgânica no aterro, maior será a produção pela bactéria de biogás (por exemplo, dióxido de carbono, metano, nitrogênio) durante a decomposição. Quanto maior for a disposição de produtos químicos no aterro, maior será a produção de NMOCs e outros gases através da volatilização e reações químicas.

Idade do aterro

Geralmente, os resíduos enterrados mais recentemente (a menos de 10 anos) produzem uma quantidade maior de biogás através da decomposição bacteriana, volatilização, reações químicas do que os resíduos mais velhos (dispostos a mais de 10 anos).

Oxigênio

O oxigênio pode entrar no interior das células de lixo por trocas com a atmosfera. Contudo, as bactérias aeróbias, presentes na superfície do aterro, o consomem rapidamente, limitando a zona aeróbia e diminuindo a formação de metano nessa camada.

Potencial hidrogênico, alcalinidade e ácidos voláteis

Existe uma grande relação entre o pH, a alcalinidade e o teor de ácidos voláteis, que determina o sistema ácido/base. Esta relação deve ser mantida dentro de certos limites para que um equilíbrio químico satisfatório entre os microorganismos atuantes na decomposição dos resíduos sólidos seja alcançado e preservado.

As bactérias metanogênicas atuam somente dentro de uma estreita faixa de pH de 6 a 8. As bactérias fermentativas e as acetogênicas sobrevivem em faixa de pH mais ampla que as metanogênicas. Já as bactérias redutoras de sulfatos se desenvolvem em faixa de pH que varia de 5 a 9.

Temperatura

As bactérias podem crescer em faixa de temperaturas mínima, ótima e máxima. Na temperatura ótima, as enzimas bacterianas estão na forma mais ativa, enquanto que na temperatura mínima as enzimas trabalham com menor eficiência e são, portanto, mais demoradas durante a conversão da matéria orgânica complexa em subprodutos.

A temperatura é fator importante nos processos anaeróbios. A elevação da temperatura provocará aumento na produção de gás no aterro, ocorrendo também a aceleração da decomposição dos resíduos. As bactérias metanogênicas são consideradas mesofílicas, quando a temperatura do meio varia entre 29 e 40°C, e termofílicas, quando a temperatura varia entre 45 e 70°C.

Umidade

A presença de umidade no aterro sanitário aumenta a produção de gás porque incentiva a decomposição bacteriana. Além disto, a água possibilita a dispersão dos microorganismos no

meio sólido, fornecendo os substratos e nutrientes necessários ao crescimento dos mesmos, além de proporcionar o transporte de suas enzimas.

As possíveis fontes de água em um aterro sanitário são a umidade inicial do material, a água formada com a decomposição dos resíduos, a água subterrânea que pode atingir os mesmos e a que é infiltrada superficialmente.

A faixa ideal de umidade visando a produção de gás é de 25 a 60%. No entanto, ao mesmo tempo em que auxilia o desenvolvimento da metanogênese, a água dificulta as atividades operacionais no aterro.

A umidade isoladamente não constitui um fator fundamental, mas deve-se considerar a necessidade de associação com outros parâmetros como temperatura, pH, compactação e composição do lixo.

3.4 *Captação do biogás de aterro*

O biogás pode ser coletado tanto por um sistema passivo ou ativo. O sistema de coleta é composto por uma série de poços de captação do biogás introduzido no aterro. O número e espaçamento dos poços dependem das características específicas do aterro, como volume de resíduos, densidade, profundidade e área. Como o biogás é gerado no aterro, os poços de captação oferecem caminhos para a migração do gás (ATSDR 2001).

A finalidade do sistema passivo é drenar os gases para a atmosfera com objetivo de evitar emissão descontrolada pela superfície, além de evitar que haja migração dos gases para as áreas vizinhas ao aterro através do solo, diminuindo potencial risco de explosão. O sistema ativo possui como componentes exaustores e compressores e é usado em projetos de aproveitamento energético do biogás (ENSINAS 2003).

De acordo com ICLEI (2009) o sistema de extração é formado essencialmente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado.

Desses drenos procedem tubulações que são interligadas a pontos de regularização de fluxo ou manifolds e estes são conectados a uma linha principal, que leva o biogás para os sistemas de queima em flare e/ ou reaproveitamento energético (ICLEI 2009).

A utilização do biogás em um sistema de reaproveitamento energético irá requerer um tratamento preliminar para remover o excesso de umidade, partículas e outras impurezas. O tipo de tratamento depende das características específicas do local de extração desse biogás e do tipo de sistema de recuperação de energia empregada. Caldeiras e motores de combustão interna geralmente requerem tratamento mínimo, por exemplo: desumidificação, filtragem de partículas, e compressão (EPA 2010).



Figura 3.6 – Pontos de regularização de fluxo ou manifolds
Fonte: ICLEI, 2009

3.5 Geração de energia através do biogás de aterro

Eletricidade pode ser produzida através da queima do biogás em turbinas de combustão interna, turbinas a gás, ou micro-turbinas.

3.5.1 Turbina de combustão interna

Turbina de combustão interna, mostrada na figura 3.7, é a tecnologia de conversão mais usada em projetos de geração de eletricidade a partir de biogás devido ao relativo preço baixo, alta eficiência, dimensões compatíveis com gerações de biogás em aterros. São geralmente usadas em aterros que possuem quantidade de biogás suficiente para gerar de 800 kW a 3 MW, ou quando as taxas de fluxo permanente de biogás para os motores são de aproximadamente 0,4 a 1,6 milhões de pés cúbicos por dia (11.300 a 45.300 de metros cúbicos por dia) em 50% de metano. Turbina de combustão interna são relativamente mais eficientes na conversão de biogás em eletricidade, atingindo eficiência de 25 a 30% (EPA 2010).



