

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Fundação Estadual de Meio Ambiente
Engebio Engenharia S/S Ltda

Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás gerado em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais

RELATÓRIO 1: Identificação do potencial de geração de gás metano e energético e definição do melhor tipo de aproveitamento para os aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
Fundação Estadual de Meio Ambiente
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento
Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infra-estrutura

**Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e
ambiental da implantação de um sistema de
aproveitamento energético de biogás gerado em um
aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais**

RELATÓRIO 1:

**Identificação do potencial de geração de gás metano e energético
e definição do melhor tipo de aproveitamento para os aterros
sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia**

FEAM – DPED – GEDIF – RT – 004/2009

Belo Horizonte
2009

© 2009 Fundação Estadual do Meio Ambiente

Governo do Estado de Minas Gerais

Aécio Neves Cunha
Governador

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema

Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad

José Carlos Carvalho
Secretário

Fundação Estadual do Meio Ambiente – Feam

José Cláudio Junqueira Ribeiro
Presidente

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Paulo Eduardo Fernandes de Almeida
Diretor

Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infra-estrutura

Ana Lúcia Bahia Lopes
Gerente

Equipe Técnica: Feam

Ana Lúcia Bahia Lopes, Eng. Civil, Esp.
Abílio César Soares de Azevedo, Eng. Civil, Esp.
Tiago Abdom Melo, Eng. Civil
Wilson Pereira Barbosa Filho, Eng. Civil, Esp.

Elaboração: Engebio Engenharia S/S Ltda

www.engebio.net

Responsável Técnico
Mario Saffer, Eng. Químico, D. Sc.

Equipe Técnica: Engebio

Adalberto Kilpinski, Economista
José Carlos Carvalho da Cunha, Eng. Químico
Guilherme Augusto Araújo Duarte, Eng. Químico
Eduardo Bayon Britz, Tec. Meio Ambiente

Relatório 1: Identificação do potencial de geração de metano e energético e definição do melhor tipo de aproveitamento para os aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia / Engebio; Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009.
148 p. : il

Estudo “ Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás gerado em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais”

1. Gás metano. 2. Geração de energia. 3. Aterro sanitário
I. Engebio. II. Fundação Estadual do Meio Ambiente

CDU: 621.95:628.472

RESUMO

A Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM, com base na Lei Delegada nº. 156, de 25 de janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto 44819/2008 teve sua atribuição executiva no licenciamento ambiental transferida para unidades descentralizadas do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA passando a FEAM a atuar com ênfase nas estratégias de busca de melhoria de qualidade ambiental e sustentabilidade do Estado, no âmbito da Agenda Marrom, incluindo o tema energia e mudanças climáticas.

Entre diversas ações desenvolve-se no estado de Minas Gerais o Programa "Minas sem Lixões". Este programa foi implantado em 2003, pela própria FEAM, como uma das ações do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos".

O Projeto "Resíduo é Energia", em desenvolvimento através da FEAM, é realizado também no âmbito do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos" e pretende colaborar para a solução dos problemas gerados pelos resíduos sólidos em Minas Gerais.

O programa "Minas sem Lixões" tem como meta a ser atingida até o ano de 2011, a redução de 80% do número de lixões presentes no estado e a disposição adequada de 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados.

Dentro deste programa existem três estudos que visam atingir esta meta:

- captação de gás de aterro;
- biodigestão anaeróbia com obtenção de gás para geração de energia elétrica;
- implantação de Usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos por combustão para fins de geração de energia elétrica.

A FEAM contratou serviços técnicos especializados da Engebio Engenharia S/S Ltda para desenvolver a “Análise de pré-viabilidade técnica econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás gerado em um aterro sanitário existente no Estado de Minas Gerais”, tendo sido selecionado, após estudos preliminares, como municípios foco deste estudo, os municípios de Contagem, Betim e Uberlândia.

O estudo foi conduzido em três partes: o presente relatório apresenta a identificação do potencial de geração de metano e potencial energético para os aterros sanitários selecionados; na parte 2 será apresentada a análise da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético de biogás do aterro com as melhores condições para aproveitamento do biogás; e na parte 3 está apresentado o termo de referência para contratação de serviços especializados para o detalhamento do projeto para a instalação da melhor alternativa em função do estudo de pré-viabilidade realizado.

Este volume apresenta os resultados obtidos no Relatório 1: “Identificação do potencial de geração de gás metano e energético e definição do melhor tipo de aproveitamento para os aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia”, o qual apresenta a identificação do potencial de geração de metano e potencial energético para os três aterros sanitários e indica o aterro de Contagem como o aterro que apresenta as melhores condições para captação e aproveitamento energético do biogás.

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Proteção Permanente

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CER – Redução de Emissões Certificadas

CNG – Gás Natural Comprimido

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

COPASA – Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CTRS – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FCM – Fator de Correção do Metano (Varia em função do tipo de local onde os resíduos seriam dispostos, devendo ser considerado igual a 1,0 para o caso dos aterros)

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

GEE – Gases de Efeito Estufa

GN – Gás Natural

GWP – Potencial de Aquecimento Global

HFC – Hidrofluorcarbono

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

LFG – Gás de Aterro

LNG – Gás Natural Liquefeito

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

MJ – Mega Joules

ONU – Organização das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PFC – Perfluorcarbono

PIB – Produto interno bruto

psig – Libras por Polegada Quadrada Manométrica

RDC – Resíduos de Construção e Demolição

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RSS – Resíduo de Serviços de Saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEMEIA – Secretaria Municipal Adjunta do Meio Ambiente

SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais

SISEMA – Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SUPRAM – Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

URR – Unidade de Recuperação de Recicláveis

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

atm – Atmosferas

$BE_{CH_4, SWDS, y}$ - Emissões de metano evitadas durante o período de atividade do projeto (tCO₂e)

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

COD_f – Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe

COD_j – Fração de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j. Seu valor está relacionado à composição orgânica dos resíduos e depende do teor de papéis/papelões, folhas, têxteis, madeiras e restos de comida

EG_y – Potencial de geração de energia elétrica no ano y (MWh)

f – Fração de metano capturada e queimada nos aterros de RSU

F – Fração de metano no biogás de aterro

k_j – Taxa de decaimento para o resíduo tipo j

N₂O – Dióxido de nitrogênio

OX – Fator de oxidação

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

tCO₂e – Toneladas equivalentes de dióxido de carbono

W_{j,x} – Quantidade de resíduo orgânico tipo j, evitado de ser disposto em aterros no ano x (t)

x – Ano durante o período de crédito: x vai do primeiro ano do primeiro período de creditação (x=1) ao ano y

y – Ano para o qual são calculadas as emissões evitadas

φ – Fator de correção do modelo devido às incertezas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Esquema do processo de captação e geração de energia elétrica..... | 12 |
| Figura 2: Aterro de Puente Hills. | 18 |
| Figura 3: Região Metropolitana de Belo Horizonte e Colar Metropolitano - 2002..... | 21 |
| Figura 4: Precipitação no estado de Minas Gerais, em períodos chuvosos..... | 23 |
| Figura 5: Precipitação no estado de Minas Gerais, em períodos secos..... | 24 |
| Figura 6: Temperaturas médias do estado de Minas Gerais no período chuvoso. | 25 |
| Figura 7: Temperaturas médias no estado de Minas Gerais no período de seca. | 26 |
| Figura 8: Vista aérea da CTRS de Betim. | 30 |
| Figura 9: Portão de acesso da CTRS..... | 32 |
| Figura 10: Pesagem de coletor na balança rodoviária. | 32 |
| Figura 11: Disposição dos resíduos no aterro. | 33 |
| Figura 12: Cobertura dos resíduos com solo e material verde..... | 33 |
| Figura 13: Vista do aterro (Arquivo CTRS, 2008)..... | 34 |
| Figura 14: Cobertura dos resíduos com argila e resíduos de poda e capina. | 38 |
| Figura 15: Caixa de monitoramento de percolado..... | 39 |
| Figura 16: Estação de tratamento de percolado..... | 39 |
| Figura 17: Drenagem pluvial no entorno do aterro. | 40 |
| Figura 18: Drenagem pluvial próximo á área de tratamento de percolados. | 40 |
| Figura 19: Drenos de biogás. | 42 |
| Figura 20: Resíduos orgânicos compostáveis dispostos no pátio. | 43 |
| Figura 21: Leiras no pátio de compostagem. | 43 |
| Figura 22: Localização do município de Contagem na região metropolitana de Belo Horizonte. | 45 |
| Figura 23: Aterro de Contagem: principais vias de acesso e entorno. | 48 |
| Figura 24: Vista da zona de ocupação humana situada ao sul do aterro..... | 49 |
| Figura 25: Vista da zona comercial situada no entorno do aterro. | 50 |
| Figura 26: Vista do maciço de resíduos no aterro de Contagem..... | 52 |
| Figura 27: Vista do sistema de impermeabilização de base do aterro. | 55 |
| Figura 28: Dreno de biogás..... | 58 |

| | |
|---|-----|
| Figura 29: Drenos de líquidos percolados executados sobre a camada de argila da base..... | 59 |
| Figura 30: Localização do município de Uberlândia em relação à capital de Minas Gerais..... | 60 |
| Figura 31: Precipitação no Estado de Minas Gerais, em período chuvoso normal. ... | 62 |
| Figura 32: Precipitação no estado de Minas Gerais, em período de seca normal. ... | 63 |
| Figura 33: Temperatura média no estado de Minas Gerais, em período chuvoso. ... | 64 |
| Figura 34: Temperatura média no estado de Minas Gerais, em período de seca normal. | 65 |
| Figura 35: Localização do aterro de Uberlândia no Distrito Industrial do município. ... | 68 |
| Figura 36: Imagem aérea (Google Earth) da área do aterro. | 70 |
| Figura 37: Vista do entorno do aterro..... | 71 |
| Figura 38: Disposição dos resíduos no aterro. | 73 |
| Figura 39: Execução da camada de cobertura intermediária de argila e resíduos de construção civil..... | 78 |
| Figura 40: Caneletas para drenagem pluvial..... | 78 |
| Figura 41: Drenos de gás com queimador, dispostos no aterro..... | 79 |
| Figura 42: Tratamento de percolado. | 80 |
| Figura 43: Reator anaeróbio para tratamento do percolado..... | 80 |
| Figura 44: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH ₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Betim. | 94 |
| Figura 45: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH ₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Contagem..... | 99 |
| Figura 46: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH ₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Uberlândia..... | 103 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Gases de efeito estufa (GEE)..... | 6 |
| Tabela 2: Setores e categorias de fontes..... | 6 |
| Tabela 3: Custos de produção de CNG..... | 17 |
| Tabela 4: Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Betim – MG (2009). | 36 |
| Tabela 5: Quantidade de resíduos recebidos no aterro, de 1996 a 2008..... | 37 |
| Tabela 6: Monitoramento - Vazão média de líquidos percolados..... | 40 |
| Tabela 7: Composição dos gases dos drenos por período. | 42 |
| Tabela 8: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Contagem/MG. | 53 |
| Tabela 9: Composição dos resíduos | 54 |
| Tabela 10: Quantidade e tipos de resíduos recebidos pelo aterro em toneladas..... | 56 |
| Tabela 11: Quantidade de resíduos das empresas dispostos no aterro por período. | 76 |
| Tabela 12: Quantidade de resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro por período. | 77 |
| Tabela 13: Composição dos RSU no Aterro Uberlândia | 75 |
| Tabela 14: Parâmetros fixos para cálculo das emissões de linha de base. | 87 |
| Tabela 15: Projeção da geração de resíduos no município de Betim até o fechamento do aterro. | 91 |
| Tabela 16: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Betim. | 91 |
| Tabela 17: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - CODj (Informações em base úmida) – Betim. | 91 |
| Tabela 18: Dados climáticos do município de Betim. | 92 |
| Tabela 19: Fator de decaimento (k) - Betim. | 92 |
| Tabela 20: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Betim. | 92 |
| Tabela 21: Resultados obtidos para o aterro municipal de Betim. | 93 |
| Tabela 22: Projeção da geração de resíduos no município de Contagem até o fechamento do aterro. | 95 |
| Tabela 23: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Contagem..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 24: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - CODj (Informações em base úmida) – Contagem..... | 96 |
| Tabela 25: Dados climáticos Do município de Contagem. | 96 |
| Tabela 26: Fator de decaimento (k) - Contagem. | 96 |
| Tabela 27: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Contagem. | 97 |
| Tabela 28: Resultados obtidos para o aterro municipal de Contagem. | 97 |
| Tabela 29: Projeção da geração de resíduos no município de Uberlândia até o fechamento do aterro. | 100 |
| Tabela 30: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Uberlândia. | 100 |
| Tabela 31: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - CODj (Informações em base úmida) – Uberlândia..... | 100 |
| Tabela 32: Dados climáticos do município de Uberlândia..... | 101 |
| Tabela 33: Fator de decaimento (k) - Uberlândia. | 101 |
| Tabela 34: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Uberlândia. | 101 |
| Tabela 35: Resultados obtidos para o aterro municipal de Uberlândia. | 102 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. OBJETIVO..... | 1 |
| 2. INTRODUÇÃO..... | 2 |
| 2.1. Princípio do mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL..... | 4 |
| 2.2. Gás de aterro e o efeito estufa | 7 |
| 2.3. Benefícios econômicos e ambientais da coleta e queima do gás gerado em aterros | 9 |
| 2.4. O projeto de aproveitamento energético do biogás de aterros de RSU como atividade de projeto do MDL..... | 10 |
| 3. USOS DO BIOGÁS | 11 |
| 3.1. Geração de energia elétrica..... | 12 |
| 3.1.1. Motores de combustão interna | 12 |
| 3.1.2. Turbinas a gás..... | 13 |
| 3.2. Microturbinas | 14 |
| 3.3. Uso direto – geração de energia térmica..... | 15 |
| 3.4. Uso veicular | 16 |
| 3.5. Queima em tocha..... | 19 |
| 4. DADOS DO ATERRO DE BETIM | 20 |
| 4.1. Dados do município..... | 20 |
| 4.2. Caracterização ambiental..... | 22 |
| 4.2.1. Clima | 22 |
| 4.2.2. Geologia | 26 |
| 4.2.3. Ecossistemas..... | 27 |
| 4.3. Diagnóstico local | 28 |
| 4.4. Localização do aterro | 28 |
| 4.4.1. Coordenadas | 28 |
| 4.4.2. Administração do aterro..... | 29 |
| 4.4.3. Situação legal | 29 |
| 4.4.4. Área do aterro..... | 29 |
| 4.4.5. Características do entorno..... | 30 |
| 4.4.6. População atendida | 31 |
| 4.4.7. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos | 31 |
| 4.4.8. Histórico de operação do aterro e vida útil..... | 34 |
| 4.4.9. Caracterização e quantificação dos resíduos..... | 35 |
| 4.4.10. Sistemas de impermeabilização e cobertura | 36 |
| 4.4.11. Sistemas de drenagem..... | 38 |
| 4.4.12. Compostagem | 42 |
| 5. DADOS DO ATERRO DE CONTAGEM..... | 44 |
| 5.1. Dados do município..... | 44 |
| 5.2. Caracterização ambiental..... | 44 |
| 5.2.1. Clima | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.2. Geologia | 45 |
| 5.2.3. Biota | 46 |
| 5.3. Diagnóstico local | 46 |
| 5.3.1. Localização do aterro | 46 |
| 5.3.2. Coordenadas geográficas e altitude | 47 |
| 5.3.3. Administração do aterro..... | 47 |
| 5.3.4. Situação legal | 47 |
| 5.3.5. Área | 48 |
| 5.3.6. Características do entorno..... | 49 |
| 5.3.7. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos | 50 |
| 5.3.8. Histórico de operação do aterro..... | 51 |
| 5.3.9. Caracterização e quantificação dos resíduos | 52 |
| 5.3.10. Sistemas de impermeabilização e cobertura | 54 |
| 5.3.11. Sistemas de drenagem..... | 57 |
| 6. DADOS DO ATERRO DE UBERLÂNDIA | 60 |
| 6.1. Dados do município..... | 60 |
| 6.2. Caracterização ambiental..... | 61 |
| 6.2.1. Clima | 61 |
| 6.2.2. Geologia | 65 |
| 6.2.3. Biota | 66 |
| 6.3. Diagnóstico local | 67 |
| 6.3.1. Localização do aterro | 67 |
| 6.3.2. Coordenadas geográficas e altitude | 68 |
| 6.3.3. Administração do aterro..... | 69 |
| 6.3.4. Situação legal | 69 |
| 6.3.5. Área | 69 |
| 6.3.6. Características do entorno..... | 70 |
| 6.3.7. População atendida | 72 |
| 6.3.8. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos | 72 |
| 6.3.9. Histórico de operação do aterro..... | 74 |
| 6.3.10. Caracterização e quantificação dos resíduos | 74 |
| 6.3.11. Sistemas de impermeabilização e cobertura | 75 |
| 6.3.12. Sistemas de drenagem..... | 78 |
| 7. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS DE ATERRO | 80 |
| 8. IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE METANO E POTENCIAL ENERGÉTICO PARA OS ATERROS SANITÁRIOS EM ANÁLISE .. | 81 |
| 8.1. Projeção da geração de resíduos..... | 82 |
| 8.2. Potencial de geração de metano | 85 |
| 8.2.1. Cálculo das emissões do aterro..... | 85 |
| 8.3. Potencial de geração de energia | 89 |
| 8.3.1. Potência disponível..... | 89 |
| 8.3.2. Potencial de geração de energia elétrica..... | 90 |
| 8.4. Aterro sanitário de Betim | 90 |

| | |
|---|------------|
| 8.4.1. <i>Projeção de geração de RSU em Betim</i> | 90 |
| 8.4.2. <i>Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Betim</i> | 91 |
| 8.5. Aterro sanitário de Contagem | 95 |
| 8.5.1. <i>Projeção de geração de RSU em Contagem</i> | 95 |
| 8.5.2. <i>Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Contagem</i> | 96 |
| 8.6. Aterro sanitário de Uberlândia | 99 |
| 8.6.1. <i>Projeção de geração de RSU em Uberlândia</i> | 99 |
| 8.6.2. <i>Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Uberlândia</i> | 100 |
| 9. SELEÇÃO DO ATERRO QUE APRESENTA AS MELHORES CONDIÇÕES E POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DO BIOGÁS | 104 |
| ANEXOS | 108 |
| ANEXO A – Relatório de visita – Betim | 109 |
| ANEXO B – Planilha Check List – Betim | 113 |
| ANEXO C – Relatório de Visita – Contagem | 117 |
| ANEXO D – Planilha Check List – Contagem | 121 |
| ANEXO E – Relatório de Visita – Uberlândia | 125 |
| ANEXO F – Planilha Check List – Uberlândia | 129 |
| REFERÊNCIAS | 133 |

1. OBJETIVO

A Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM, com base na Lei Delegada nº. 156, de 25 de janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto 44819/2008 teve sua atribuição executiva no licenciamento ambiental transferida para unidades descentralizadas do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA, ora determinado como Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SUPRAMs conforme art. 44 do Decreto nº 44.770, de 8 de Abril de 2008, passando a FEAM a atuar com ênfase nas estratégias de busca de melhoria de qualidade ambiental e sustentabilidade do Estado, no âmbito da Agenda Marrom, incluindo o tema energia e mudanças climáticas. Nesse contexto a FEAM busca contratar serviços técnicos especializados para apoiar o desenvolvimento de novos temas com foco no apoio e desenvolvimento de infra-estrutura visando atender as diretrizes da política ambiental do Estado.