Figura 3.7 – Turbina de combustão interna
Fonte: EPA, 2010

3.5.2 Turbina a gás

Turbina a gás, mostrada na figura 3.8, são usadas em grandes projetos de geração de energia, onde o volume de biogás é suficiente para gerar no mínimo 3 MW, e caracteristicamente mais que 5 MW. Sua eficiência é de 20 a 28% operando com plena carga, entretanto, essas eficiências caem substancialmente quando a unidade opera com carga parcial (EPA 2010).

A principal desvantagem das turbinas a gás é que elas requerem elevada compressão do gás (165 psig) causando elevadas perdas de carga. Isso significa que uma maior quantidade de energia é requerida para operar o sistema de compressão, comparado com outras opções (EPA 2010).

As turbinas a gás possuem como vantagens uma maior resistência a corrosão que as turbinas de combustão interna e menores taxas de emissão de óxidos de nitrogênio. Além disso, turbinas a gás são relativamente compactas e seu custo de manutenção e operação são mais baixo que turbinas de combustão interna (EPA 2010).



Figura 3.8 – Turbina a gás
Fonte: EPA, 2010

3.5.3 Micro-turbinas

As micro-turbinas, mostrada na figura 3.9, têm sido utilizadas em aterros e em outras aplicações com biogás desde 2001. Em geral, projetos com micro-turbinas possuem um maior custo por kW de capacidade instalada que projetos com turbinas a combustão interna (EPA 2010).

A EPA (2010) cita alguns dos motivos pelos quais a tecnologia de micro-turbinas tem sido selecionadas em relação as turbinas de combustão interna:

- disponibilidade mínima de 8,5 metros cúbicos por minuto requerido para turbinas de combustão interna típicos;
- podem funcionar com percentuais de metano de até 35%;
- é desejada baixa emissão de óxidos de nitrogênio;

- habilidade de adicionar ou remover micro-turbinas à medida que a disponibilidade de biogás varia;
- interconexão relativamente baixa devido à capacidade de geração baixa.

As micro-turbinas são comercializadas com capacidades de 30, 70 e 250 kW. Os projetos devem usar as micro-turbinas de maior capacidade que possam ser suportadas pela potência e biogás disponíveis (EPA 2010).

A EPA (2010) cita os benefícios que podem ser obtidos empregando-se micro-turbinas com maiores capacidades:

- redução do custo inicial (em base \$/kW de capacidade instalada) para a micro-turbina;
- redução dos custos manutenção;
- redução do custo de instalação da planta – a redução do número de micro-turbinas para obter mesma capacidade irá diminuir custos com tubulações, rede elétrica e fundações;
- melhoria da eficiência – a taxa de geração de calor em uma micro-turbina de 250 kW esperada é em torno de 3,3% menor que em uma micro-turbina de 70 kW e em torno de 12,2% menor que em uma turbina de 30 kW.



Figura 3.9 – Micro-turbina
Fonte: EPA, 2010

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Localização

O aterro de Santana do Paraíso localiza no município de Santana do Paraíso, no Estado de Minas Gerais. A cidade esta localizada a cerca de 7 km de Ipatinga e 220 km de Belo Horizonte. O município está localizado na Região Metropolitana do Vale do aço, importante centro siderúrgico.



Figura 4.1 – Localização da cidade de Santana do Paraíso

Fonte: IBGE, 2010

4.2 Quantidade e composição dos resíduos

Conforme relatado por Torres (2000) a Região Metropolitana do Vale do Aço, produz e coleta atualmente da ordem de 1200 ton./dia de resíduos sendo 30% tipo domiciliar, 30% de inertes de construção civil e 40% de terras de desmontes. O aumento da produção de lixo foi estimado da ordem de 1,35% ao ano, correspondente ao aumento populacional esperado.

O aterro sanitário possui uma capacidade estimada de 3.354.655 m³ de resíduo sólido segundo questionário respondido pela Central de Resíduos Vale do Aço.

A tabela 4.1, demonstra ano a ano as quantidades recebidas – de 2003 a 2009 – e as quantidades estimadas nos anos subsequentes.

Ano	Quantidades de Lixo (ton)	Acumulado (ton)
2003	13.301	13.301
2004	45.734	59.035
2005	64.203	123.238
2006	82.713	205.951
2007	85.247	291.198
2008	84.845	376.043
2009	88.921	464.964
2010	90.121	555.085
2011	91.338	646.424
2012	92.571	738.995
2013	93.821	832.815
2014	95.087	927.903
2015	96.371	1.024.274
2016	97.672	1.121.946
2017	98.991	1.220.937
2018	100.327	1.321.264
2019	101.681	1.422.945
2020	103.054	1.526.000
2021	104.445	1.630.445
2022	105.855	1.736.300
2023	107.284	1.843.585
2024	108.733	1.952.318
2025	110.201	2.062.518
2026	111.688	2.174.207
2027	113.196	2.287.403
2028	114.724	2.402.127
2029	116.273	2.518.401
2030	117.843	2.636.243
2031	119.434	2.755.677
2032	121.046	2.876.273
2033	122.680	2.999.403

Tabela 4.1 – Quantidade de Lixo depositado no Aterro
Fonte: EIA, 2000

A composição gravimétrica do lixo baseou-se no estudo realizado por Pereira Neto (1999) demonstrado na tabela 4.2.

Região	Papel/Papelão	Plástico	Vidro	Metal	Matéria Orgânica	Outros
Rio Doce	9,1	8,2	2	3,8	67,4	9,5

Tabela 4.2 – Composição gravimétrica do Lixo em %
Fonte: Pereira Neto, 1999

4.3 Administração do aterro

O aterro de Santana do Paraíso denominado Central de Resíduos do Vale do Aço pertence ao município de Santana do Paraíso e é operado pela Construtora Queiroz Galvão S.A., empresa prestadora de serviços de saneamento.