Uma vez que o Estado de Minas Gerais ainda não dispõe de sistemas implantados para aproveitamento do potencial de geração de energia dos aterros sanitários já instalados em seus grandes municípios e considerando os aterros sanitários existentes e aqueles que estão sendo implantados em virtude do Programa Minas sem Lixões do Governo de Minas Gerais, torna-se necessária a análise da viabilidade de seu aproveitamento para produção de energia elétrica, térmica, uso veicular ou simplesmente para queima e destruição do metano.

Em levantamento preliminar realizado pela FEAM, foram identificados sete aterros sanitários com operação licenciada que apresentam maior potencial de viabilidade de aproveitamento energético - Belo Horizonte, Contagem, Betim, Uberlândia, Juiz de Fora, Uberaba e Santana do Paraíso.

Considerando que os aterros sanitários utilizados pelos municípios de Belo Horizonte, Juiz de Fora e Ipatinga e Uberlândia são operados pela iniciativa privada, e ainda, que o aterro de Uberaba encontra-se em início de operação, os demais

aterros, segundo o levantamento preliminar realizado pela FEAM, possuem potenciais a serem explorados.

Os objetivos do presente estudo são quantificar o potencial total de geração de biogás nos aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia visando o seu aproveitamento, indicar o aterro sanitário que apresenta as melhores condições e potencial para aproveitamento energético e implantação de uma unidade de geração de energia elétrica e, posteriormente, analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético do biogás e por fim avaliar a possibilidade de obtenção de créditos de carbono.

O estudo será conduzido em três partes: o presente relatório apresenta a identificação do potencial de geração de metano e potencial energético para os aterros sanitários selecionados; na parte 2 será realizada a análise da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético de biogás do aterro com as melhores condições para aproveitamento do biogás; e na parte 3 será elaborado o termo de referência para contratação de serviços especializados para o detalhamento do projeto para a instalação da melhor alternativa em função do estudo de pré-viabilidade realizado.

2. INTRODUÇÃO

A Assembléia Geral das Nações Unidas, em 1990, inicia formalmente negociações com vistas a estabelecer uma Convenção Quadro sobre Mudança de Clima, constituindo o chamado Comitê Interministerial de Negociação, que adotou a Convenção por consenso em 1992 na sede das Nações Unidas em Nova Iorque.

A Convenção Quadro sobre Mudança de Clima foi aberta para assinaturas na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a “Cúpula da Terra”, no Rio de Janeiro em 1992, entrando em vigor em 1994.

Fica estabelecida a Conferência das Partes como seu órgão supremo, sendo uma Parte cada país signatário da Convenção.

Na terceira Conferência das Partes (COP3), foi adotado o Protocolo de Kyoto, que fixa o compromisso dos países desenvolvidos (Partes listadas no Anexo I do Protocolo) em reduzir suas emissões em 5,2%, na média, sobre os níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. No Protocolo fica estabelecido que cada Parte deve reduzir suas emissões, podendo também comprovar a redução por meio de reduções atingidas por outras Partes por meio de mecanismos adicionais, que incluem a implementação conjunta, o comércio de reduções e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL é o único destes mecanismos que permite a participação de países em desenvolvimento não constantes do Anexo I como o Brasil.

Na sétima Conferência das Partes (COP7), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi adotado. O propósito do MDL é assistir aos países que não fazem parte do Anexo I, para que atinjam o desenvolvimento sustentável contribuindo para o objetivo final da Convenção e para auxiliar os países do Anexo I a atingirem suas metas de redução. Para entrada em vigor, o Protocolo precisou ser ratificado por países que representam pelo menos 55% das emissões mundiais de gases causadores de aquecimento global.

O Protocolo de Kyoto entrou em vigência em fevereiro de 2005 contando com a adesão de 141 membros nesta data e com abstenções dos Estados Unidos e da Austrália.

O Protocolo de Kyoto expira em 2012, e já há o compromisso da ONU e de alguns governos para o delineamento de um novo acordo, ou o que é mais provável, de uma emenda no Protocolo de Kyoto que estabelecerá novas metas a serem cumpridas após 2012.

2.1. Princípio do mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL

O MDL é operado pelo Comitê Executivo, as Autoridades Nacionais Designadas e por Entidades Operacionais Designadas.

O Conselho executivo é o órgão que supervisiona o funcionamento do MDL, agregando as tarefas de credenciar as Entidades Operacionais Designadas, registrar as atividades de projeto do MDL, emitir reduções certificadas de emissões (CER), desenvolver e operar o registro do MDL bem como estabelecer e melhorar o aperfeiçoamento das metodologias de linha de base, de monitoramento e de fugas.

A autoridade Nacional Designada é o organismo indicado pelas Partes como autoridade nacional do MDL, tendo como principal função indicar se os projetos submetidos ao MDL contribuem com a sustentabilidade local.

As Entidades Operacionais Designadas são instituições nacionais ou internacionais que recebem credenciamento do Conselho Executivo e cujo rol de ação inclui validar atividades de projeto, verificar e certificar as reduções de emissões monitoradas.

O MDL se fundamenta na criação de organização e práticas necessárias para a operação de um fundo monetário, destinado a compensar a implantação de atividades de projeto que reduzam emissões de gases de efeito estufa que ocorreriam na sua ausência. Este fundo seria formado pelas Partes listadas no Anexo I do Protocolo de Kyoto e destinado a projetos propostos pelas outras Partes não listadas.

Chama-se Documentação de Concepção de Projeto ao conjunto de documentos que deverão ser elaborados, com vistas à validação da atividade de projeto. Uma vez que o projeto contribua para o uso de tecnologias e combustíveis mais limpos, estariam contribuindo para a redução do patamar final de emissões na curva de industrialização da Parte proponente. A indicação de contribuição para a sustentabilidade e aprovação pelo país ou parte onde o projeto será implantado é uma das premissas para a validação do projeto MDL.

Deve também ser possível justificar de maneira lógica que a iniciativa de sua implementação não é o curso de ação natural do ponto de vista de interesse econômico, legal, de costumes ou qualquer outro fato que lhe torne viável de forma usual. Isto evidencia o caráter de voluntarismo quanto à proposição do projeto, em relação ao cenário futuro mais provável.

Este cenário futuro mais provável é chamado cenário de linha de base, sendo o modelo teórico sobre o qual se deverá realizar a estimativa das emissões de gases de efeito estufa que ocorrerão na hipótese de ausência do projeto. Para criar uma linha de base para um projeto, é necessário adotar uma metodologia de linha de base aprovada ou propor uma nova metodologia.

O que se costuma chamar de “Créditos de Carbono”, para atividades de projeto do MDL, é a diferença entre as emissões do cenário de linha de base e as emissões monitoradas da atividade de projeto, sendo medida em toneladas equivalentes de CO₂. Utiliza-se a palavra “equivalente”, pois alguns gases possuem maior potencial de aquecimento global do que o dióxido de carbono, sendo a tonelada de CO₂ a referência para quantificação dessas reduções.

O Anexo I do Protocolo de Kyoto especifica os gases causadores do efeito estufa e a relação de setores/categorias de fontes emissoras a serem tratados em seu âmbito.

As linhas setoriais adotadas pelo painel de certificação do MDL com base no Anexo I do protocolo de Kyoto, para apresentação de projetos são:

- produção de energia (de fontes renováveis ou não);
 - distribuição de energia;
 - consumo de energia;
 - indústrias de produção;
 - indústrias químicas;
 - construção;
 - transportes;
-

- produtos minerais;
- produção de metais;
- emissões fugitivas de combustíveis (sólidos, líquidos e gasosos);
- emissões fugitivas da produção e consumo de halocarbono e hexafluoreto de enxofre;
- uso de solventes;
- manejo e disposição final de resíduos;
- florestamento e reflorestamento;
- agricultura.

Tabela 1: Gases de efeito estufa (GEE).

| Gás | Fórmula Química |
|-------------------------|------------------|
| Dióxido de carbono | CO ₂ |
| Metano | CH ₄ |
| Óxido nitroso | N ₂ O |
| Hidrofluorcarbonos | HFCs |
| Perfluorcarbonos | PFCs |
| Hexafluoreto de enxofre | SF ₆ |

Fonte: Engebio (2008)

Tabela 2: Setores e categorias de fontes.

| Setor | Categoria |
|---|---|
| Energia | Uso de solventes e outros produtos na Agricultura |
| Queima de combustível | Fermentação entérica |
| Setor energético | Tratamento de dejetos |
| Indústrias de transformação e de construção | Cultivo de arroz |
| Transporte | Solos agrícolas |
| Outros setores | Queimadas prescritas de savana |
| Outros | Queima de resíduos agrícolas |
| Emissões fugitivas de combustíveis | Outros |
| Combustíveis sólidos | |
| Petróleo e gás natural | |
| Outros | |
| Processos Industriais | Resíduos |
| Produtos minerais | Disposição de resíduos sólidos |

| Setor | Categoria |
|--|-------------------------|
| Indústria química | Tratamento de esgoto |
| Produção de metais | Incineração de resíduos |
| Outras produções | Outros |
| Produção de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre | |
| Consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre | |
| Outros | |

Fonte: Engebio (2008)

2.2. Gás de aterro e o efeito estufa

O gás de aterro (LFG), ou biogás, resulta da decomposição anaeróbica da fração orgânica biodegradável dos resíduos dispostos em aterro. Seus principais componentes são o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (WANG et. al., 2007)

Segundo Themelis et. al. (2007), após a disposição dos RSU no aterro, os componentes orgânicos presentes iniciam a sofrer reações bioquímicas. Na presença de ar atmosférico, na região próxima à superfície do aterro, os compostos orgânicos são oxidados aerobicamente, sendo a reação similar à combustão, pois os produtos são dióxido de carbono e vapor d'água. Contudo, a principal reação bioquímica em aterros é a digestão anaeróbica que ocorre em três estágios. No primeiro, bactérias fermentativas hidrolisam o material orgânico complexo em moléculas solúveis. No segundo, essas moléculas solúveis são convertidas por bactérias formadoras de ácidos em ácidos orgânicos simples, dióxido de carbono e hidrogênio. No terceiro estágio, metano é formado por bactérias metanogênicas, pela quebra dos ácidos em metano e dióxido de carbono, ou pela redução do CO_2 com hidrogênio. O produto contém em torno de 54% de CH_4 e 46% de CO_2 . O biogás contém ainda vapor d'água, em pequena concentração, amônia, gás sulfídrico (H_2S) e outros constituintes.

Tanto o CO_2 quanto o CH_4 são gases do efeito estufa (GEE). De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001), o

aumento na concentração de GEE na atmosfera tende a provocar o aquecimento da superfície da terra e a temperatura média global na superfície da terra aumentou em 0,6 °C ao longo do século 20.

Estima-se que, a nível global, pouco mais da metade das emissões atuais de CH₄ sejam antropogênicas e que 5-20% das fontes antropogênicas de emissão são emissões a partir de aterros de resíduos (IPCC, 1995). Dessa forma, a redução das emissões de GEE a partir de aterros de resíduos contribui para a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera, o que evitaria maiores interferências antropogênicas no clima.

No sentido de mitigar os possíveis impactos sobre o aquecimento global, a coleta e queima do gás de aterro, pode obviamente reduzir a emissão de GEE, uma vez que o potencial de aquecimento global (GWP) do CO₂ (GWP=1) é muito menor que o GWP do CH₄ (GWP=21) (TSAI, 2007).

Sendo o CH₄ um importante gás combustível com alto poder calorífico e o principal componente do gás natural (GN), com um poder calorífico variando entre 15 e 20 MJ/m³, com o percentual de CH₄ na faixa de 45-60%, o gás de aterro pode também ser visto como uma fonte de energia. Os principais métodos de utilização do biogás gerado em aterros incluem aquecimento direto, geração de eletricidade, purificação para injeção em gasodutos e utilização como combustível veicular, dependendo da concentração de CH₄ no produto originalmente gerado (TSAI, 2007).

A quantidade de gás gerada em um aterro depende fortemente das condições do clima, geografia e relevo do sítio, composição dos resíduos e outros fatores locais.

Para o objetivo de uma caracterização de local inicial, a produção de LFG pode ser simplificada como uma função do tamanho e idade do volume de resíduo, tipo de resíduo e conteúdo de umidade. O volume dos GEE liberados é diretamente proporcional ao potencial de geração de LFG.

2.3. Benefícios econômicos e ambientais da coleta e queima do gás gerado em aterros

Os benefícios Ambientais da coleta e utilização do gás de aterro, segundo USEPA (2009) são a redução direta e indireta da emissão de GEE e a redução direta e indireta de outros gases poluidores do ar, reduzindo o impacto humano sobre as mudanças climáticas globais. São citados ainda, como benefícios, o aumento da qualidade ambiental nas comunidades vizinhas devido à redução da emissão de odores e a redução do risco de explosões.

A redução direta da emissão de GEE se dá pela conversão do metano em água e dióxido de carbono quando o gás é queimado para produção de eletricidade ou calor. A redução indireta ocorre devido ao deslocamento, pelo uso de energia elétrica a partir de LFG, da energia elétrica produzida por recursos não renováveis (como carvão, óleo ou gás natural) que seriam necessários para produzir a mesma quantidade de energia. Isso evita a emissão de gases a partir da combustão de combustíveis fósseis em uma planta de energia.

A redução direta de outros gases poluentes ocorre pela destruição dos compostos presentes em baixa concentração no biogás, durante a sua combustão, reduzindo possíveis riscos à saúde humana provocados por esses compostos. Para projetos de geração de energia elétrica, evitar a combustão de combustíveis fósseis em uma planta de utilidades significa que menos poluentes, como o dióxido de enxofre (o qual é o principal contribuinte para chuva ácida), material particulado (preocupação para saúde respiratória), óxidos de nitrogênio (os quais podem contribuir para formação local de ozônio e smog) e traços de poluentes, perigosos são liberados para atmosfera.

Ainda que os equipamentos que incineram LFG para geração de eletricidade também geram emissões atmosféricas, incluindo óxidos de nitrogênio e que esses níveis de emissões dependem do tipo de equipamento usado, a melhoria ambiental global atingida por projetos de geração de energia a partir de LFG são significantes devido às reduções diretas de metano, reduções indiretas de CO₂ e redução direta e

indireta de outros poluentes. Há também um benefício energético em evitar o uso de recursos não renováveis limitados como carvão ou óleo.

A coleta e queima de LFG evita a emissão dos odores causados pela presença de compostos sulfurosos no biogás. Ainda, a coleta de biogás aumenta a segurança pela redução da migração de gás para estruturas onde ele possa ficar confinado e causar explosões.

Em geral, quanto mais biogás for produzido, mais alta a probabilidade de que questões de saúde, segurança e incômodo odorífero sejam levantadas (Banco Mundial, 2003).

Em relação aos benefícios econômicos, os municípios, concessionárias e/ou investidores privados do aterro poderão obter receita pela venda direta do LFG a um consumidor final (ou injeção em uma linha de gás) e pelo fornecimento de energia elétrica para a rede de energia local. Para os usuários finais, o uso de LFG pode significar economia efetiva, pois substitui o uso de combustíveis fósseis mais caros e com preços sujeitos à volatilidade do mercado (USEPA, 2009).

Os pagamentos de Créditos de Emissão (Créditos carbono) é um mecanismo introduzido pelo Protocolo de Kyoto que visa viabilizar ações na busca da diminuição dos gases de efeito estufa. No caso de biogás de aterro o aproveitamento do gás pode viabilizar a implantação de sistemas de captação e aproveitamento do gás, de maneira a contribuir com o meio ambiente, podendo também gerar uma renda adicional aos municípios e/ou operadores privados.

2.4. O projeto de aproveitamento energético do biogás de aterros de RSU como atividade de projeto do MDL

Segundo USEPA (1996), os aterros sanitários considerados os melhores candidatos aos projetos de recuperação de energia são os que apresentam as seguintes características:

- possuem no mínimo 1 milhão de toneladas de resíduos depositados;
- permanecem recebendo resíduos ou estão fechados há poucos anos;
- apresentam profundidade de 12 metros ou mais.

Aterros que atendem estes critérios provavelmente geram quantidade de biogás suficiente para suportar um projeto de aproveitamento energético.

Ainda conforme USEPA (1996), uma regra geral da indústria estipula como "economicamente viável" uma taxa de geração de gás de aproximadamente 30.000 m³/dia. No entanto, este valor, como os critérios de seleção, deve ser considerado apenas como uma diretriz.