A realização de um projeto de captura de biogás no Aterro de Santana do Paraíso seria provavelmente executada por meio de um processo aberto de licitação na modalidade de concessão do uso do biogás produzido para queima e geração de energia elétrica.

4.4 Concepção do aterro e práticas de disposição

A Central de Resíduos do Vale do Aço começou sua operação no ano de 2003 e foi projetada para atender a demanda da região do Vale do Aço por pelo menos 25 anos. As cidades atendidas pelo aterro são: Belo Oriente, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Marliéria, Santana do Paraíso e Timóteo.

A Central de Resíduos possui um aterro sanitário, uma unidade de compostagem, uma unidade de desidratação e valas sépticas. A área destinada a implantação do aterro é de 44,38 ha, mas efetivamente ocupa uma área de 16,90 ha. A profundidade máxima final do aterro é estimada em 70 metros.

Conforme descrito por Torres (2000) no Estudo de Impacto Ambiental – EIA a base do aterro é conformado no formato de “terraços” escalonados de largura variável (conforme variação do terreno natural). Os resíduos são dispostos em plataformas com altura final de 5,0 m cada utilizando a técnica de rampa. As plataformas possuem inclinação de 1:2,3 e as bernas possuem largura de 4,0 m e são inclinados de 1% em direção ao pé do talude.

O chorume é coletado do fundo por um dreno do tipo espinha de peixe construído de brita nº 4 com seção de 0,50 m x 0,50 m. O dreno principal é constituído também por tubo de PVC de diâmetro de 3” sendo perfurado nos trechos sob resíduos, conforme relatado no EIA. O percolado também é coletado por drenos verticais e horizontais no interior do aterro. O líquido percolado com vazão de de 0,50 l/seg. é direcionado para o módulo de tratamento, do tipo biológico, composto de filtro anaeróbio, charco artificial e lagoa de maturação.

De acordo com Torres (2000) o filtro anaeróbio consiste de um leito de pedra no fundo da célula, que funciona como dreno de chorume e filtro anaeróbio de fluxo horizontal. O charco artificial consiste de três unidades em paralelo, sendo uma de reserva. O estudo chama de charco a vala preenchida com pedra onde o efluente escoar. A lagoa de maturação recebe os efluentes tratados no charco e serve como polimento para sistema de tratamento, sendo sua principal função a redução de organismos patogênicos.

Os gases gerados no aterro, denominado biogás, são drenados através de respiradouros constituídos de um tubo cilíndrico de aço, chapa de #3/16”, com diâmetro de 60 cm e altura da ordem de 2,00 m e espaçados a cerca de 50 metros de distância um do outro. Esses respiradouros são preenchidos com brita (ou pedra de mão) e progressivamente elevado por um braço mecânico à medida que a profundidade do aterro é aumentada. No topo de cada respiradouro foram instalados queimadores especiais, removíveis, para a queima do biogás.

4.5 Licenciamento ambiental

As atribuições de licença ambiental no estado de Minas Gerais são exercidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, Unidades Regionais Colegiadas – URC, Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SUPRAM's que é a representação da Fundação Estadual do Meio Ambiente – Feam, do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e do Instituto Estadual de Florestas – IEF. O estado foi dividido em nove regionais (Central – Metropolitana, Alto São Francisco, Jequitinhonha, Leste de Minas, Noroeste, Norte de Minas, Sul de Minas, Triângulo Mineiro, Zona da Mata) onde cada regional é responsável por cidades que compreendem o seu domínio.

O aterro sanitário de Santana do Paraíso possui Licença de Operação concedida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, por meio do processo administrativo Nº. 00172/2000/005/2007, com validade até 23 de outubro de 2013.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se por ser um estudo de caso que tem como objeto desta pesquisa o aterro sanitário de Santana do Paraíso.

No primeiro momento é realizado estudo bibliográfico que, para sua realização teve por método a leitura exploratória e seletiva do material de pesquisa. A seleção de fontes de pesquisa foi baseada em publicações de autores de reconhecida importância no meio acadêmico e profissional, e em livros e artigos veiculados e pesquisados nos bancos de dados: google academico, scielo, lilacs. Dentre estes autores destacam-se: Mann, Oliveira, Pereira Neto, Philippi Jr., e algumas instituições como *EPA*, *EA*, *FEAM*, *IPCC*.

O delineamento de pesquisa contemplou as fases de levantamento e seleção da bibliografia e leitura esmiuçadora do assunto.

A segunda etapa – estudo de caso – foi realizado através de visita a campo para conhecimento do empreendimento, levantamento de dados – através do preenchimento de questionário que está no Anexo – que serviu como insumo para modelagem dos cálculos.

Para realizar esta modelagem utilizou o programa landgem, desenvolvido pela *EPA*, para compilamento de gráfico e cálculos que demonstrem a geração de biogás e energia.

5.1 Metodologia de Cálculo

Neste estudo, será adotado o modelo de geração de biogás “LandGEM”, desenvolvido pela *EPA*, para estimar a geração de metano no Aterro de Santana do Paraíso. A figura 5.1 mostra a página de entrada de dados do programa. Esse modelo assume a equação de decaimento de 1ª ordem para estimar a quantidade de metano gerado em um aterro, conforme a fórmula básica:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_1}{10} \right) e^{-k_{ij}}$$

Onde:

Q_{CH4} – Quantidade total de gás gerado durante um ano, em m^3 ;

i – incremento de tempo em um ano;

n – ano de início do recebimento de resíduos;

j – incremento de tempo em um-décimo de ano;

k – constante da geração de metano;

L_0 – potencial total de geração de metano (m^3 de metano por tonelada de RSU);

M_i – Massa de resíduos recebidos no ano i (toneladas);

t_{ij} – idade da seção j da massa de resíduos M_i recebida no ano i (anos decimais; ou seja, 3,2 anos).

USER INPUTS Landfill Name or Identifier:

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

Landfill Open Year
 Landfill Closure Year
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS Restore Default Model Parameters

Methane Generation Rate, k ($year^{-1}$)
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg)
 CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration ($ppmv$ as hexane)
 CAA - 4,000
 Methane Content (% by volume)
 CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1 Default pollutant parameters are currently being used by model.
 Total landfill gas Edit Existing or Add New Pollutant Parameters

Gas / Pollutant #2
 Methane

Gas / Pollutant #3
 Carbon dioxide Restore Default Pollutant Parameters

Gas / Pollutant #4
 NMOC

Description/Comments:

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES Input Units:

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		

INTRO USER INPUTS POLLUTANTS INPUT REVIEW METHANE RESULTS GRAPHS INVENTORY REPORT

Figura 5.1 – Página de entrada de dados do Landgem

Fonte: EPA, 2010

5.2 Determinação dos parâmetros k e Lo

5.2.1 Determinação do parâmetro k

Segundo USEPA (2010) o valor de k depende de vários fatores como o teor de umidade do lixo, o pH, a disponibilidade de nutrientes para a metanogênese, temperatura e outros fatores ambientais. De forma geral, os teores de umidade de até 60% e pH na faixa de 6,6 a 7,4 promovem o aumento da taxa de geração de metano. Os valores encontrados na literatura variam de 0,003 a 0,21 (USEPA, 2010).

Para determinar o valor de k será usado os valores recomendados pelo IPCC (2006) conforme tabela 5.1.

Valores padrões recomendado de geração de metano (k) sobre Tier 1					
Tipos de Lixo		Zonas Climáticas			
		Tropical (TMA > 20°C)			
		Seco (PMA < 1000 mm)		Úmido e molhado (PMA ≥ 1000 mm)	
		Padrão	Variação	Padrão	Variação
Resíduos de Degradação Lenta	Papel/Têxteis	0,045	0,04 – 0,06	0,07	0,06 – 0,085
	Madeira/Palha	0,025	0,02 – 0,04	0,035	0,03 – 0,05
Resíduos de Degradação Moderada	Parques e Jardins	0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15 – 0,2
Resíduos de Degradação Rápida	Restos de Alimentos	0,085	0,07 – 0,1	0,4	0,17 – 0,7
Resíduos a granel		0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15 – 0,2

Tabela 5.1 – Constante de Geração de Metano

Fonte: IPCC, 2006 (Adaptado pelo autor)

5.2.2 Determinação do parâmetro Lo

O potencial de geração de metano a partir do lixo pode ser obtido através da metodologia apresentada pelo IPCC (2006), conforme equação abaixo.

$$Lo = FCM \times COD \times COD_f \times F \times 16/12$$

Sendo:

Lo: potencial de geração de metano do lixo (t de CH₄/ t de lixo);

FCM: Fator de correção do metano;

COD: carbono orgânico degradável (t de C/ t de lixo);

COD_f: fração de COD dissociada;

F: fração em volume de metano no biogás;

(16/12): fator de conversão de carbono em metano (t de CH₄/ t de C).

O fator de correção do metano (FCM) varia em função dos fatores de anaerobiose de cada tipo de local de disposição do lixo. Os valores recomendados pelo IPCC estão apresentados na tabela 5.2.

Tipo de Local	FCM – Fator de correção do metano
Adequado	1,0
Inadequado – profundo (> 5m de lixo)	0,8
Inadequado – raso (< 5m de lixo)	0,4

Tabela 5.2 – Fator de correção do metano para as condições do aterro

Fonte: IPCC, 2006

O cálculo da quantidade de carbono orgânico degradável (COD) é baseado na composição gravimétrica do lixo e na quantidade de carbono em cada componente da massa de resíduo como apresentado em IPCC (2006).

Os valores de COD para diferentes componentes do lixo são apresentados na tabela 5.3.

Componente	Porcentagem COD em massa
Papel e Papelão	40
Resíduos de parques e jardins	17
Restos de alimentos	15
Tecidos	40
Madeira	30

Tabela 5.3 – Valores de COD para diferentes componentes

Fonte: IPCC, 2006

Para cálculo do COD utiliza a seguinte equação:

$$\text{COD} = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,3 \times D)$$

Em razão das quantidades de alimentos e resíduos orgânicos estarem juntas, a equação foi modificada para a seguinte:

$$\text{COD} = (0,4 \times A) + (0,16 \times (B + C)) + (0,3 \times D)$$

Onde:

A: papel e papelão;

B + C: alimentos e resíduos orgânicos;

D: madeira

A fração de COD dissociada (CODf) e a fração em volume de metano no biogás (F) a serem utilizadas nesse estudo serão indicadas pela metodologia do IPCC as quais são respectivamente 77% e 50%.

Como o cálculo do fator L_0 pela metodologia do IPCC possui como unidades Gg de CH_4 / Gg de Resíduos e o fator L_0 utilizado para cálculo pela EPA possui como unidades m^3 de CH_4 / Gg de Resíduos para utilizar esse fator no cálculo deverá ser feita a conversão de unidades.