A metodologia de monitoramento aprovada aplicada a projetos de gás de aterro é a ACM0001, chamada "*Consolidated baseline and monitoring methodology for landfill gas project activities*". Esta é uma atividade de projeto responsabilizada em capturar e queimar metano das operações do aterro, além de usar o metano como combustível para a usina de geração de eletricidade, evitando usinas de combustíveis fósseis na margem do sistema de eletricidade brasileiro, reduzindo as emissões de GEE.

3. USOS DO BIOGÁS

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro, no caso do biogás a energia química contida em suas moléculas.

3.1. Geração de energia elétrica

Convencionalmente, eletricidade pode ser produzida pela combustão de LFG em um motor de combustão interna, uma turbina a gás ou em uma microturbina.

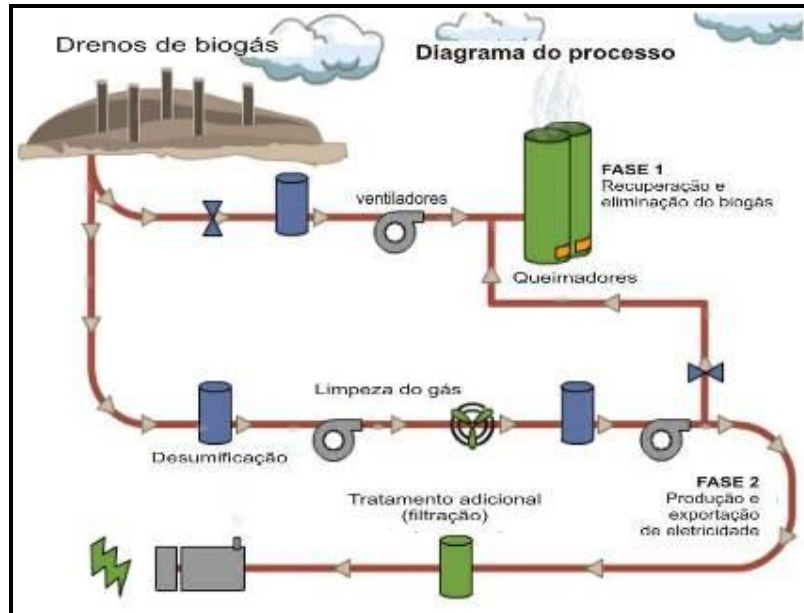


Figura 1: Esquema do processo de captura e geração de energia elétrica.

3.1.1. Motores de combustão interna

O motor de combustão interna é a tecnologia de conversão mais comum em aplicações de LFG. Mais de 70% dos projetos de geração de eletricidade a partir de LFG empregam esse tipo de tecnologia. A razão para esse uso tão difundido é seu relativo baixo custo, alta eficiência, e dimensões compatíveis com as gerações de gás em muitos aterros. Motores de combustão interna têm sido geralmente empregados em sítios onde a quantidade de gás é capaz de produzir entre 800 kW e 3 MW, ou onde o fluxo de gás permanente está entre 11.300 e 45.300 de metros cúbicos por dia (11.326,8 e 45.307,0 m³/dia) com 50% de CH₄ (USEPA,2009).

Múltiplos motores podem ser combinados para projetos com capacidades maiores que 3 MW.

Motores de combustão interna são relativamente mais eficientes na conversão de LFG em eletricidade, atingindo eficiências na faixa de 25 a 35%. Eficiências superiores são atingidas combinando aplicações de calor e potência onde o calor é recuperado a partir do sistema de refrigeração do motor para aquecimento de água, ou a partir da exaustão do motor para geração de vapor de baixa pressão.

3.1.2. Turbinas a gás

Turbinas a gás são tipicamente usadas em grandes projetos de geração de energia a partir de LFG, onde o volume de LFG é suficiente para gerar no mínimo 3 MW, e tipicamente mais que 5 MW (USEPA, 2009).

Esta é uma tecnologia compatível em projetos de geração de energia de larga escala, pois, diferentemente da maioria dos motores de combustão, as turbinas a gás têm significativa economia de escala. O custo por kW de capacidade de geração, assim como a eficiência, diminui quando aumenta o tamanho da turbina.

Turbinas a gás de ciclo simples aplicadas para projetos de energia a partir de LFG tipicamente atingem eficiências de 20% a 28% operando com plena carga, contudo, essas eficiências caem substancialmente quando a unidade opera com carga parcial. Configurações de ciclo combinado, as quais recuperam o calor perdido na exaustão da turbina para geração adicional de eletricidade, podem fazer com que a eficiência aumente até aproximadamente 40%, sendo essa configuração também menos eficiente sob carga parcial.

A principal desvantagem das turbinas a gás é que elas necessitam elevada compressão do gás (165 psig ou mais - aproximadamente 11 atm) 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.

Vantagens das turbinas a gás são: a maior resistência a corrosão que os motores de combustão interna e menores taxas de emissão de óxidos de nitrogênio. Ainda, turbinas a gás são relativamente compactas e possuem mais baixo custo de manutenção e operação que motores de combustão interna (USEPA, 2009).

3.2. Microturbinas

As microturbinas têm sido empregadas e, aplicações com biogás desde 2001. Em geral, projetos com microturbinas possuem um maior custo por kW de capacidade instalada que projetos com motores a combustão interna.

A seguir são citadas algumas das razões pelas quais a tecnologia de microturbinas tem sido preferida em relação aos motores de combustão interna (USEPA, 2009):

- disponibilidade mínima de 8,5 metros cúbicos por minuto requerido para motores de combustão interna típicos;
 - baixo percentual de CH₄ no LFG, como microturbinas podem funcionar com percentuais de até 35% de CH₄;
 - é desejada baixa emissão de óxidos de nitrogênio;
 - habilidade de operar em módulos, adicionando ou removendo microturbinas a medida que a disponibilidade de LFG varia;
 - interconexão relativamente baixa, devido à capacidade de geração mais baixa.
-

Em aplicações atuais de microturbinas, o LFG não suficientemente tratado resulta em falhas no sistema. Geralmente, tratamentos para remoção de umidade, siloxanos e outros contaminantes são necessários para microturbinas.

Tipicamente, microturbinas são comercializadas com capacidades de 30, 70 e 250 kW. Os projetos devem adotar a microturbina de maior capacidade que possam ser suportadas pela potência e LFG disponíveis (USEPA, 2009).

Os benefícios listados a seguir podem ser obtidos empregando-se microturbinas com maiores capacidades (USEPA, 2009):

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

3.3. Uso direto – geração de energia térmica

Segundo USEPA (2009), uso direto do LFG é freqüentemente uma opção de baixo custo quando um consumidor que poderia utilizar LFG em seus equipamentos de combustão e aquecimento está localizado num raio de até 8,05 km (5 milhas) do aterro. Contudo, distâncias de 16,09 km (10 milhas) podem também ser viáveis economicamente em algumas situações. Ainda segundo USEPA (2009), nos Estados Unidos, algumas empresas estão optando em instalar suas plantas

próximas a aterros, com a intenção de utilizar o LFG como combustível renovável, que possui um custo inferior quando comparado ao gás natural.

Já para o Banco Mundial (2003), a construção de um gasoduto com esse objetivo especial é, normalmente, limitada a 3 km.

Projetos de uso direto de LFG incluem, segundo USEPA (2009):

- caldeiras, as quais são o tipo mais comum de uso direto e podem ser facilmente convertidos para utilização de LFG sozinho ou em combinação com outro combustível fóssil.
- aplicações térmicas diretas, as quais incluem fornos (como por exemplo, de cimento, cerâmicos e tijolos), secadores de lodo, aquecedores, estufas, aquecedores em processos e fornos de fundição.
- evaporação de lixiviado, na qual um equipamento de combustão que utiliza LFG é usado para evaporar os líquidos lixiviados no aterro, reduzindo os custos de tratamento e disposição.

3.4. Uso veicular

Uma das opções de projeto seria transformar LFG em gás de alto poder calorífico para injeção em linhas de gás. Esta opção requer um tratamento relativamente longo para que se possa remover do gás o CO₂ e impurezas.

As companhias de gás têm especificações de qualidade muito estritas quando se trata de injeção de gás em suas linhas, o que pode acarretar em investimentos em controle de qualidade e compressão. Entretanto, esta pode ser uma opção atraente para alguns aterros, desde que seja possível utilizar todo o gás recuperado (USEPA, 1996).

Para ser injetado na linha, é preciso que o gás tratado seja comprimido no ponto de conexão. Para a GASMIG as linhas de alta pressão operam entre 5 e 10

MPa, enquanto linhas de baixa e media pressão operam entre 0,1 e 3,5 MPa (Mei Shen e Moreira, 2006).

Outra opção seria transformar o LFG em CNG (gás natural comprimido) para uso como combustível veicular.

Para ser usado como combustível veicular, o LFG geralmente é transformado em CNG.

Abaixo são apresentadas as três alternativas utilizadas nos EUA (até 2007) para a transformação do LFG em CNG. Basicamente, este tratamento aumenta o teor de CH₄ e diminui os teores de CO₂, Hidrogênio e Oxigênio (PIERCE, 2005).

- separação por membrana;
- peneiras Moleculares;
- absorção por Amônia.

Até 2007, o tratamento mais utilizado nos EUA era a separação por membrana.

Abaixo é apresentada uma tabela onde é estimado o custo de produção do m³ de CNG conforme o tamanho da planta e vazão de gás.

Tabela 3: Custos de produção de CNG.

| Entrada de LFG (m ³ /h) | Tamanho da Planta CNG (m ³ /dia) | Custo CNG (R\$/m ³) * |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 421 | 3.580 | 8,92 |
| 846 | 7.160 | 7,20 |
| 2.120 | 17.900 | 5,80 |
| 4.248 | 35.800 | 5,23 |
| 8.496 | 71.600 | 4,33 |

*valores originais e US\$ em 2007

*Valor de conversão – 1 US\$ = R\$1,78

Fonte: Pierce (2005).

O único exemplo encontrado de aterro que transforma LFG em CNG a fim de utilizá-lo como combustível veicular é o de Puente Hills, na Califórnia. Este é o maior aterro em atividade dos EUA e está em operação desde 1957 e gera energia desde 1986 (FUNDACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA, 2006).



Figura 2: Aterro de Puente Hills.

Conforme dados de 2006 o aterro recebia 9.000 toneladas diárias, ocupava uma área de 550 hectares gerando de cerca de 760.000 m³ de LFG por dia.

O LFG é coletado, tratado, e gera cerca de 50 MW (FUNDACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA, 2006) através de uma caldeira/turbina a vapor (USEPA, 1996), abastecendo cerca de 75.000 residências (QED, 2009).

Em 1993 implantou uma pequena unidade piloto com sistema de purificação de gás para uso como combustível veicular. O tratamento ocorre através de separação por membrana (PIERCE, 2005).

A unidade piloto com capacidade de produção de CNG em torno de 8.000 m³/dia, com teor de CH₄ na ordem de 96%, teve um custo (atualizado para 2007) de 1,8 milhões de dólares (PIERCE, 2005).

Outro modo de utilizar LFG como combustível veicular seria transformá-lo em LNG (gás natural liquefeito).

Para este caso encontramos o exemplo do aterro de Frank R. Bowerman, na Califórnia, onde uma pequena unidade de tratamento projetada para produzir 19m³ de LNG por dia foi instalada no fim de 2006 e, até meados de 2007, estava sendo comissionada (WASTE MANAGEMENT WORLD, 2009).

O mercado para este tipo de combustível está dando os primeiros passos, por isso ainda não é possível afirmar a viabilidade do projeto (PIERCE, 2005).

Conforme USEPA (1996), por conta do relativo alto custo, esta opção pode ser viável somente em aterros onde há uma grande recuperação de gás, o que significa pelo menos 113. 250 m³/dia.

Tanto USEPA (1996) quanto o Banco Mundial (2003) afirmam que o tratamento necessário para transformar o LFG em combustível veicular é extremamente caro, pois ainda está em fase de desenvolvimento e experimento.

3.5. Queima em tocha

A tocha, ou *flare*, é um dispositivo utilizado na ignição e queima do biogás. É considerado um componente de cada opção de recuperação de energia, visto que pode ser necessário durante as etapas de início do processo, paradas dos equipamentos de geração de energia elétrica e para controle da vazão de gás excedente à capacidade do equipamento de geração de energia.

O sistema de queima deverá ser dotado de instrumentação de medição de vazão, composição, pressão e temperatura, seguidos de válvulas de controle de pressão na entrada de biogás no motor e na tocha.

Também pode ser utilizado para queima do biogás excedente entre os aumentos de capacidade de sistemas, podendo ser abertos ou enclausurados. Estes últimos são mais caros, mas podem ser requeridos, já que permitem a realização de

testes de exaustão e podem obter altas eficiências combustão. Ainda, *flares* enclausurados podem reduzir o nível de ruído e iluminação (USEPA, 2009).

A simples queima do biogás na tocha representa um benefício ambiental, uma vez que o potencial de aquecimento global do CO₂, produto da combustão, é 21 vezes menor que o do CH₄ (IPCC, 2001).

4. DADOS DO ATERRO DE BETIM

4.1. Dados do município

Betim é um município brasileiro do estado de Minas Gerais que faz parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, distando 30 km da capital, Belo Horizonte. Tem como municípios limítrofes: Esmeraldas, Contagem, Juatuba, Igarapé, Ibirité, São Joaquim de Bicas, Mário Campos e Sarzedo (Figura 3).

A área do município é de 345,99 km² (fonte: IGA/97), com um perímetro de 122 km (fonte: PMB). O ponto mais elevado do município é 1.100m em Serra Negra, e o mais baixo é 711m no Rio Paraopeba. A região central tem altitude de 860m.

Betim se localiza na chamada Zona metalúrgica, e é um dos principais pólos de concentração industrial do estado de Minas Gerais. Dados demonstram que a população do município de Betim tem crescido em média 7,85% ao ano - taxa muito superior à da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH (2,09%) e de Minas Gerais (1,15%). (Fonte: Prefeitura Municipal de Betim - www.betim.mg.gov.br - acesso em 24/06/2009).



Figura 3: Região Metropolitana de Belo Horizonte e Colar Metropolitano - 2002.

As principais atividades econômicas desenvolvidas em Betim são: metalurgia-alumínio, automóveis, bebidas, calçados, têxtil, turismo, mineração, minerais não metálicos, produtos alimentares, metalurgia-zinco, autopeças, bens de capital, vestuário, siderurgia, refino de petróleo, ferro-gusa, ferro-liga, siderurgia, refino de petróleo.

4.2. Caracterização ambiental

4.2.1. *Clima*

O clima local é definido como tropical de altitude ameno e seco, sendo os dias ensolarados e noites com temperaturas amenas. O verão é úmido e o inverno seco. As temperaturas médias variam de acordo com a latitude. As chuvas variam, em geral, entre 1.500 e 2.000 mm por ano, sendo mais intensas em dezembro, janeiro e fevereiro. A seca dura de 4 a 6 meses.

Temperatura Média das Máximas 22°C;

Temperatura Média das Mínimas 18°C;

Temperatura Média Anual 20°C.

A Figura 4 a seguir ilustra a precipitação do estado de Minas Gerais, com a localização de Betim, (SIMGE, 2009) produzido a partir das normas climatológicas 1961 - 1990 do INMET, e submetidos a procedimentos de análise objetiva pelo CPTEC / INPE, indicando o total de precipitação para este município no período chuvoso do ano (outubro a março).

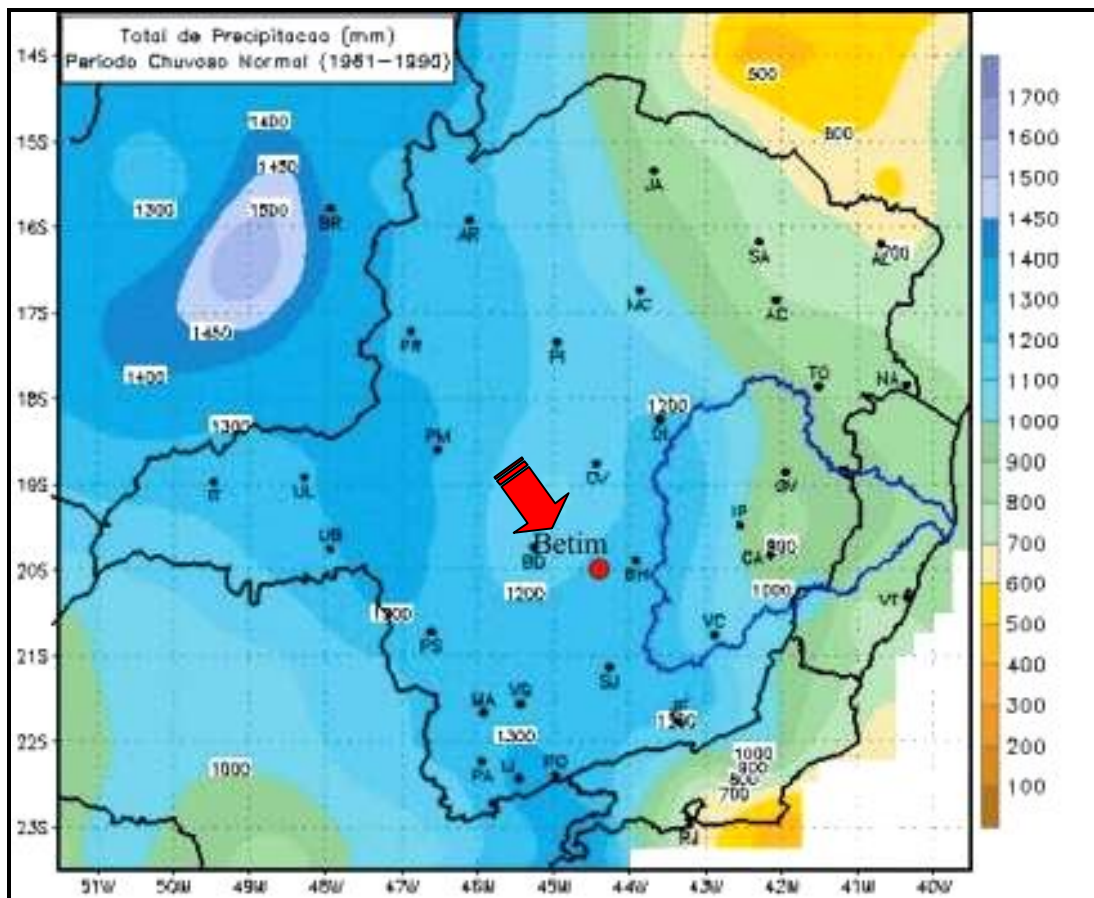


Figura 4: Precipitação no estado de Minas Gerais, em períodos chuvosos.

Para o período de seca (abril a setembro), o município apresenta um total de precipitação de até 200 mm, conforme mostra a Figura 5 a seguir (SIMGE, 2009).

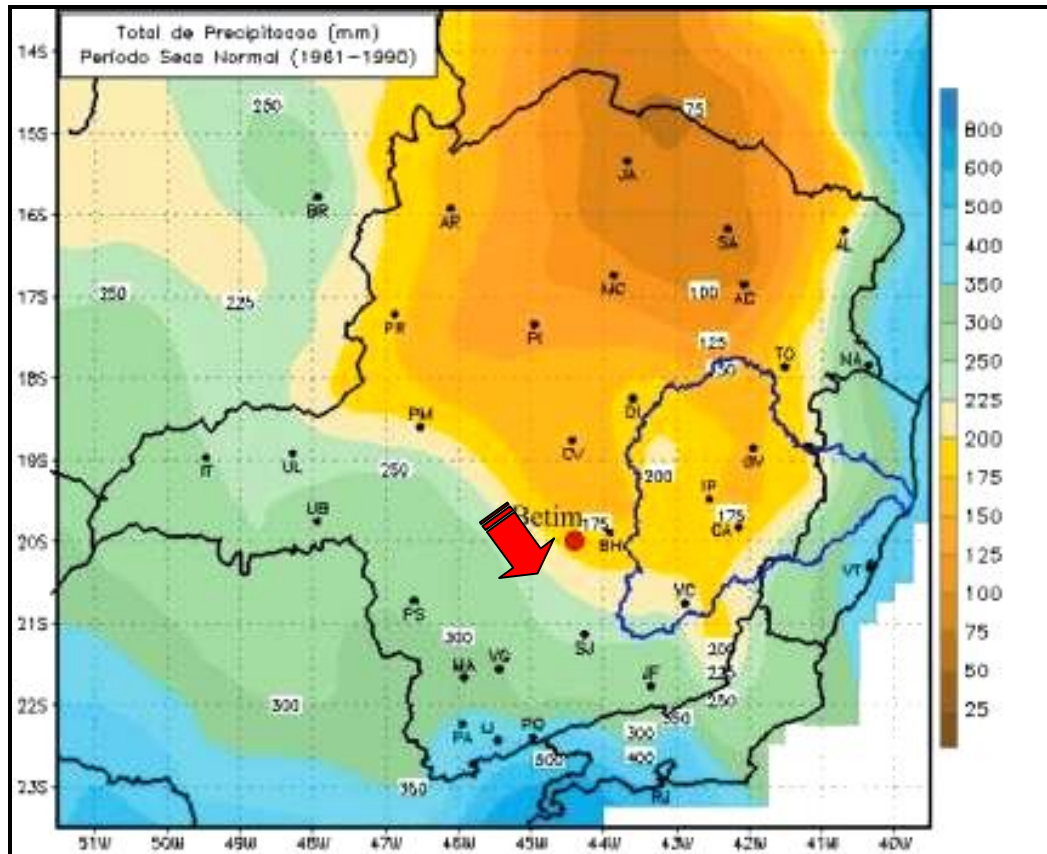


Figura 5: Precipitação no estado de Minas Gerais, em períodos secos

Já a temperatura varia de acordo com o período anual. A temperatura média do município durante o período chuvoso é de 24°C, conforme mostra a Figura 6 abaixo (SIMGE, 2009).

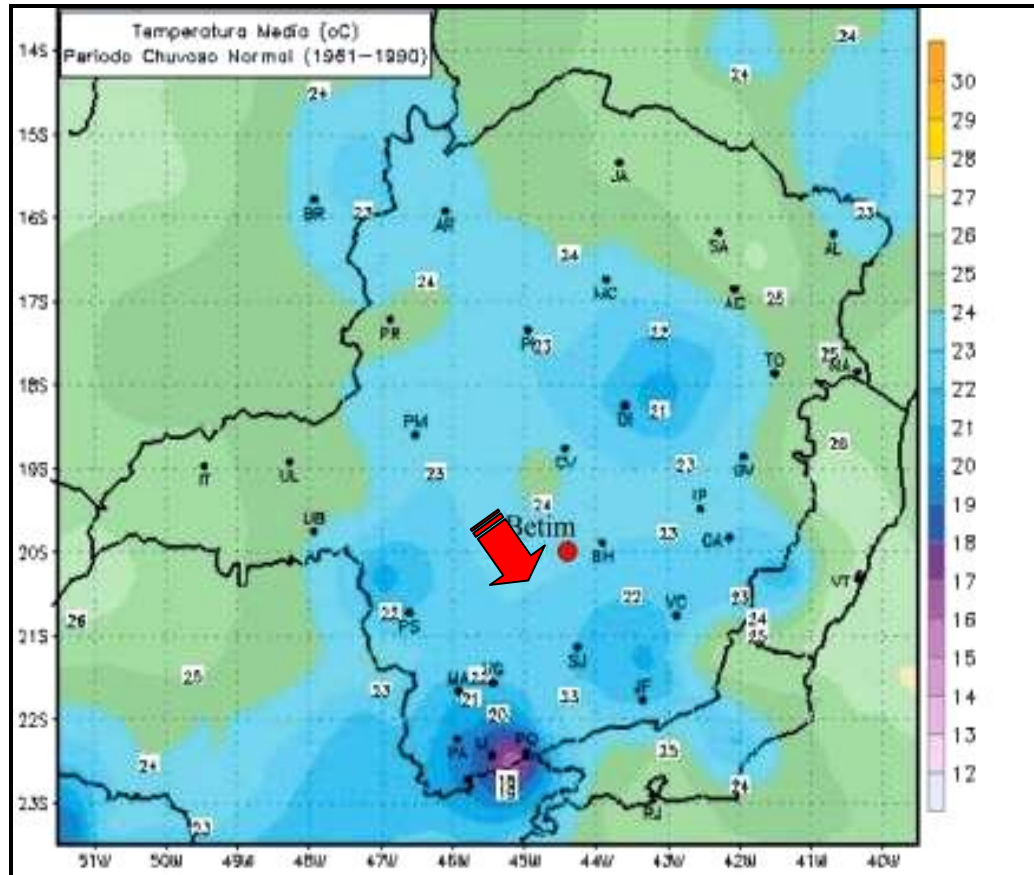


Figura 6: Temperaturas médias do estado de Minas Gerais no período chuvoso.

Durante o período seco, a temperatura média no município é de 21°C (Figura 7) (SIMGE, 2009):

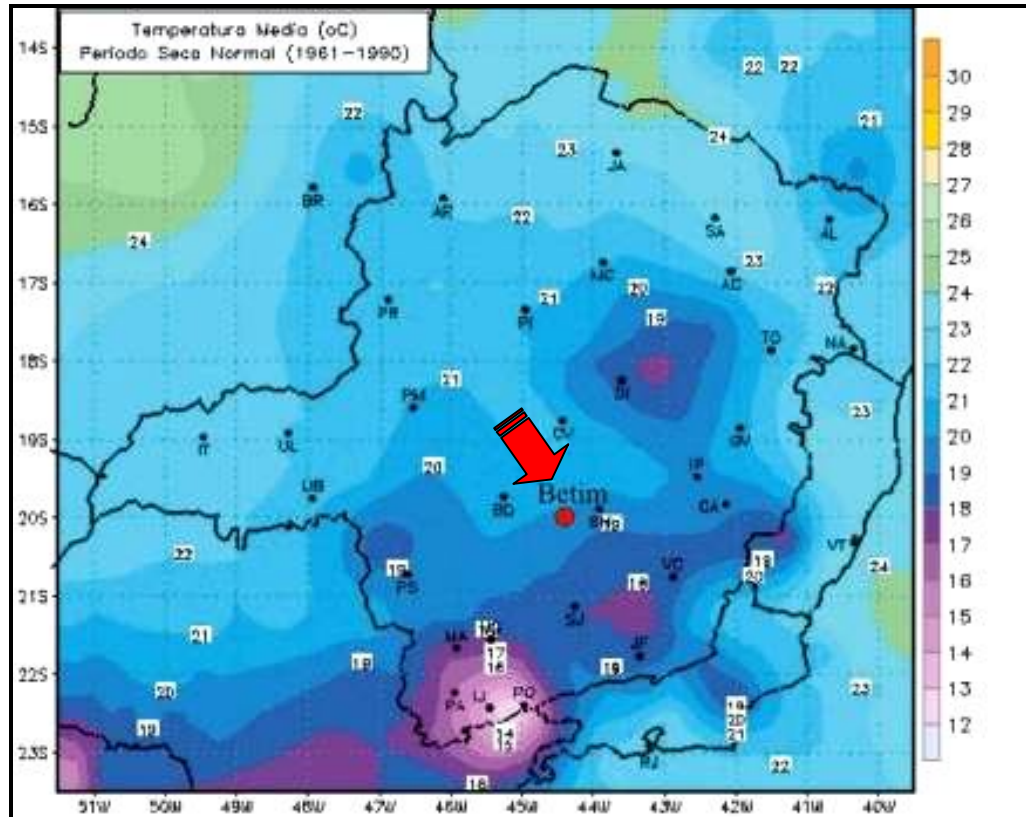


Figura 7: Temperaturas médias no estado de Minas Gerais no período de seca.

4.2.2. Geologia

A Bacia Hidrográfica regional é a Bacia do Rio São Francisco, sendo que a área do aterro insere-se no município na sub-Bacia do Rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco, com o ribeirão Betim cortando a cidade. Sua bacia tem uma área de drenagem total de aproximadamente 172 km². De sua área total, aproximadamente 139 km² ou 80% estão no município de Betim, numa região de maior concentração de ocupação urbana.

Seu relevo é o dos planaltos ondulados no imenso tabuleiro que se estende pelos contrafortes da Serra do Curral até Oeste do estado de Minas Gerais. O Relevo é acidentado, principalmente nas vertentes da Serra Negra terminando em vales e áreas com menores declividades. A topografia de Betim pode ser caracterizada pela seguinte maneira: 15% do relevo é plano, 25% é montanhoso e a grande maioria, 60%, é ondulada.

O solo descrito para a área do aterro é de alta instabilidade de relevo acentuado e com concentração de águas pluviais e olhos d'água.

Na área do aterro, o lençol freático se encontra a cerca de 3,0 metros de profundidade.

4.2.3. *Ecosystemas*

De acordo com a Caracterização de Ecosystemas de Betim (Emater-MG, 2006), o aterro está localizado em área de Ecosystema 6: vertentes ravinadas associadas a vertentes convexas.

São áreas com potencialidade a concentração de águas pluviais (superficiais) com ocorrência de áreas propícias de Preservação Permanente (APPs).

Foram identificados três tipos fisionômicos: Florestas de Galeria (junto a cursos d'água), Florestas Mesófilas (secas – caducifólias e subcaducifólias) e cerrado (lato senso, com predomínio de gramíneas). A vegetação dominante é a de cerrado e mata galeria, nos vales úmidos.

A ocupação antrópica do município por atividades agropecuárias e silvicultura resultou na redução das formações vegetais, tanto em sua área como na biodiversidade.

A fauna sofreu redução drástica devida à destruição dos habitats naturais e a caça (problema cultural).

4.3. Diagnóstico local

No dia 19 de agosto de 2009 foi realizada uma visita ao aterro para se obter informações necessárias para elaboração do pré-estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético do biogás.

As informações obtidas junto ao operador do aterro e observadas durante a visita, resumidas no Relatório de Visita - ANEXO A, foram utilizadas para preenchimento do *check list* apresentado no ANEXO B e serviram de base para elaboração do diagnóstico.

4.4. Localização do aterro

Para se chegar ao aterro, deve-se seguir a seguinte orientação: saindo do centro de Betim ao sul, via Rodovia Fernão Dias (BR 381), na localidade de Citrolândia.

O endereço é: Estrada da Charneca s/n - BR 381, km 492, Bairro São Salvador (CEP: 32.800-000).

4.4.1. Coordenadas

Coordenadas UTM (Google Earth): 23 579824.70m E 7786449.80m S.

Coordenadas geográficas: 20° 00' 56,6" (L), 44° 14' 00,4" (N).

4.4.2. Administração do aterro

O Aterro Sanitário está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Betim e é administrado pelo próprio município, por meio da Secretaria Municipal Adjunta do Meio Ambiente (SEMEIA).

4.4.3. Situação legal

O aterro sanitário possui Licença de Operação (LO) desde 1996 (Processo PA/COPAM/Nº 177/1994/004/1996), assim como a Usina de Compostagem (Processo PA/COPAM/Nº 177/1994/005/1996). Em julho de 2003 foi obtida licença para Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos (Processo PA/COPAM/Nº 177/1994/007/2002) com validade até junho de 2009.

Em junho de 2009, foi requerida a revalidação da Licença de Operação do aterro até o ano de 2013 (Processo PA/COPAM/Nº 177/1994/008/2009), que encontra-se em análise técnica pela SUPRAM Central, de modo que a Licença de operação concedida por meio do processo administrativo Nº. 177/1994/007/2002 permanece válida até que seja concedida a nova licença (conforme DECLARAÇÃO Nº. 543325/2009).

4.4.4. Área do aterro

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Betim ocupa uma área total de 34 ha, englobando em um mesmo local, quatro instrumentos de disposição e tratamento de resíduos domésticos: Aterro Sanitário, Lagoas de Tratamento de Chorume, Pátio de Compostagem e Unidade de Recuperação de

Recicláveis – URR (atualmente desativada). A área de disposição dos resíduos ocupa cerca de 17 ha.

A Figura 8 apresenta uma fotografia aérea da CTRS de Betim, localizando as instalações.



Figura 8: Vista aérea da CTRS de Betim.

4.4.5. Características do entorno

De acordo com o Plano Diretor do município, a área onde se localiza o aterro ocupa uma zona classificada como “Zona de Atividade Especial” (ZAE-I). Sendo que a sudeste da área (acesso), aproximadamente 150 metros, há local com ocupação humana de maior intensidade classificada como “de interesse social” (AIS-II).

O restante da área de entorno imediato é principalmente rural, com ocupação de pequenas e médias propriedades rurais e alguns remanescentes onde se podem observar fragmentos de mata nativa.

Não há Unidades de Conservação num raio de 10 km do entorno da área do aterro.

Está sendo implantado um cinturão verde entorno da área do aterro.

4.4.6. População atendida

O aterro recebe os resíduos do próprio município de Betim (429.507 habitantes, IBGE, 2008), além de outros municípios da região metropolitana de Belo Horizonte: Mario Campos (11.899 habitantes, IBGE, 2008), Igarapé (33.773 habitantes, IBGE, 2009) e São Joaquim de Bicas (23.462 habitantes, IBGE, 2008). Atualmente, a coleta de resíduos regular e disposição final abrangem 100% do município de Betim, conforme relatado pelo Engenheiro Antônio Marcos da Silva, gerente da CTRS.

4.4.7. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos

A CTRS recebe todos RSU coletados na cidade de Betim e outros municípios, sendo uma quantidade média diária de 240 toneladas (quantificada em balança rodoviária), e mobilizando uma equipe de 45 pessoas, entre efetivo da Prefeitura, terceirizados e estagiários. Os equipamentos utilizados no local são: 3 tratores de esteira, 4 caminhões caçamba, 2 caminhões pipa, 1 retro escavadeira e 1 pá carregadeira.

A coleta domiciliar é realizada em dois turnos, das 07h às 18h e das 18h às 07h e a coleta de resíduos de serviços de saúde é realizada no período diurno, das 07h às 15h20min.

Ao total são utilizados 7 veículos coletores, sendo realizadas diariamente 15 viagens até o aterro. Na entrada da CTRS, o veículo de coleta passa pela balança rodoviária existente, onde é pesado e a quantidade de resíduos é registrada pelo funcionário do aterro.

As Figura 9 e Figura 10 apresentam a portaria de acesso à CTRS e um caminhão coletor sendo pesado na balança rodoviária, respectivamente.



Figura 9: Portão de acesso da CTRS.



Figura 10: Pesagem de coletor na balança rodoviária.

A coleta seletiva no município sofreu uma reestruturação no ano de 2003. Atualmente são coletadas 100 toneladas de resíduos recicláveis por mês e 80% desse total é doado à Associação de catadores – ASCAPEL.

A ASCAPEL possui aproximadamente 100 cooperativados e conta com um pavilhão próprio para realização da triagem dos resíduos recebidos.

O aterro é classificado como sendo de meia encosta, sendo implantado em célula com camadas sucessivas, estando atualmente no 5º patamar com previsão de encerramento deste em outubro de 2009.

Os resíduos são dispostos em camadas com aproximadamente 5 m de altura (Figura 11).

A compactação é realizada em rampa, pela passagem sucessiva do trator de esteira sobre a pilha. Após, os resíduos são cobertos por uma camada intermediária de argila com espessura entre 20 e 40 cm.

A cobertura dos resíduos com argila é feita diariamente. Sobre a cobertura de argila é depositada uma camada de resíduos de poda, que auxilia na estabilidade e recuperação da cobertura vegetal.