5.3 Determinação da potência e energia disponível

Para o cálculo da potência disponível foi utilizada a seguinte expressão:

$$P_x = \frac{Q_x \times P_{c_{\text{metano}}} \times \eta}{3.6}$$

Onde:

P_x : potência disponível (MW);

Q_x : vazão de metano a cada hora ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{h}$);

P_c : poder calorífico de metano = $39,8.10^3 \text{ kJ}/\text{m}^3\text{CH}_4$;

η : eficiência do motor = 0,28.

Para o cálculo da energia disponível utiliza-se a seguinte expressão:

$$E = P_x \times \text{Tempo de Operação}$$

Onde:

E: energia disponível (MWh/dia);

P: potência disponível (MW);

Tempo de Operação do motor = 24 (h/dia).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Potencial de Produção de biogás

Com base nos dados do questionário respondido pelos representantes da Central de Resíduos do Vale do Aço e pelas metodologias sugeridas pela *EPA*, inseriu-se os dados no programa da *Environmental Protection Agency (EPA)*, o *Landgem (Landfill Gas Emission Model)*.

Os resultados são mostrados a seguir: $Lo = 105,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tonelada}$ de resíduo (potencial de geração de biogás) e $k = 0,17$ (constante de geração de metano).

A tabela 6 apresenta a vazão de metano (m^3/ano) no aterro de Santana do Paraíso, desde o ano de 2003 (início de operação), passando por 2033 (ano de fechamento do aterro) até a previsão 2073, quando se encerraria a produção de biogás, de acordo com a curva de decaimento. As figuras 6.1 e 6.2 mostram o comportamento da vazão do metano durante esses anos. Observa-se que o ponto máximo de geração de biogás ocorre no ano de fechamento do aterro, 2033, e o decaimento, a curva é conduzida pela constante k , referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

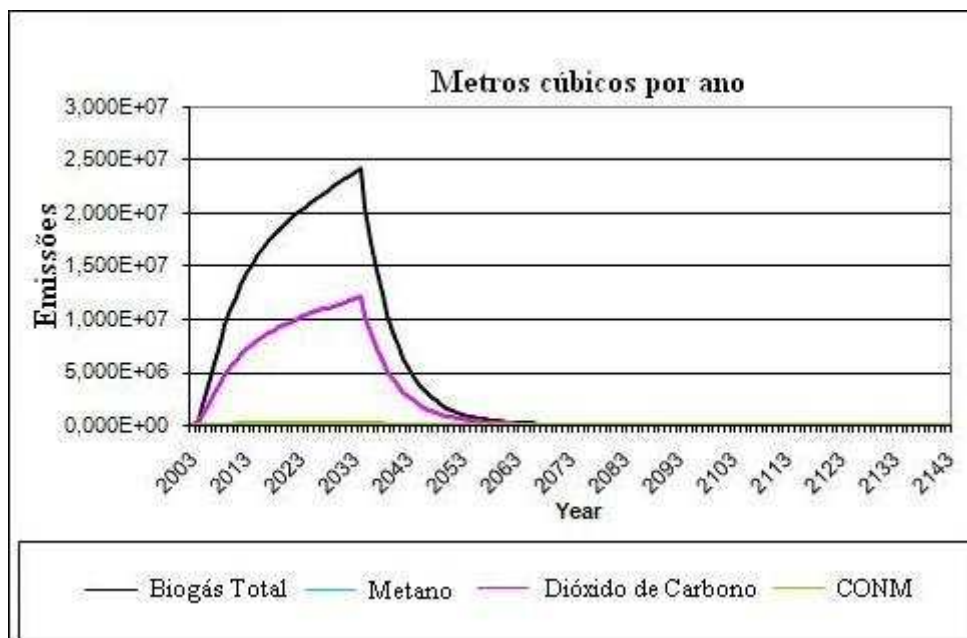


Figura 6.1 – Vazão de biogás por ano. A curva de metano e dióxido de carbono estão sobrepostas.