Nos taludes definitivos a espessura da camada de argila é entre 40 e 50 cm, recebendo também a cobertura de material verde para auxílio na estabilidade e recuperação vegetal (Figura 12).

Embora não haja condicionante algum na licença de operação da CTRS que determine que o biogás gerado seja queimado, existe uma rotina diária de inspeção e acendimento dos queimadores do aterro, ficando um funcionário responsável exclusivamente por esse procedimento. As inspeções são feitas, duas vezes por dia, uma durante o período da manhã e outra no final da tarde.

Segundo o gerente da CTRS, Engenheiro Antônio Marcos da Silva, o não acendimento dos queimadores gera reclamações por parte dos moradores do entorno, devido ao odor emitido.



Figura 11: Disposição dos resíduos no aterro.



Figura 12: Cobertura dos resíduos com solo e material verde.

Os índices de adensamento dos resíduos observados no aterro são: 200 kg/m³ para resíduos não compactados e 900 kg/m³ para resíduos compactados.

4.4.8. Histórico de operação do aterro e vida útil

Até o ano de 1992, o resíduo produzido em Betim era disposto de forma aleatória no lixão do bairro Nossa Senhora das Graças. De 1993 a 1996 esta área foi transformada em um aterro controlado, onde se iniciou um tratamento parcial dos resíduos dispostos através de sua cobertura regular com solo. Em 1996, a cidade de Betim inaugurou o 1º Aterro Sanitário licenciado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM – no estado de Minas Gerais.

A Figura 13 apresenta uma vista aérea do aterro da CTRS de Betim.



Figura 13: Vista do aterro (Arquivo CTRS, 2008).

Embora o atual gerente operacional do aterro não possa afirmar, acredita-se que o preenchimento do maciço foi realizado por preenchimento e encerramento de cada patamar, até o 5º patamar.

Atualmente os resíduos estão sendo dispostos no 5º patamar, com previsão de encerramento deste em outubro de 2009. A altura atual do maciço é de aproximadamente 25 m.

Está em estudo pela administração da CTRS a utilização da área adjacente ao atual maciço, no lado posterior, para disposição de resíduos. Duas alternativas estão sendo estudadas: i) impermeabilização da base e disposição dos resíduos sem qualquer escavação ou corte; ii) escavação e remoção de solo, para rebaixamento da cota atual da área em 5 m, para então ser executada a impermeabilização da base.

A previsão de início de disposição de resíduos na 6ª plataforma é para janeiro de 2010.

A capacidade volumétrica total estimada para o aterro sanitário é de 695.853,0 m³, sendo a vida útil de mais 4 anos de operação.

4.4.9. Caracterização e quantificação dos resíduos

De acordo com o Engenheiro Antônio Marcos da Silva, gerente do aterro, atualmente são dispostos no aterro cerca de 240 toneladas de resíduos por dia.

São recebidos no aterro: resíduos domiciliares (RD), resíduos comerciais (RC), resíduos de serviço de saúde (RSS), resíduos de poda e varrição e resíduos da construção e demolição (RDC); sendo estes dois últimos dispostos em célula separada.

Em 2009 foi realizado estudo gravimétrico dos resíduos do município de Betim, através de amostragem de 8 pontos (Roteiros), sendo amostrada 18% da população do município.

Com base no volume total coletado no estudo (249.36 m³), pode-se verificar na Tabela 4 a composição dos resíduos de acordo com o ponto amostral, sendo mais de 50% resíduo orgânico.

Tabela 4: Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Betim – MG (2009)

| Roteiro | Matéria orgânica | Papel | Plástico | Metal | Vidro | Resíduos de banheiro | Trapo | Rejeito | Total (%) | Massa triada (kg) |
|-------------|------------------|-------|----------|-------|-------|----------------------|-------|---------|-----------|-------------------|
| Teresópolis | 48,12 | 11,51 | 11,30 | 8,16 | 2,09 | 4,18 | 4,18 | 10,46 | 8,65 | 478 |
| Alterosa | 64,64 | 5,83 | 2,34 | 4,77 | 1,15 | 8,22 | - | 13,16 | 11,00 | 608 |
| Sede 01 | 51,32 | 5,06 | 12,53 | 1,30 | 1,30 | 6,79 | - | 21,69 | 12,52 | 692 |
| Norte 03 | 61,74 | 11,05 | 10,69 | 1,14 | 1,08 | 7,69 | - | 6,61 | 15,07 | 833 |
| PTB | 55,91 | 5,60 | 12,62 | 1,49 | 1,28 | 7,83 | 3,51 | 11,82 | 11,32 | 626 |
| Imbiruçu 11 | 42,75 | 14,93 | 14,34 | 1,73 | 0,87 | 9,42 | - | 15,94 | 12,48 | 690 |
| Vianópolis | 56,00 | 9,34 | 17,07 | 1,73 | 0,27 | 6,00 | - | 9,60 | 13,57 | 750 |
| Citrolândia | 55,23 | 10,93 | 14,34 | 5,41 | 0,94 | 4,23 | - | 8,93 | 15,39 | 851 |
| Total | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 5.528 |
| Média | 54,46 | 9,28 | 11,90 | 3,22 | 1,12 | 6,80 | 0,96 | 12,28 | - | - |

Fonte: Tabela adaptada das planilhas do estudo "Caracterização Betim 2009".

Outro estudo realizado a partir da quantificação de resíduos recebida no aterro no período de 1996 até julho de 2009 estimou uma massa total aterrada de 589.766,7 t, equivalente ao volume de 536.151,6 m³ de resíduos desde o início das operações. A quantidade de resíduos recebida por ano, a partir de 1996, pode ser verificada na Tabela 5, a seguir.

4.4.10. Sistemas de impermeabilização e cobertura

Impermeabilização da Base

A impermeabilização na base do aterro foi executada com uma camada de argila compactada, com espessura aproximada de um metro. Não foram realizados ensaios de permeabilidade na camada impermeabilizante da base.

Cobertura Intermediária e Definitiva

A cobertura intermediária dos resíduos é executada com argila compactada, extraída da área adjacente à atual célula. A frequência de cobertura intermediária é diária, sendo colocada sobre a camada de argila uma camada de resíduos de poda que auxilia na estabilidade do maciço e na recuperação da cobertura vegetal.

Tabela 5: Quantidade de resíduos recebidos no aterro, de 1996 a 2008.

| ANO | Resíduos Especiais | | Resíduo Comercial | | Resíduo de Serviço de Saúde | | Resíduo público (varrição) | | Resíduo Doméstico | | TOTAL [kg] | DIAS | MÉDIA [t/dia] |
|-------|--------------------|------|-------------------|------|-----------------------------|------|----------------------------|------|-------------------|--------|-------------|------|---------------|
| | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | | | |
| 1996 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2.436.560 | 100,00 | 2.436.560 | 30 | 81,2 |
| 1997 | 0 | 0,00 | 380.850 | 1,38 | 245.770 | 0,89 | 0 | 0,00 | 26.988.550 | 97,73 | 27.615.170 | 306 | 90,2 |
| 1998 | 0 | 0,00 | 885.940 | 2,39 | 258.470 | 0,70 | 0 | 0,00 | 35.886.100 | 96,91 | 37.030.510 | 309 | 119,8 |
| 1999 | 0 | 0,00 | 1.130.765 | 2,63 | 359.115 | 0,83 | 1.645.635 | 3,82 | 39.931.060 | 92,72 | 43.066.575 | 309 | 139,4 |
| 2000 | 319.270 | 0,69 | 923.700 | 2,00 | 415.690 | 0,90 | 687.815 | 1,49 | 43.857.325 | 94,92 | 46.203.800 | 309 | 149,5 |
| 2001 | 339.200 | 0,71 | 1.566.525 | 3,29 | 433.125 | 0,91 | 2.048.800 | 4,30 | 43.297.245 | 90,80 | 47.684.895 | 301 | 158,4 |
| 2002 | 280.430 | 0,52 | 3.128.080 | 5,80 | 585.665 | 1,09 | 1.099.030 | 2,04 | 48.879.985 | 90,56 | 53.973.190 | 309 | 174,7 |
| 2003 | 137.360 | 0,27 | 3.514.805 | 6,79 | 465.360 | 0,90 | 1.703.220 | 3,29 | 45.961.430 | 88,76 | 51.782.175 | 307 | 168,7 |
| 2004 | 96.120 | 0,18 | 3.624.040 | 6,81 | 538.490 | 1,01 | 1.456.830 | 2,74 | 47.519.640 | 89,26 | 53.235.120 | 309 | 172,3 |
| 2005 | 148.060 | 0,27 | 3.381.170 | 6,11 | 475.540 | 0,86 | 1.003.280 | 1,81 | 50.360.590 | 90,96 | 55.368.640 | 310 | 178,6 |
| 2006 | 78.360 | 0,13 | 3.763.610 | 6,25 | 463.580 | 0,77 | 2.521.130 | 4,19 | 53.413.550 | 88,67 | 60.240.230 | 312 | 193,1 |
| 2007 | 1.222.050 | 1,86 | 4.773.050 | 7,25 | 463.500 | 0,70 | 3.662.840 | 5,56 | 55.741.650 | 84,63 | 65.863.090 | 310 | 212,5 |
| 2008 | 1.659.380 | 2,31 | 6.209.930 | 8,66 | 485.250 | 0,68 | 3.973.160 | 5,54 | 59.388.100 | 82,81 | 71.715.820 | 310 | 231,3 |
| TOTAL | 2.620.850 | 0,48 | 27.072.535 | 4,97 | 4.704.305 | 0,86 | 15.828.580 | 2,91 | 494.273.685 | 90,78 | 544.499.955 | | 153,2 |

Fonte: Prefeitura Municipal de Betim.

Visualmente, em alguns pontos, se constata que a compactação da camada de argila intermediária é deficiente (Figura 14).



Figura 14: Cobertura dos resíduos com argila e resíduos de poda e capina.

A cobertura definitiva dos taludes na face frontal do aterro foi executada com argila compactada com espessura entre 40 e 50 cm. Após a camada de argila foi também colocada uma camada de resíduos vegetais para auxílio na estabilidade e recuperação da vegetação.

4.4.11. Sistemas de drenagem

Drenos de lixiviado e tratamento

Segundo o gerente do aterro, no início da operação do aterro os drenos de lixiviado foram construídos com pedras de mão envoltas em uma manta geotêxtil, dispostas sobre a camada de argila da base. Posteriormente, foi observado que os drenos construídos desse modo eram facilmente obstruídos e a drenagem de

líquidos ficava prejudicada. Assim, os drenos passaram a ser construídos com pedras de mão, sem a manta geotêxtil.

Atualmente os novos drenos têm sido construídos com tubos de PEAD perfurados, cobertos por uma camada de pedra de mão e uma camada posterior de brita 3.

O sistema de drenagem é formado por dreno principal central, conectado à drenos secundários em formato de espinha de peixe.

O tratamento dos líquidos percolados é realizado em um sistema composto por uma lagoa anaeróbia, um reator UASB e uma lagoa facultativa em série. A vazão média atual de líquidos tratados na estação é de 0,22 L/s. O excesso de lodo gerado é encaminhado para deságüe em um leito de secagem e posteriormente disposto no próprio aterro.

A Figura 15 mostra uma das caixas de inspeção usadas para monitoramento do percolado no aterro. A Figura 16 apresenta uma vista da estação de tratamento de percolados.



Figura 15: Caixa de monitoramento de percolado.



Figura 16: Estação de tratamento de percolado.

A Tabela 6, a seguir, apresenta o resultado médio do monitoramento da vazão de percolados no aterro sanitário de Betim.

Tabela 6: Monitoramento - Vazão média de líquidos percolados.

| Período | Vazão (L/s) |
|------------------|-------------|
| 1º Semestre 1999 | 0,01 |
| 1º Semestre 2000 | 0,11 |
| 2º Semestre 2003 | 0,05 |
| 1º Semestre 2004 | 0,11 |
| 2º Semestre 2004 | 0,03 |
| 1º Semestre 2005 | 0,12 |
| 2º Semestre 2005 | 0,10 |
| 1º Semestre 2006 | 0,09 |
| 2º Semestre 2006 | 0,07 |
| 2º Semestre 2007 | 0,19 |
| 2º Semestre 2008 | 0,25 |
| 2º Semestre 2009 | 0,22 |

Fonte: Planilhas de monitoramento da vazão de chorume elaborada pelo operador do aterro.

Drenagem Pluvial

A drenagem pluvial existente é apenas periférica, composta por canaletas de concreto com seção retangular, localizadas no entorno do aterro (Figura 16 e Figura 17).

Não existe sistema de drenagem pluvial instalados nas bermas do maciço, contudo está prevista a sua instalação após a cobertura definitiva e encerramento do aterro.



Figura 17: Drenagem pluvial no entorno do aterro.



Figura 18: Drenagem pluvial próximo à área de tratamento de percolados.

Drenagem de Biogás.

Os drenos de biogás estão distribuídos pela área do aterro com distância média entre drenos de aproximadamente 20 metros. O perfil construtivo dos drenos de gás consiste em tambores de 200 L com diâmetro de 0,6 m, perfurados, colocados um sobre o outro e preenchidos com pedras de mão. Para evitar que haja fuga de gás e incêndios no entorno do dreno, o último tambor do dreno não é perfurado e a região do entorno do dreno recebe uma camada de argila com espessura maior, conforme é apresentado na Figura 19.

Conforme o nível da camada de resíduos é completado, o dreno de gás é elevado, seguindo o mesmo perfil construtivo. Os drenos verticais estão interligados com os drenos horizontais.

Ao todo, existem na área de disposição de resíduos 74 drenos verticais, sendo que 40 desses apresentam vazão de gás suficiente para mantê-los acesos permanentemente.

Os 34 drenos restantes estão distribuídos da seguinte forma: 14 na área mais antiga de disposição de resíduos e 20 na área onde mais recentemente foram dispostos os resíduos.

Nas áreas do aterro onde não se observa o espaçamento médio de 20 metros entre os drenos, o operador do aterro executa a instalação de novos drenos, fazendo uma cava com aproximadamente 3 metros de profundidade, com uso da retro escavadeira, e instalando-os com o mesmo perfil construtivo dos demais.

O monitoramento da composição dos gases é realizado em dois pontos localizados no patamar superior do maciço. Os resultados do monitoramento, no período entre 1999 e 2009, são apresentados na Tabela 7, a seguir.



Figura 19: Drenos de biogás.

Tabela 7: Composição dos gases dos drenos por período.

| Período | CH ₄ [%v/v] | | CO ₂ [%v/v] | | H ₂ S [ppm] | |
|---------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | PG 01 | PG 02 | PG 01 | PG 02 | PG 01 | PG 02 |
| 1999 | 39,5 | 49,65 | 32,4 | 37,9 | 4,9 | 4,7 |
| 2000 | 34,5 | 35,5 | 32,5 | 30,5 | 4,9 | 4,9 |
| 2001 | 34,2 | 32,6 | 11,3 | 5,9 | 4,6 | 4,8 |
| 2004 | 51,8 | 51,02 | 36,29 | 31,45 | 0,9 | 1 |
| 2005 | 60,9 | 46,97 | 35,7 | 37,67 | 0,9 | 0,89 |
| 2006 | 34,7 | 40,15 | 33,3 | 35,7 | 0 | 0,2 |
| 2007 | 45,2 | 31,3 | 29,2 | 21,7 | 4,8 | 4,9 |
| 2008 | 62 | 61 | 27 | 19 | 4,9 | 4,6 |
| 2009 | 47,1 | 57,7 | 28 | 22 | 4,7 | 4,8 |

Obs: PG-01-lado de cima do maciço. PG-02-Lado de cima no maciço-meio.
 Fonte: Planilhas de monitoramento de biogás elaboradas pelo operador do aterro.

4.4.12. Compostagem

A CTRS possui um pátio de compostagem onde são recebidos resíduos de poda, resíduos compostáveis coletados em frigoríficos e restaurantes e resíduos de leitões de criação de animais (leitões de palha e maravalha) (Figura 20).



Figura 20: Resíduos orgânicos compostáveis dispostos no pátio.

Os resíduos são dispostos no pátio em leiras e revolvidos periodicamente para acelerar a sua decomposição (Figura 21).



Figura 21: Leiras no pátio de compostagem.

O composto formado é analisado para determinação da concentração de metais, nitrogênio, fósforo e potássio. Após, ele é doado para associações do município.

5. DADOS DO ATERRO DE CONTAGEM

5.1. Dados do município

O Município de Contagem está localizado na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte (Figura 22), distando 16,4 km desta capital. A altitude máxima de 1.047 m (Morro Vermelho) e mínima de 879 m (localidade próxima ao rio Betim). A altitude no ponto central da cidade é de 901,97 m.

As principais atividades econômicas desenvolvidas em Contagem, município localizado na Região de Planejamento Central do Estado de Minas Gerais, são: metalurgia-alumínio, automóveis, bebidas, calçados, têxtil, turismo, mineração, minerais não metálicos, produtos alimentares, metalurgia-zinco, autopeças, bens de capital, vestuário, siderurgia, refino de petróleo, ferro-gusa, ferro-liga, siderurgia, refino de petróleo.

Contagem é o terceiro município mais populoso de Minas Gerais (depois de BH e Uberlândia - IBGE 2008), com PIB per capita de R\$ 18.630,00 (IBGE/Fundação João Pinheiro 2006).

5.2. Caracterização ambiental

5.2.1. Clima

O clima na região de Contagem é marcado pela sazonalidade térmica e pluviométrica, sendo a classificação do clima: Cwb – Clima Tropical de Altitude. As temperaturas mínimas no inverno são em torno de 16,7°C (julho). No verão, as

médias são em torno de 21,1°C, sendo este o período chuvoso. O Índice médio pluviométrico anual é de 1.491,3 mm.



Figura 22: Localização do município de Contagem na região metropolitana de Belo Horizonte.