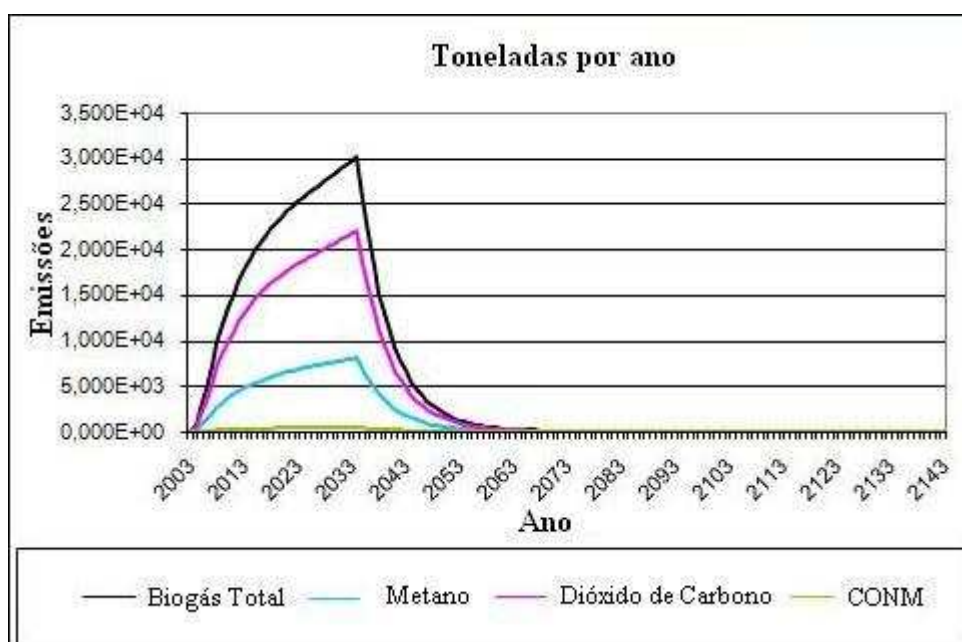


Figura 6.2 – Toneladas de biogás por ano

Ano	Metano		Dióxido de Carbono	
	Ton/ano	m ³ /ano	Ton/ano	m ³ /ano
2003	0	0	0	0
2004	146,9	220200	403,1	220200
2005	629,1	942900	1726	942900
2006	1240	1858000	3402	1858000
2007	1960	2937000	5377	2937000
2008	2595	3889000	7119	3889000
2009	3126	4686000	8577	4686000
2010	3620	5425000	9931	5425000
2011	4049	6069000	11110	6069000
2012	4425	6632000	12140	6632000
2013	4755	7128000	13050	7128000
2014	5048	7567000	13850	7567000
2015	5309	7958000	14570	7958000
2016	5544	8309000	15210	8309000
2017	5756	8627000	15790	8627000
2018	5949	8917000	16320	8917000
2019	6127	9184000	16810	9184000
2020	6292	9432000	17260	9432000
2021	6447	9663000	17690	9663000
2022	6593	9882000	18090	9882000
2023	6731	10090000	18470	10090000
2024	6864	10290000	18830	10290000
2025	6992	10480000	19180	10480000
2026	7116	10670000	19520	10670000
2027	7237	10850000	19860	10850000
2028	7356	11030000	20180	11030000
2029	7473	11200000	20500	11200000
2030	7589	11370000	20820	11370000
2031	7704	11550000	21140	11550000
2032	7819	11720000	21450	11720000
2033	7933	11890000	21770	11890000
2034	8048	12060000	22080	12060000

2035	6790	10180000	18630	10180000
2036	5728	8586000	15720	8586000
2037	4833	7244000	13260	7244000
2038	4077	6111000	11190	6111000
2039	3440	5156000	9438	5156000
2040	2902	4350000	7963	4350000
2041	2448	3670000	6718	3670000
2042	2066	3096000	5667	3096000
2043	1743	2612000	4781	2612000
2044	1470	2204000	4034	2204000
2045	1240	1859000	3403	1859000
2046	1046	1569000	2871	1569000
2047	883	1323000	2422	1323000
2048	745	1116000	2044	1116000
2049	628	941900	1724	941900
2050	530	794700	1455	794700
2051	447	670400	1227	670400
2052	377	565600	1035	565600
2053	318	477200	873	477200
2054	269	402600	737	402600
2055	227	339600	622	339600
2056	191	286600	525	286600
2057	161	241800	442	241800
2058	136	204000	373	204000
2059	115	172100	315	172100
2060	97	145200	266	145200
2061	82	122500	224	122500
2062	69	103300	189	103300
2063	58	87170	160	87170
2064	49	73550	135	73550
2065	41	62050	114	62050
2066	35	52350	95	52350
2067	29	44160	81	44160
2068	25	37260	68	37260
2069	21	31430	58	31430
2070	18	26520	48	26520
2071	15	22370	41	22370
2072	13	18880	34	18880
2073	10	15930	29	15930
2074	9	13440	25	13440

Tabela 6.1 – Vazões de metano e Dióxido de Carbono

6.2 Potencial de Produção de energia

A partir dos valores de produção de metano encontrados foi gerada uma curva de energia potencial apresentada na figura 6.3 considerando uma eficiência de coleta do biogás e eficiência do motor respectivamente de 100% e 28%

Estima-se que a Vazão máxima de energia ocorra em 2033 e acumule 54 Gigajoules (GJ) por hora capaz de gerar 4,2 megawatts. A energia elétrica fornecida pelo aterro no ano de seu fechamento em um projeto como este seria suficiente para abastecer aproximadamente 5.000

residências com um consumo médio de 350 kWh/mês. Para uma média de 4 pessoas/residência, o aproveitamento do biogás do aterro poderia atender a uma população de 20.000 pessoas, sendo este número reduzido posteriormente com a diminuição na produção de energia no aterro.

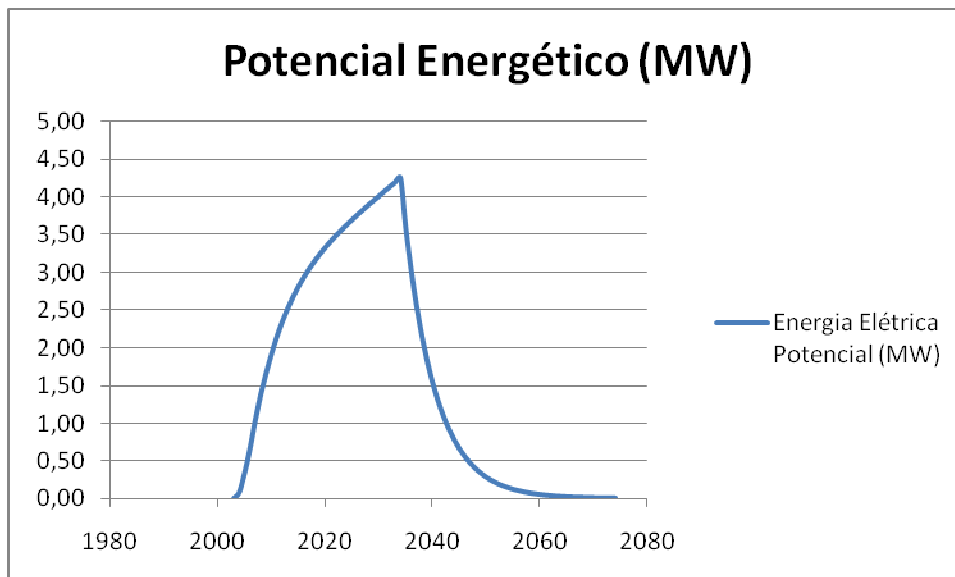


Figura 6.3 – Potencial Energético

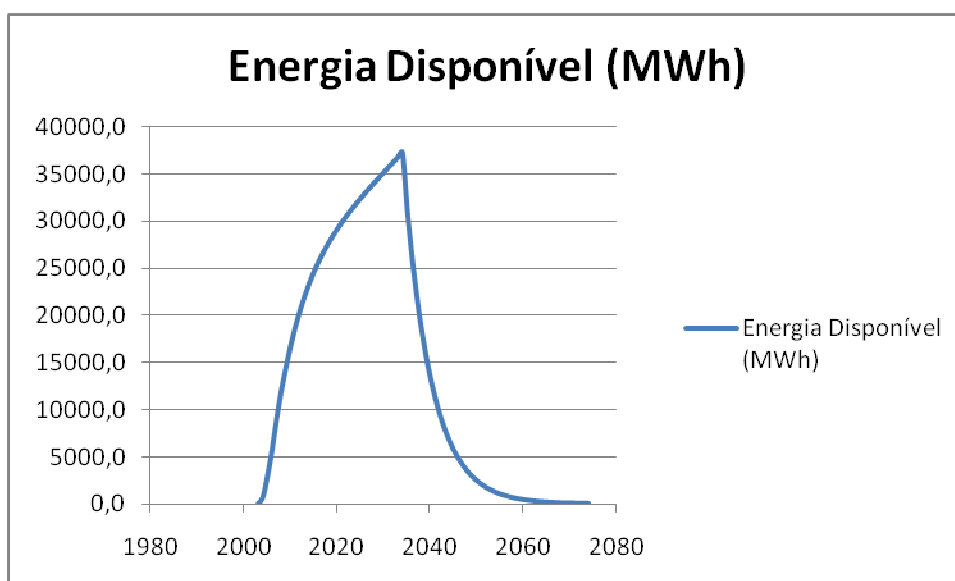


Figura 6.4 – Energia Disponível

Ano	Vazão de Metano (m³/h)	Energia Térmica (Gj/h)	Energia Elétrica Potencial (MW)	Energia Disponível (MWh)
2003	0	0	0,00	0
2004	25	1,0	0,08	682
2005	108	4,3	0,33	2919
2006	212	8,4	0,66	5752
2007	335	13,3	1,04	9092

2008	444	17,7	1,37	12039
2009	535	21,3	1,66	14506
2010	619	24,6	1,92	16793
2011	693	27,6	2,14	18787
2012	757	30,1	2,34	20530
2013	814	32,4	2,52	22065
2014	864	34,4	2,67	23424
2015	908	36,2	2,81	24634
2016	949	37,8	2,94	25721
2017	985	39,2	3,05	26705
2018	1018	40,5	3,15	27603
2019	1048	41,7	3,25	28430
2020	1077	42,9	3,33	29197
2021	1103	43,9	3,41	29912
2022	1128	44,9	3,49	30590
2023	1152	45,8	3,57	31234
2024	1175	46,8	3,64	31853
2025	1196	47,6	3,70	32441
2026	1218	48,5	3,77	33030
2027	1239	49,3	3,83	33587
2028	1259	50,1	3,90	34144
2029	1279	50,9	3,96	34670
2030	1298	51,7	4,02	35197
2031	1318	52,5	4,08	35754
2032	1338	53,2	4,14	36280
2033	1357	54,0	4,20	36806
2034	1377	54,8	4,26	37332
2035	1162	46,3	3,60	31513
2036	980	39,0	3,03	26578
2037	827	32,9	2,56	22424
2038	698	27,8	2,16	18917
2039	589	23,4	1,82	15961
2040	497	19,8	1,54	13466
2041	419	16,7	1,30	11361
2042	353	14,1	1,09	9584
2043	298	11,9	0,92	8086
2044	252	10,0	0,78	6823
2045	212	8,4	0,66	5755
2046	179	7,1	0,55	4857
2047	151	6,0	0,47	4095
2048	127	5,1	0,39	3455
2049	108	4,3	0,33	2916
2050	91	3,6	0,28	2460
2051	77	3,0	0,24	2075
2052	65	2,6	0,20	1751
2053	54	2,2	0,17	1477
2054	46	1,8	0,14	1246
2055	39	1,5	0,12	1051
2056	33	1,3	0,10	887
2057	28	1,1	0,09	748
2058	23	0,9	0,07	631
2059	20	0,8	0,06	533
2060	17	0,7	0,05	450
2061	14	0,6	0,04	379
2062	12	0,5	0,04	320
2063	10	0,4	0,03	270
2064	8	0,3	0,03	228

2065	7	0,3	0,02	192
2066	6	0,2	0,02	162
2067	5	0,2	0,02	137
2068	4	0,2	0,01	115
2069	4	0,1	0,01	97
2070	3	0,1	0,01	82
2071	3	0,1	0,01	69
2072	2	0,1	0,01	58
2073	2	0,1	0,01	49
2074	2	0,1	0,00	41

Tabela 6.2 – Potencial Energético

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs avaliar o potencial energético dos RSU depositados no aterro sanitário de Santana do Paraíso quantificando a geração de metano utilizando a metodologia da *Environmental Protection Agency – EPA* e calcular o potencial de geração de energia elétrica.

Conforme visto no estudo bibliográfico a sociedade tem deparado com os problemas causados pelos resíduos sólidos devido ao aumento da população humana, a concentração dessa população em centros urbanos e ao consumo de bens cada vez mais rápidos.