5.2.2. Geologia

O município de Contagem está localizado na unidade de relevo denominada Depressão Sanfranciscana. A forma de relevo predominante é de colinas convexo côncavas sobre rocha granito-gnáissicas. O relevo é bastante diversificado, sendo: Plano em 20%, Ondulado em 30%, e Montanhoso em 50%.

A Bacia Hidrográfica a qual o município integra é a Bacia do Rio São Francisco, sendo os principais rios: Ribeirão Betim, Ribeirão do Cabral e Represa Várzea das Flores.

5.2.3. *Biota*

A vegetação predominante é de cerrado, estando esta bastante alterada. A ocorrência de matas está restrita a ocorrência de manchas secundárias fragmentada, com a presença de capoeiras e matas ciliares nos fundos de vales.

5.3. Diagnóstico local

No dia 18 de agosto de 2009 foi realizada uma visita ao aterro para se obter informações necessárias para elaboração do pré-estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético do biogás.

As informações obtidas junto ao operador do aterro e observadas durante a visita, resumidas no Relatório de Visita - ANEXO C, foram utilizadas para preenchimento do *check list* apresentado no ANEXO D e serviram de base para elaboração do diagnóstico.

5.3.1. *Localização do aterro*

O aterro sanitário está situado no Bairro Perobas, em Contagem, Minas Gerais. O acesso principal se dá pela via de acesso à Via Expressa de Contagem, a partir da Av. Helena de Vasconcelos Costa e Av. São Marcos.

A distância entre o aterro sanitário e a sede municipal de Contagem é de aproximadamente 5,6 km rodoviários.

A Figura 23 apresenta uma fotografia aérea da localização do aterro.

5.3.2. Coordenadas geográficas e altitude

O centro de Contagem está a 902 metros acima do nível do mar. As coordenadas geográficas de referência do aterro (Google Earth) são: 23 598514.20 m E , 7797667.77 m S.

5.3.3. Administração do aterro

A administração do aterro sanitário é feita pela Secretaria Adjunta de Limpeza Urbana do Município de Contagem.

5.3.4. Situação legal

A prefeitura municipal de Contagem possui Licença de Operação vigente para o aterro sanitário concedido pelo Certificado nº 057 emitido pela FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, com validade até 24 de fevereiro de 2010.

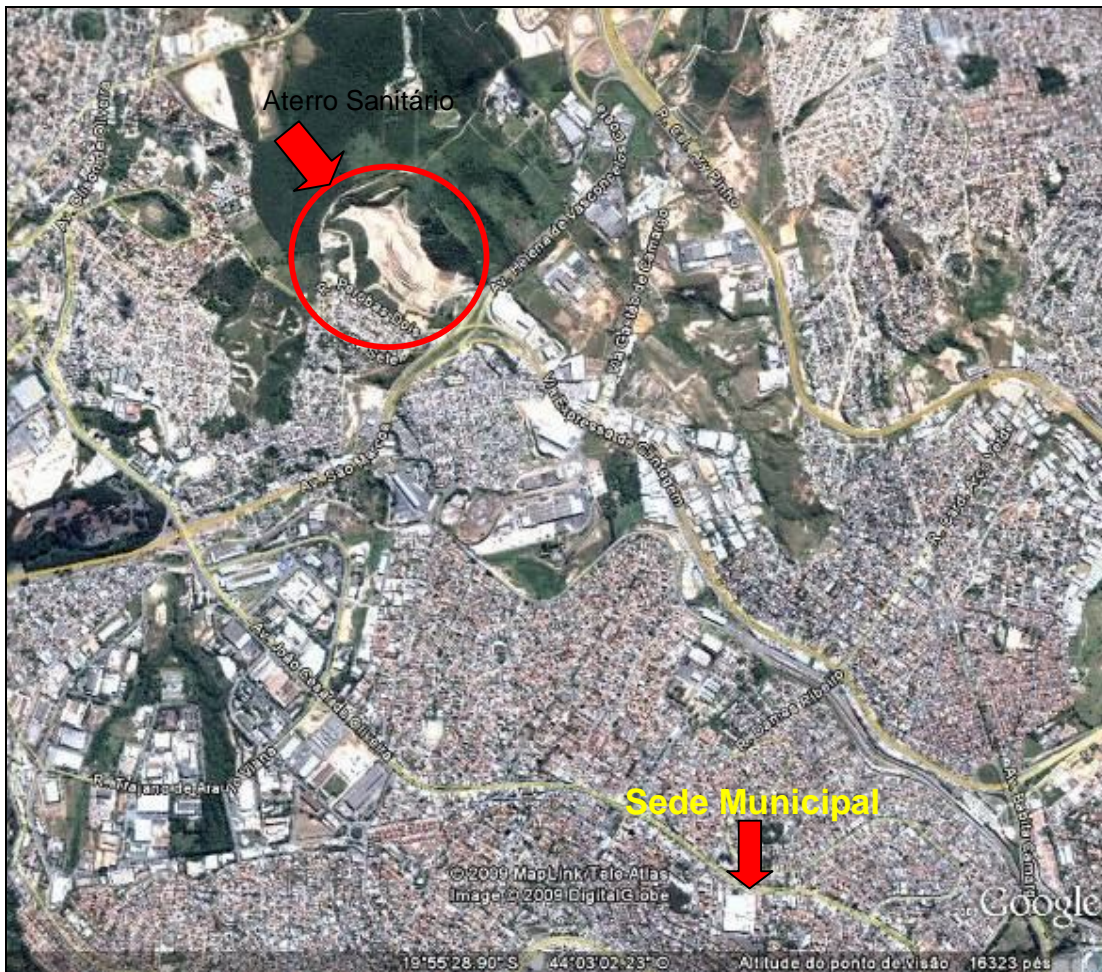


Figura 23: Aterro de Contagem: principais vias de acesso e entorno.

5.3.5. Área

O aterro sanitário tem uma área total de 60 hectares, com utilização direta de 12 hectares e outros 13 destinados à área de preservação permanente.

5.3.6. Características do entorno

O Bairro Perobas (Unidade de Planejamento Perobas), onde se situa o aterro, está localizado na Região Administrativa Regional de Eldorado. Esta região é conhecida como o maior centro comercial e de serviços de Contagem.

O entorno imediato do aterro consiste, ao sul e sudoeste, em uma zona de ocupação humana densamente povoada e à sudeste por uma zona comercial ocupada principalmente por empresas de transporte e logística. A área situada à noroeste do aterro apresenta vegetação nativa densa sem sinais de modificações antrópicas, aparentemente, enquanto à nordeste o ambiente encontra-se bastante modificado.

As Figura 24 e Figura 25 apresentam vistas da região do entorno imediato ao aterro.



Figura 24: Vista da zona de ocupação humana situada ao sul do aterro.



Figura 25: Vista da zona comercial situada no entorno do aterro.

5.3.7. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos

São recebidos no Aterro resíduos Classe II - A (domiciliares, comerciais e públicos), coletados e transportados pelo sistema de limpeza pública municipal, e os provenientes de grandes geradores (comerciais, industriais e prestadores de serviços). Após a descarga dos resíduos na frente de trabalho, é realizada a compactação pelo método de rampa, utilizando-se tratores de esteira com peso operacional acima de 15 toneladas.

Após, os resíduos são cobertos com uma camada de material inerte entre 20 e 30 cm, previamente disposto junto à frente de operação para esta finalidade. Os taludes intermediários, após a cobertura com material inerte, são revestidos com resíduos da capina, que têm a função de promover a vegetação, de proteger os taludes contra erosões e aumentar a estabilidade do maciço.

Os taludes definitivos serão cobertos com camada de argila com espessura de 80 cm e revestidos com leivas de grama.

5.3.8. Histórico de operação do aterro

O Aterro Sanitário de Contagem possui Licença Ambiental de Operação (LO) e iniciou as operações em 1997.

No ano de 2002 o aterro teve sua licença de operação revogada pela FEAM e permaneceu em situação irregular junto ao órgão até o ano de 2006, quando foi elaborado um novo projeto para obtenção de nova LO.

O projeto do aterro realizado em 2006 considera que 26% do volume total do aterro é ocupado por material de cobertura.

Quanto à evolução do maciço de resíduos, a cota do primeiro patamar foi atingida no ano de 2001. No ano de 2003 foi atingida a cota 890 e em novembro de 2006 o maciço atingiu a cota 910.

Nos meses de dezembro de 2006 e janeiro de 2007, os resíduos foram dispostos na área adjacente, ao norte do maciço original.

No ano de 2007, a plataforma inferior em direção oeste passou a receber os resíduos.

Em 2009, novamente o topo do maciço foi utilizado para disposição de resíduo atingindo a cota 920.

A altura atual do maciço é de aproximadamente 45 metros. A Figura 26 apresenta uma vista do maciço de resíduos.

No encerramento, previsto para o ano de 2019, o maciço atingirá a cota 950, com uma altura aproximada de 75 metros.



Figura 26: Vista do maciço de resíduos no aterro de Contagem.

5.3.9. Caracterização e quantificação dos resíduos

A quantidade atual de resíduos diariamente destinada ao aterro é em torno de 400 toneladas, e que, adotando-se a população do município projetada pelo IBGE para 1º de julho de 2009, de 625.393 habitantes, resulta em uma taxa per capita de geração de resíduos sólidos urbanos de 0,64 kg/hab-dia.

O Índice de adensamento observado e adotado pela operadora do aterro é de 700 kg de resíduos por m³ de aterro.

A taxa de aumento na quantidade gerada de resíduos observada pela administração do aterro, para os últimos anos, é de 3% ao ano, conforme apresentado na Tabela 10.

São recebidos no aterro resíduos domiciliares, comerciais, resíduos de serviços de saúde e resíduos públicos.

Os resíduos recebidos no aterro são denominados conforme sua origem: resíduos domiciliares, resíduos de serviços de saúde, resíduos de varrição, resíduos volumosos de limpeza de áreas públicas e outros.

A composição gravimétrica dos resíduos domiciliares do município foi obtida por meio de um estudo conduzido pela Secretaria Municipal Adjunta de Limpeza Urbana de Contagem, realizado entre os dias 24 e 29 de agosto e entre os dias 02 e 05 de setembro de 2009, adotando-se orientações da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC.

Esse estudo considerou, para a coleta de amostras, algumas variáveis socioeconômicas do município, de modo que a quantidade de amostras foi definida de acordo com a proporção resultante entre a população total e a ocorrência de estratos sociais conforme os setores censitários que compõem a cidade. Desse modo, foram coletadas 42 amostras nas oito regionais administrativas de acordo com a ocorrência dos estratos sociais existentes no município.

A composição gravimétrica dos resíduos, resultado desse estudo, é apresentada na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Contagem/MG.

| Resíduo | Percentual |
|---------------------|-------------------|
| Restos de Alimentos | 31,0% |
| Restos de Podas | 5,0% |
| Papel Reciclável | 5,0% |
| Papelão | 4,0% |
| Plástico Mole | 2,5% |
| Plástico Duro | 3,0% |
| PET | 3,0% |
| Tetra Pak | 2,5% |
| Metal Ferroso | 2,0% |
| Metal Não Ferroso | 0,0% |
| Alumínio | 0,5% |
| Vidro | 2,0% |
| Trapo | 3,0% |
| Restos de Banheiro | 18,0% |
| Entulho | 1,0% |
| Outros | 17,5% |
| Total | 100,0% |

Fonte: Diagnóstico técnico operacional – composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares, Prefeitura Municipal de Contagem (2009).

Agrupando os dados apresentados da Tabela 8, segundo a familiaridade dos resíduos, obtemos a composição apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Composição dos resíduos

| MATÉRIA ORGÂNICA | PAPEL/PAPELÃO | PLÁSTICO | METAL | VIDRO | TECIDOS | OUTROS | Total |
|------------------|---------------|----------|--------|--------|---------|---------|-----------------|
| 54,00 % | 11,50 % | 8,50 % | 2,50 % | 2,00 % | 3,00 % | 18,50 % | 100,00 % |

Fonte: Adaptado do Diagnóstico técnico operacional – composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares, Prefeitura Municipal de Contagem (2009).

A quantidade de resíduos recebida no aterro sanitário da cidade de Contagem, registrada entre os anos de 2005 e 2008, é apresentada na Tabela 10, a seguir.

Resíduos denominados de remoção mecanizada compreendem os resíduos de construção (inertes).

Resíduos denominados de remoção manual compreendem outros resíduos como sofás, podas (aproximadamente 30 % de resíduos de poda).

5.3.10. Sistemas de impermeabilização e cobertura

A base do terreno foi impermeabilizada com uma camada de argila compactada com espessura aproximada de 1 m. Nas encostas onde a inclinação é muito acentuada, impossibilitando a colocação da camada de argila, a impermeabilização foi executada com manta de PEAD com espessura de 1,5 mm.

A Figura 27 apresenta a impermeabilização com argila executada na base do aterro e a impermeabilização na encosta, executada com manta de PEAD.



Figura 27: Vista do sistema de impermeabilização de base do aterro.

A cobertura dos resíduos dispostos no aterro é realizada diariamente, com argila e resíduos de construção e demolição (RCD). A espessura da camada intermediária de cobertura possui entre 20 e 30 cm aproximadamente.

Os taludes definitivos possuem uma camada de cobertura com espessura entre 60 e 80 cm aproximadamente.

Após o encerramento do aterro, a previsão é que a camada de cobertura definitiva seja de aproximadamente 1,0 m.

Tabela 10: Quantidade e tipos de resíduos recebidos pelo aterro em toneladas.

| Ano | | Resíduos sólidos domiciliares(t) | | | Resíduos de serviços de saúde (t) | Resíduos de varrição (t) | Outros resíduos(t) | Resíduos volumosos/ Limpeza de áreas públicas (t) | | | Resíduos de grandes geradores (t) | Total |
|------|--------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---|--------------------|----------------|-----------------------------------|------------|
| | | Coleta domiciliar | Coleta em caçambas | Total | Coleta RSS | Coleta de varrição | Coleta de animais mortos/outros | Coleta URPVs | Remoção mecanizada | Remoção manual | Coleta particular | |
| 2005 | Total | 106.725,28 | 5.440,46 | 112.165,74 | 754,67 | 689,37 | 0,00 | 4.991,36 | 0,00 | 0,00 | 17.835,68 | 136.436,82 |
| | Média mensal | 8.893,77 | 453,37 | 9.347,15 | 62,89 | 57,45 | 0,00 | 415,95 | 0,00 | 0,00 | 1.486,31 | 11.369,74 |
| 2006 | Total | 112.035,34 | 5.613,10 | 117.648,44 | 725,71 | 4.691,40 | 0,00 | 9.707,81 | 16.466,62 | 2.005,61 | 20.373,30 | 171.618,89 |
| | Média mensal | 9.336,28 | 467,76 | 9.804,04 | 60,48 | 390,95 | 0,00 | 808,98 | 1.372,22 | 167,13 | 1.697,78 | 14.301,57 |
| 2007 | Total | 113.510,98 | 4.831,00 | 118.341,98 | 652,80 | 480.948,00 | 168,16 | 19.473,33 | 28.748,88 | 2.962,34 | 19.857,79 | 671.153,28 |
| | Média mensal | 9.459,25 | 402,58 | 9.861,83 | 54,40 | 40.079,00 | 14,01 | 1.622,78 | 2.395,74 | 246,86 | 1.654,82 | 55.929,44 |
| 2008 | Total | 118.759,43 | 3.983,57 | 122.743,00 | 625,85 | 4.485,55 | 49,72 | 26.924,83 | 17.909,07 | 2.433,74 | 23.232,72 | 198.404,48 |
| | Média mensal | 9.896,62 | 331,96 | 10.228,58 | 52,15 | 373,80 | 4,14 | 2.243,74 | 1.492,42 | 202,81 | 1.936,06 | 16.533,71 |

Fonte: Prefeitura Municipal de Contagem.

5.3.11. Sistemas de drenagem

Drenagem Pluvial

A drenagem pluvial no entorno da área do aterro é realizada por um sistema de canaletas de concreto tipo meia cana.

No maciço, apenas na face frontal, onde a cobertura é definitiva, existe canaleta para drenagem de águas pluviais. No restante, a inclinação das bermas é responsável pelo escoamento.

Está prevista, para após o encerramento do aterro, a instalação de canaletas tipo meia-cana em torno de cada patamar do aterro.

Drenagem de Biogás

O distanciamento médio entre os drenos de biogás é de aproximadamente 50m.

O perfil construtivo dos drenos consiste em tambores de 200 L com diâmetro de 0,6 m, perfurados, colocados um sobre o outro e preenchidos com pedras de mão (Figura 28). Para evitar que haja fuga de gás e incêndios no entorno do dreno, os dois últimos tambores de cada dreno não são perfurados.

Os drenos de gás são interligados aos drenos horizontais de drenagem de líquidos, conforme é apresentado na Figura 29.

Duas vezes ao dia, uma durante o período da manhã e outra ao final da tarde, é realizada uma inspeção nos drenos para verificação da queima apropriada de biogás e acendimento daqueles drenos que se apagaram. Atualmente, o aterro possui 96 drenos de biogás instalados. Desse total, aproximadamente 90% apresentam vazão de gás suficiente para manterem-se acesos permanentemente.

Conforme informações fornecidas pelo operador do aterro, não foram realizados estudos de composição ou vazão do biogás, até o presente momento.



Figura 28: Dreno de biogás.



Figura29: Vista da construção de um dreno de biogás interligado ao dreno principal de lixiviado.

Drenagem de líquidos percolados e tratamento

O sistema de drenagem de líquidos percolados é composto por um dreno principal construído com uma camada de pedras de mão, disposta sobre a camada de argila da base, coberta com uma camada de brita 3 e drenos secundários interligados ao principal, construídos com pedras de mão, e dispostos em forma de espinha de peixe, com distanciamento médio de 30 m.

A vazão média de líquido percolado gerado no aterro, no ano de 2008, foi de 0,91 L/s, enquanto que a média para o ano de 2009, até o mês de agosto, é de 0,66 L/s.

Os efluentes coletados são direcionados para a rede pública de coleta de esgotos de onde seguem para tratamento na ETE Nova Contagem da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA. A Figura 29 apresenta a vista dos drenos de líquidos percolados construídos.



Figura 29: Drenos de líquidos percolados executados sobre a camada de argila da base.

6. DADOS DO ATERRO DE UBERLÂNDIA

6.1. Dados do município

O município de Uberlândia está localizado no triângulo Mineiro / Alto Paranaíba. As principais atividades econômicas desenvolvidas são açúcar e álcool, pecuária, produção e processamento de grãos, processamento de carne, cigarros, fertilizantes, processamento de madeira, reflorestamento, venda por atacado.

A Figura 30 apresenta a localização do município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, em relação à capital Belo Horizonte (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS).

A população de Uberlândia é estimada em 608.369 mil habitantes distribuídos em 4.116km, onde 219.00 km é área urbana (IBGE, 2007). A média de crescimento do município é estimada em 3,89% ao ano, o que supera a média de crescimento brasileira.

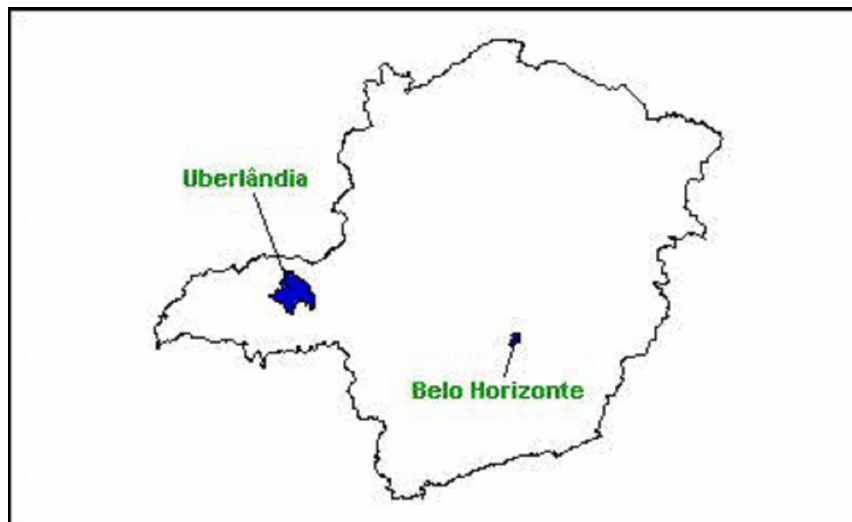


Figura 30: Localização do município de Uberlândia em relação à capital de Minas Gerais.

6.2. Caracterização ambiental

6.2.1. Clima

O clima de Uberlândia é semitropical, se caracterizando pela alternância de invernos secos e verões chuvosos, segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, megatérmico, com chuvas de verão e secas de inverno.

A média anual da temperatura é de 22°C. Os meses de outubro a março são os mais quentes, tendo uma temperatura média de 24,7°C. Os meses mais frios são junho e julho, com uma média de 18,8°C. No verão, há grande instabilidade, sobretudo de origem frontal (Frente Polar Atlântica) e instabilidades de Noroeste, que provocam grandes chuvas, concentradas de outubro a março.

Os meses de dezembro a fevereiro são responsáveis por cerca de 50% da precipitação anual, que é de 1.500 a 1.600 mm. A Figura 31 a seguir ilustra a precipitação do Estado de Minas Gerais, com a localização de Uberlândia, indicando o total de precipitação para este município no período chuvoso do ano.

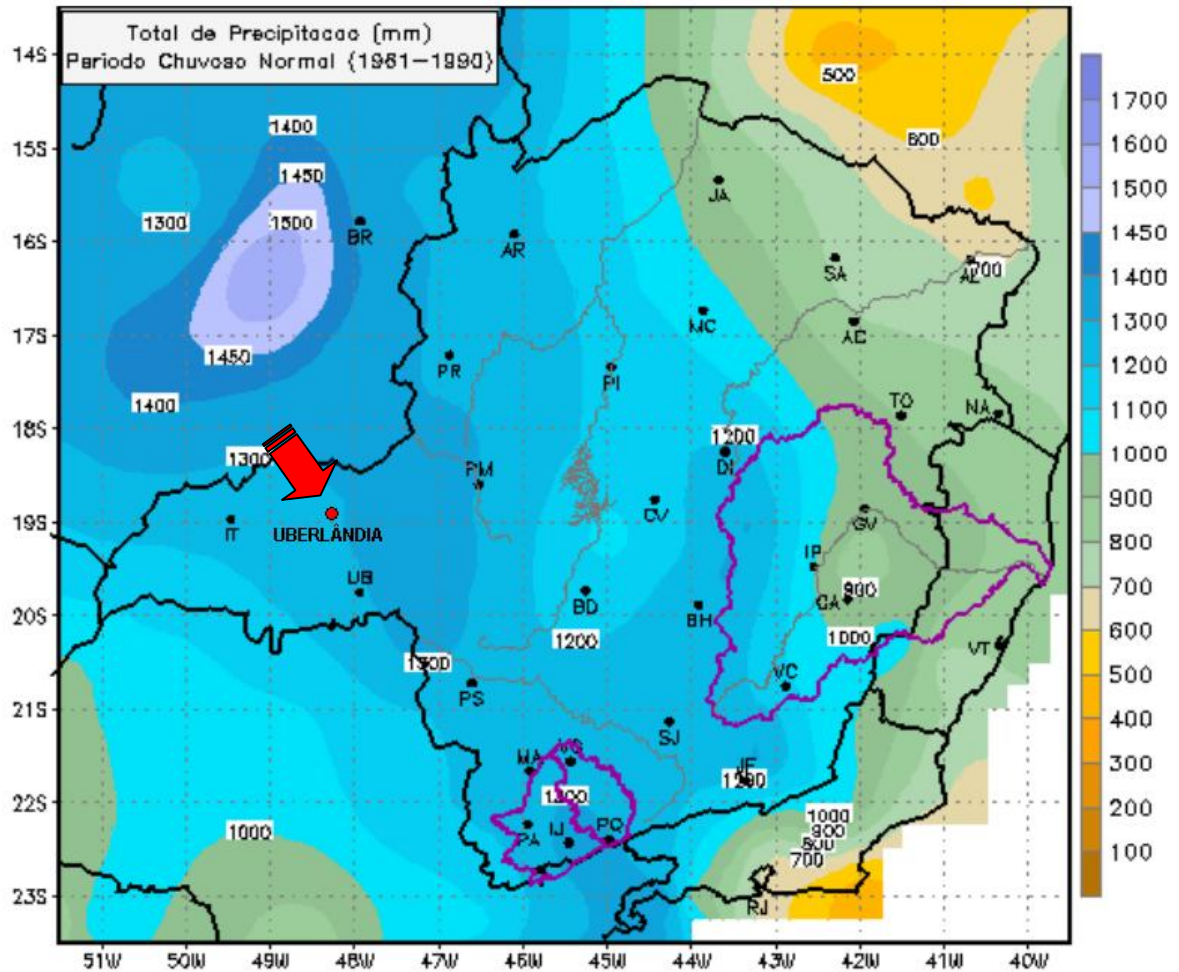


Figura 31: Precipitação no Estado de Minas Gerais, em período chuvoso normal.

Fonte: SIMGE

A Figura 32 a seguir ilustra a precipitação do Estado de Minas Gerais, com a localização de Uberlândia, indicando o total de precipitação para este município no período de seca.

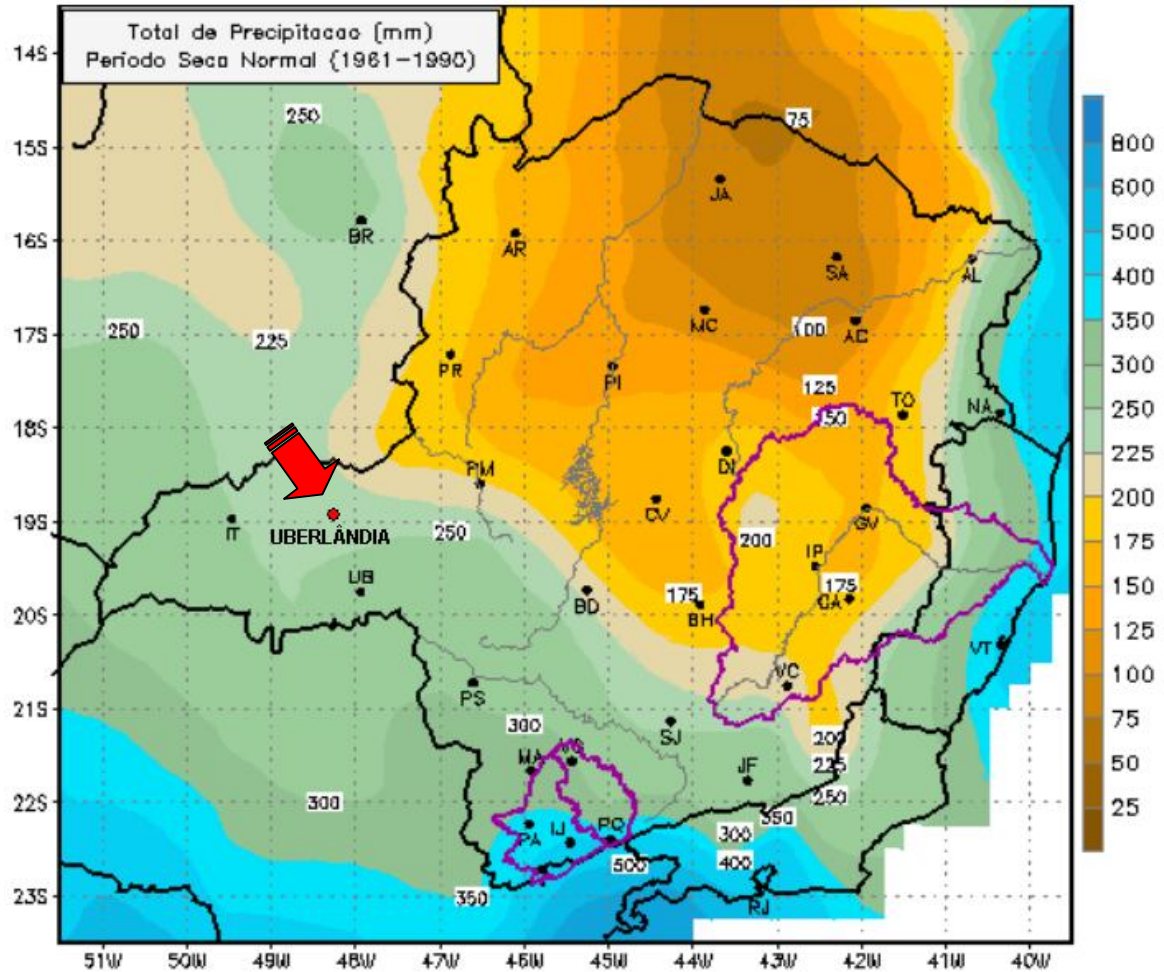


Figura 32: Precipitação no estado de Minas Gerais, em período de seca normal.

Fonte: SIMGE

As Figura 33 e Figura 34 a seguir ilustram a temperatura média do Estado de Minas Gerais, com a localização de Uberlândia, para este município nos períodos chuvoso e seco do ano, respectivamente.

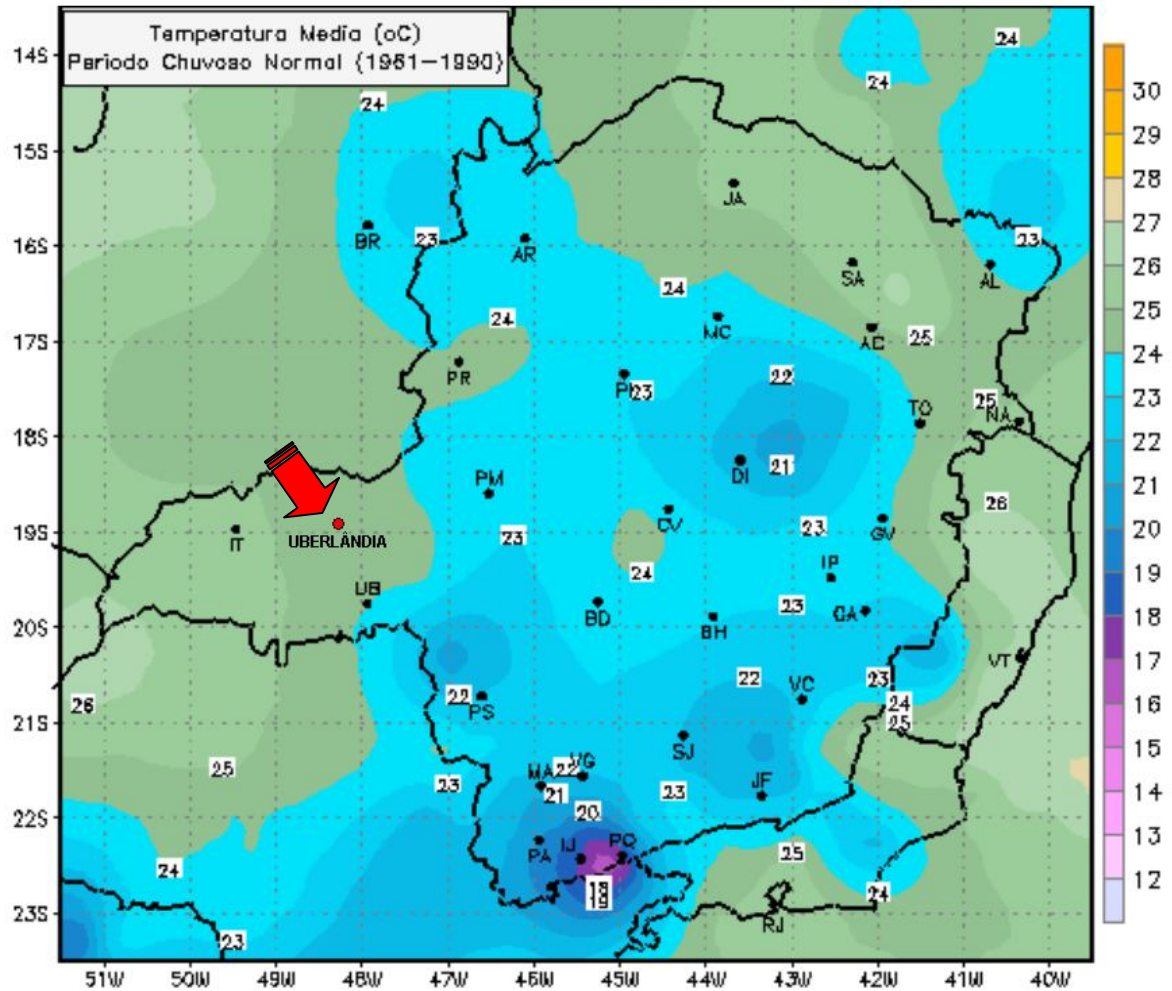


Figura 33: Temperatura média no estado de Minas Gerais, em período chuvoso.

Fonte: SIMGE

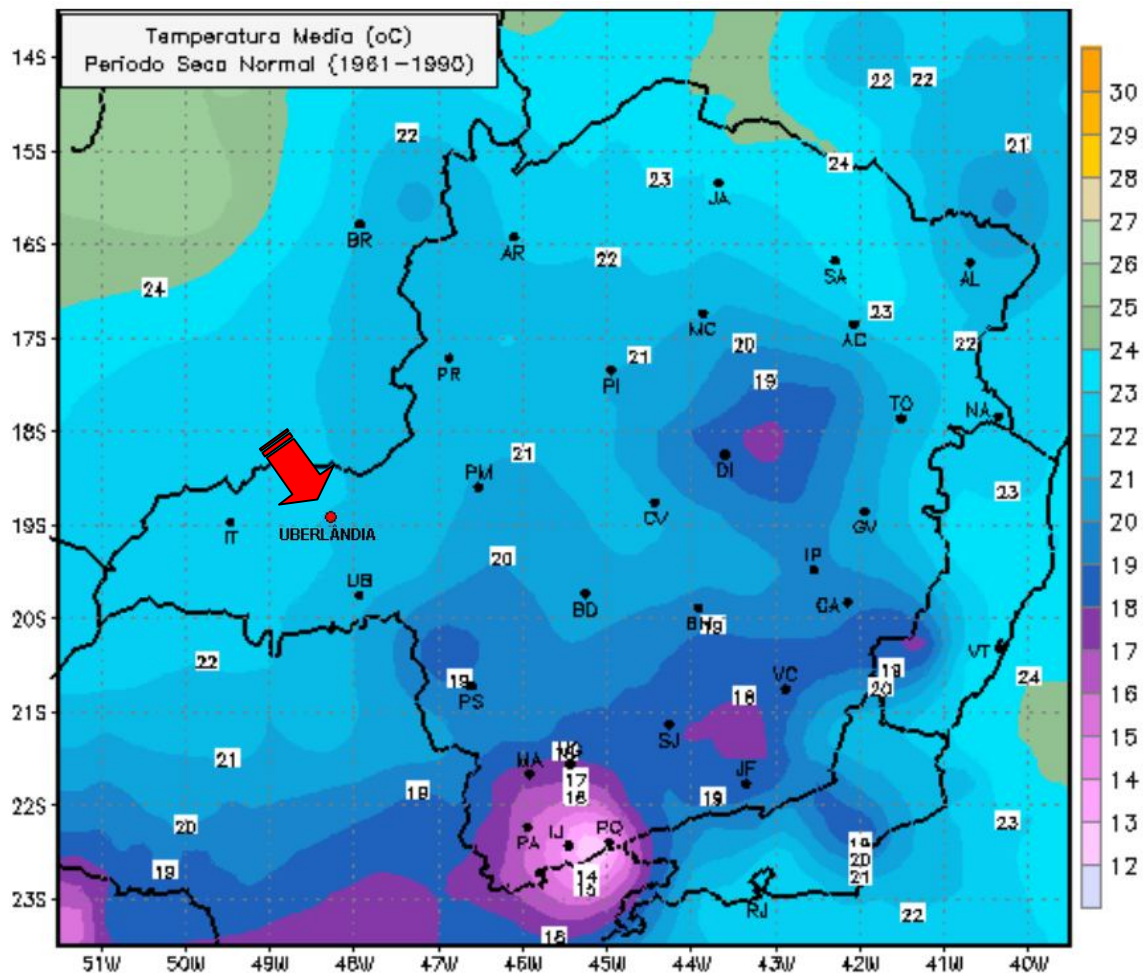


Figura 34: Temperatura média no estado de Minas Gerais, em período de seca normal.