Este trabalho indicou que, através da gestão eficiente dos RSU é possível aproveitar o potencial energético do biogás e conseqüentemente diminuir o consumo de combustíveis fósseis, reduzindo assim o impacto ambiental e contribuindo para melhoria social econômica. A diversificação na matriz energética atenua a crise no setor elétrico, gera empregos, motiva o interesse da iniciativa privada em investir mediante concessão de exploração.

O estudo mostrou que o aterro de Santana do Paraíso possui um potencial de geração de energia elétrica de aproximadamente 1,92 MW em 2010, podendo chegar a 4,20 MW no ano de seu encerramento que foi previsto para 2033.

A metodologia do *EPA* utilizada para cálculo da geração do metano mostrou-se adequada, pois considera importantes parâmetros em seu cálculo, como as quantidades anuais de lixo recebido, o potencial de produção de metano de acordo com a composição do lixo, constante de decaimento, aproximando-se assim, das condições reais de trabalho.

Outros estudos podem ser realizados para confirmar os resultados aqui apresentados como medir *in situ* o fluxo de gases e realizar a cromatografia em campo, etc.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos Sólidos: classificação. NBR 10004. Rio de Janeiro. 1987.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. Landfill gas primer: an overview for environmental health professionals, 2001. Disponível em:<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill_2001_ch2mod.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2010.

ALVES, I.R.F.S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Recife. 2008. Universidade Federal de Pernambuco. 134p.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BRASIL. Fundação Nacional De Saúde. Manual de saneamento. 3ª Ed. Rev. Brasília. 2006. 408p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2001. 200p.

BORBA, S. M. P. Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2006. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 149p.

CARVALHO, A. L. Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade do efluente de lixo doméstico de diferentes idades. Tese de Doutorado. Viçosa. 2005. Universidade Federal de Viçosa. 115p.

CUNHA, M. E. G. Análise do setor de saneamento ambiental no aproveitamento energético de resíduos: O caso do município de Campinas – SP. Dissertação de Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos. Campinas. 2002. Universidade Estadual de Campinas. 159p.

ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário de Delta em Campinas – SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Campinas. 2003. Universidade Estadual de Campinas. 143p.

ENVIRONMENTAL AGENCY. Guidance of landfill gas flaring, 2002. Disponível em: <
http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/lfg_flaring_guidance_1101730.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2010.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. LFG Energy Project Development Handbook, 2010. Disponível em: < <http://www.epa.gov/landfill/publications-tools/handbook.html>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Situação do tratamento e/ou disposição final dos resíduos sólidos urbanos Minas Gerais 2009. Disponível em: <
http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoes/rsu_atualiz_2009_150dpi_03-03-10.jpg> Acesso em 20 abr. 2010. il.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008. 121p.

GeoProcess Consultoria e Serviços. Estudo de Impacto Ambiental do Aterro de Santana do Paraíso, coordenação geral: Helder Naves Torres. Belo Horizonte. 2000. 277p.

HENRIQUES, R. M. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. Dissertação de Mestrado em ciências em planejamento energético. Rio de Janeiro. 2004. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 204p.

ICLEI – Brasil – Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. São Paulo. 2009. 81p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE. Mapa da cidade de Santana do Paraíso. Disponível em: <
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=315895>> Acesso em: 01 fev. 2010. il.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado, coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, 2.a. edição, Brasília, IPT/CEMPRE (Instituto de Pesquisa Tecnológica/Compromisso Empresarial para Reciclagem), 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC: Guidelines for national greenhouse gas inventories, coordenação: Riitta Pipatti, Sonia Maria Manso Vieira. Hayama 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 851 pp.

MANN, J. H et al. Landfill Gas Primer: An overview for environmental Health Professionals, 2001. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill_2001_ch2mod.pdf>. Acesso em: 11 jan.2010.

MELLO, PEDRO CARVALHO DE (coord.). Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos ‘aterros sanitários’ nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil. Piracicaba. 2004. 270p.

OLIVEIRA, L. B. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e abatimento das emissões de gases do efeito estufa. Tese de Mestrado em ciências em planejamento energético. 2000. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 143p.

OLIVEIRA, L. B. Potencial de aproveitamento energético de lixo e biodiesel de insumos residuais no Brasil. Tese de Doutorado em ciências em planejamento energético. Rio de Janeiro. 2004. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 247p.

PEREIRA NETO, J. T; LELIS, M. P. N. Variação da composição gravimétrica e potencial de reintegração ambiental dos resíduos sólidos urbanos por região fisiográfica do estado de Minas Gerais. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, maio 1999. P. 1709 – 1716.

PEREIRA NETO, J. T. Gerenciamento do lixo urbano: aspectos técnicos e operacionais. Viçosa:UFV, 2007. 129p. il.

PHILIPPI JR., A (editor). Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole. 2005.

ANEXO I

QUESTIONÁRIO

Qual é o nome do Aterro Sanitário: Central de Resíduos Vale do Aço

Nome do município onde o aterro se localiza: Santana do Paraíso

Qual o tamanho do aterro (hectare): 16,9 hectares

Qual a capacidade estimada do aterro sanitário (m3): 3.354.655m³

Em qual ano o aterro começou a receber resíduos: 12/09/2003

Em qual ano o aterro irá parar de receber resíduos: 2033

Informar a quantidade de resíduo gerado por pessoa (kg): 1 Kg

Informar a quantidade de poços verticais: 04

Informar quantidade anual de Resíduos depositados no aterro:

Ano	Quantidade de Resíduos Domésticos e Públicos depositados (toneladas)
2003	13.301,63
2004	45.734,25
2005	64.203,66
2006	82.713,45
2007	85.247,158
2008	84.845,650
2009	88.921,300
2010	29.100,04
2011	
2012	
2013	