Fonte: SIMGE

6.2.2. Geologia

Uberlândia está situada no “Domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná”, estando, porém, inserida na subunidade “Planalto Setentrional da Bacia do Paraná” (RADAM-Brasil-1983).

O município está situado entre o Rio Tijuco e Rio Araguari, ambos afluentes do Rio Paranaíba. Na área do município de Uberlândia, ao sudoeste e sul, a bacia do Rio Tijuco, segundo curso d'água em volume do município, tem como afluentes os Ribeirões: Douradinho, Cabaçal, Babilônia, Panga e Estiva, todos na zona rural. A bacia do Rio Araguari abrange as demais regiões do município, sendo o seu principal curso d'água. Um de seus afluentes, o Rio Uberabinha, passa pela área urbana de Uberlândia.

Na bacia do Rio Araguari foram identificados por ROSA, et. al. (2004 p.69) seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da (Embrapa, 1999) os solos do tipo Latossolo.

Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Nitrossolo Vermelho, Agrissolo Vermelho Amarelo, Cambissolo, Gleissolo e Neossolo. No município de Uberlândia de acordo com PRUDENTE, T. são predominantes os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho Amarelo (LVAw), Latossolo Vermelho (LVd), Gleissolo (Gxbe), Argissolo Vermelho Amarelo (PVAe), Cambissolo (CXd1).

6.2.3. *Biota*

A vegetação característica da região é o cerrado entrecortado por veredas, com solos ácidos e pouco férteis.

Em diferentes locais em todo município existem manchas de “cerradão” como ilhas de mata em meio a grandes extensões de culturas de soja, milho ou sorgo, que fazem o papel de um abrigo para o gado. A mata ciliar se apresenta em quantidade muito pequena quando comparada à quantidade de drenagem que o município comporta, sendo que esta deveria acompanhar cada curso d'água.

O cerrado em si naquela condição generalizada de mistura de portes arbóreo e arbustivo representa uma porcentagem extremamente pequena superior apenas à área dos corpos d'água.

A grande parte do território do município é ocupada por áreas de agricultura e pastagem (uso antrópico).

6.3. Diagnóstico local

No dia 17 de agosto de 2009 foi realizada uma visita ao aterro para se obter informações necessárias para elaboração do pré-estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético do biogás.

As informações obtidas junto ao operador do aterro e observadas durante a visita, resumidas no Relatório de Visita - ANEXO E, foram utilizadas para preenchimento do *check list* apresentado no ANEXO F e serviram de base para elaboração do diagnóstico.

6.3.1. Localização do aterro

O aterro está localizado na Estrada do Salto, s/n, em uma área industrial a aproximadamente 7 km do centro de Uberlândia.

O acesso é feito pelo Rodoanel Ayrton Senna, no bairro Guarani, no Distrito Industrial de Uberlândia. Seguindo pela BR 050, sentido Uberaba-Araguari, até o cruzamento com a Avenida José Andraus Gassani (distrito industrial de Uberlândia – Setor Leste). Ao final da avenida há um trevo (trevo do anel viário – setor leste), 500 metros à frente estão os Aterros Sanitários I e II.



Figura 35: Localização do aterro de Uberlândia no Distrito Industrial do município.

6.3.2. Coordenadas geográficas e altitude

Coordenadas (Google Earth): 22 782365.60m E 7910116.04m S.

Coordenadas: S 18°52'42,1" W 48°19'6,9".

O aterro está situado a cerca de 800 metros acima do nível do mar.

6.3.3. *Administração do aterro*

O aterro sanitário municipal de Uberlândia é atualmente operado pela empresa Limpebras Engenharia Ambiental, a qual possui a concessão para o serviço nos próximos 20 anos.

6.3.4. *Situação legal*

O aterro sanitário possui Licença de Operação, em vigor, para atividade de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos, concedida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, por meio do processo administrativo N°. 00353/1996/008/2008, com validade até 05 de junho de 2015.

6.3.5. *Área*

A área total do terreno do Aterro de Uberlândia é de 300.000 m². Dentro desta área encontra-se o aterro sanitário (ocupando atualmente 150.000 m²) e a unidade de pré-tratamento do lixiviado.



Figura 36: Imagem aérea (Google Earth) da área do aterro.

6.3.6. Características do entorno

O aterro está localizado em uma zona atualmente industrial, à nordeste do centro do município. O entorno imediato da área encontra-se bastante modificado, utilizado no passado por atividades agrícolas. Ao sul e sudoeste da área, a vegetação encontra-se mais preservada, formada por mata ciliar e vegetação secundária que vem se estabelecendo naturalmente de acordo com o tempo de desuso das áreas.

À oeste do aterro encontra-se o rio Uberabinha, a uma distância aproximada de 150 metros. A Figura 37 apresenta uma vista do Rio Uberabinha.

À noroeste está instalada a ETE Uberabinha do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia – DMAE, a aproximadamente 500 metros do aterro (Figura).



Figura 37: Vista do entorno do aterro.



Figura 39: Vista da ETE Uberabinha localizada próxima ao aterro.

A seguir são citadas as indústrias localizadas no entorno do aterro com potencial de consumo do biogás/energia e suas respectivas distâncias:

- Cargill – 4.500 m de distância;
- Sadia – 2.500 m;
- Itambé – 300 m;
- Souza Cruz – 1.800 m.

Não há residências a menos de 500 m da área, e o restante da ocupação é industrial.

6.3.7. População atendida

Todos os Resíduos Sólidos Municipais (RSM) dispostos no Aterro Uberlândia são provenientes do município de Uberlândia, cuja população é estimada em torno de 622.000 habitantes (IBGE 2008). Uberlândia é o segundo município mais populoso de Minas Gerais (depois de BH - IBGE 2008), seu PIB per capita é de R\$ 17.101,00 (IBGE/Fundação João Pinheiro 2006). O aterro recebe diariamente em torno de 400 toneladas de resíduos (incluindo resíduos residenciais, comerciais e industriais), ou cerca de 115.000 toneladas por ano.

Segundo a empresa Limpebras, a taxa de crescimento da geração de resíduos observada nos últimos anos foi de aproximadamente 1% ao ano.

6.3.8. Sistema de coleta, transporte e disposição final dos resíduos

Todos os bairros e distritos do município de Uberlândia possuem coleta de lixo, sendo coletada e disposta no aterro de Uberlândia em média 400 toneladas/dia.

Os resíduos são movidos para o local, compactados e cobertos por uma camada de material inerte.

O aterro controla a entrada de resíduos por meio de uma balança para pesagem dos caminhões de coleta. O aterro funciona em dois turnos, de segunda a sábado, das 07h às 18h horas e das 18h às 4h.

Os resíduos são dispostos em camadas com aproximadamente 5 m de altura.

A compactação é realizada em rampa, pela passagem sucessiva do trator de esteira sobre a pilha (Figura 38).



Figura 38: Disposição dos resíduos no aterro.

Após, os resíduos são cobertos, com frequência diária, por uma camada intermediária de argila e resíduos inertes. Quando os resíduos não são cobertos por argila no final da jornada de trabalho, uma lona é temporariamente estendida sobre eles.

A altura total do maciço no encerramento do aterro é estimada em torno de 45 metros.

6.3.9. *Histórico de operação do aterro*

Conforme o BDI (2005) de Uberlândia a construção do aterro se iniciou em junho de 1995, em uma área de 145.000 m², atingindo a sua totalidade de 300.000 m². Este Aterro Sanitário foi o terceiro a ser instalado no estado de Minas Gerais, sendo que seu licenciamento ocorreu em 1997. Sua previsão de encerramento é em julho de 2010.

Segundo informações fornecidas pela Limpebras, a Prefeitura de Uberlândia e a Empresa firmaram um contrato para encerramento e monitoramento do aterro atual e implantação e operação de um novo aterro a ser instalado na área adjacente ao atual.

O contrato prevê que o terreno para instalação do novo aterro seja adquirido pela empresa Limpebras, detentora da concessão da operação pelos próximos 20 anos. Após esse período, o aterro será entregue para a prefeitura.

O projeto do novo aterro, com previsão de início em julho de 2010, prevê a coleta e queima do LFG gerado nos dois aterros (atual e futuro) com vista à obtenção de créditos de carbono pela destruição do metano em tocha.

O município receberá 10% da receita bruta oriunda do recebimento de resíduos de terceiros, da comercialização dos créditos de carbono e da comercialização do LFG ou energia elétrica, caso venham a ocorrer.

6.3.10. *Caracterização e quantificação dos resíduos*

O aterro de Uberlândia atende a população do município, estimada em 622.000 pessoas que geram em torno de 0,59 kg de resíduo sólido urbano por dia, conforme Tabela 13 (Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia).

A quantidade de resíduos dispostos no aterro por período é apresentada nas Tabela 12, e Tabela 13.

A média diária de resíduos domiciliares dispostos no aterro é de aproximadamente 350 t/dia. A composição deste resíduo é mostrada na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Composição dos RSU no Aterro Uberlândia

| Resíduo | Fração mássica (%) |
|------------------------------|--------------------|
| Papel / papelão | 11,2 |
| Têxtil | 2,7 |
| Matéria orgânica | 47,9 |
| Madeira / poda | 9,7 |
| Inertes Vidro | 1,7 |
| Inertes Plástico | 14,0 |
| Inertes Metal | 1,3 |
| Hospitalar / odontológico | 0,3 |
| Pilhas / baterias / lâmpadas | 0,1 |
| Outros | 11,1 |
| Total | 100,0 |

Fonte: Base de dados setor de engenharia / Limpebras (2009).

6.3.11. *Sistemas de impermeabilização e cobertura*

Os resíduos são movidos para o aterro, compactados e cobertos diariamente, reduzindo a presença de aves e moscas no local. O fundo do aterro está revestido por argila compactada. Cada camada do aterro tem uma altura aproximada de 5m, e recebe recobrimento intermediário de argila e/ou material inerte (resíduos da construção civil), com espessura de 40 cm (Figura 39).

. A cobertura final do aterro será executada com uma camada de argila com espessura de 150 cm.

Tabela 12: Quantidade de resíduos das empresas dispostos no aterro por período.

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DAS EMPRESAS NO ATERRO SANITÁRIO (TON)

| ANOS | MÊS | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | Média Diária |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maió | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | | |
| 1996 | 2.849,760 | 3.142,740 | 3.054,470 | 3.172,340 | 3.313,780 | 3.253,760 | 2.885,130 | 5.262,870 | 4.264,680 | 4.246,630 | 3.439,290 | 3.079,920 | 41.965,370 | 114,974 |
| 1997 | 3.088,860 | 2.396,940 | 2.524,020 | 2.751,670 | 2.503,620 | 2.444,630 | 2.596,820 | 1.775,600 | 1.380,790 | 1.329,360 | 1.324,980 | 1.309,700 | 25.426,990 | 69,663 |
| 1998 | 1.248,130 | 1.060,300 | 1.172,270 | 1.086,870 | 1.096,970 | 1.138,230 | 1.177,590 | 1.083,640 | 1.157,420 | 1.121,700 | 1.060,300 | 1.226,860 | 13.630,280 | 37,343 |
| 1999 | 1.162,510 | 963,880 | 1.258,110 | 1.063,110 | 1.195,110 | 1.185,430 | 1.333,250 | 1.339,530 | 1.489,040 | 1.298,430 | 1.250,540 | 1.263,670 | 14.782,610 | 40,500 |
| 2000 | 1.165,830 | 1.315,290 | 1.332,750 | 1.411,690 | 1.802,510 | 1.826,330 | 1.921,510 | 2.090,520 | 2.351,970 | 1.987,130 | 1.619,780 | 1.576,320 | 20.401,630 | 55,895 |
| 2001 | 1.613,170 | 1.389,640 | 1.656,930 | 1.480,550 | 1.650,480 | 1.312,830 | 1.408,870 | 1.530,130 | 1.435,680 | 1.569,980 | 1.869,520 | 1.827,190 | 18.744,970 | 51,356 |
| 2002 | 1.612,290 | 1.600,920 | 1.616,400 | 1.754,800 | 1.588,650 | 1.550,210 | 1.629,460 | 1.538,040 | 1.362,070 | 1.594,130 | 1.476,680 | 1.428,890 | 18.752,540 | 51,377 |
| 2003 | 1.473,130 | 1.379,950 | 1.501,830 | 1.331,220 | 1.315,720 | 1.093,260 | 1.017,740 | 794,510 | 847,500 | 1.176,880 | 1.400,000 | 1.322,690 | 14.654,430 | 40,149 |
| 2004 | 1.431,960 | 955,220 | 1.012,700 | 870,790 | 854,420 | 857,930 | 931,110 | 892,630 | 950,720 | 857,240 | 1.110,670 | 1.152,850 | 11.878,240 | 32,543 |
| 2005 | 1.134,810 | 1.008,780 | 1.122,250 | 1.044,130 | 1.023,170 | 1.163,410 | 1.068,540 | 1.032,670 | 1.090,700 | 1.228,700 | 1.195,310 | 1.509,990 | 13.622,460 | 37,322 |
| 2006 | 1.514,370 | 1.159,470 | 1.894,790 | 1.457,650 | 1.453,800 | 1.517,810 | 1.420,070 | 1.615,120 | 1.445,530 | 1.606,490 | 1.391,280 | 1.709,840 | 18.186,220 | 49,825 |
| 2007 | 1.398,900 | 1.143,510 | 1.505,370 | 1.394,390 | 1.623,890 | 1.395,450 | 1.358,500 | 2.865,460 | 2.143,410 | 1.890,180 | 1.869,010 | 1.585,610 | 20.173,680 | 55,270 |
| 2008 | 1.245,510 | 1.110,700 | 1.372,870 | 1.580,030 | 1.614,070 | 1.185,220 | 1.758,100 | 1.690,000 | 1.657,920 | 2.134,420 | 1.102,190 | 1.679,690 | 18.130,720 | 49,673 |
| 2009 | 2.268,220 | 2.076,970 | 1.801,670 | 1.528,330 | 1.559,300 | 1.370,210 | 1.734,360 | 1.563,520 | 1.519,980 | | | | 15.422,560 | 42,254 |
| MÉDIA | 1.657,675 | 1.478,879 | 1.630,459 | 1.566,255 | 1.613,964 | 1.521,051 | 1.588,646 | 1.791,017 | 1.648,386 | 1.695,482 | 1.546,888 | 1.590,248 | | |

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia - www.uberlandia.mg.gov.br (acesso em 24/11/2009)

Tabela 13: Quantidade de resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro por período.

COLETA, TRANSPORTE E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ATERRO SANITÁRIO(TON)

| ANOS | MÊS | | | | | | | | | | | | TOTAL ANUAL | MÉDIA DIÁRIA | POPULAÇÃO URBANA* | POPULAÇÃO TOTAL* | PRODUÇÃO PER CAPITA (Kg/hab/dia) |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|----------------------------------|
| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Mai | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | | | | | |
| 1995 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 994,040 | 5.632,940 | 5.988,040 | 6.816,750 | 7.074,236 | 8.160,400 | 34.664,406 | 94,971 | | | |
| 1996 | 9.154,530 | 9.762,568 | 8.692,984 | 8.061,350 | 7.998,190 | 7.628,700 | 8.686,756 | 9.579,080 | 9.103,450 | 10.340,730 | 9.959,570 | 11.024,270 | 109.992,178 | 301,348 | 431.744 | 438.986 | 0,698 |
| 1997 | 9.542,810 | 8.090,760 | 7.923,682 | 7.987,940 | 7.424,156 | 7.377,010 | 7.828,590 | 7.652,882 | 8.349,370 | 8.288,670 | 7.784,010 | 9.711,250 | 97.961,130 | 268,387 | 445.992 | 453.473 | 0,602 |
| 1998 | 8.615,220 | 7.932,230 | 8.547,110 | 8.186,190 | 8.153,990 | 8.332,880 | 8.641,090 | 8.674,490 | 9.437,240 | 8.964,360 | 9.338,100 | 10.897,040 | 105.719,940 | 289,644 | 460.709 | 468.437 | 0,629 |
| 1999 | 10.160,350 | 8.750,330 | 9.793,870 | 8.792,100 | 9.118,400 | 9.245,180 | 9.462,440 | 8.905,170 | 9.744,600 | 9.441,010 | 10.458,240 | 11.001,290 | 114.872,960 | 314,720 | 475.913 | 483.896 | 0,661 |
| 2000 | 10.677,040 | 10.349,750 | 10.400,490 | 9.037,500 | 9.731,720 | 9.372,110 | 9.433,460 | 10.031,460 | 10.362,570 | 9.893,950 | 9.741,180 | 11.224,520 | 120.255,770 | 329,468 | 488.982 | 501.214 | 0,674 |
| 2001 | 10.852,980 | 9.316,920 | 10.957,050 | 9.546,560 | 10.078,900 | 9.456,180 | 9.979,850 | 9.591,660 | 9.804,550 | 10.093,050 | 10.460,440 | 10.972,230 | 121.110,350 | 331,809 | 505.167 | 517.804 | 0,657 |
| 2002 | 11.112,710 | 9.576,010 | 9.978,220 | 10.063,150 | 9.468,110 | 8.948,380 | 10.105,360 | 9.285,150 | 9.980,000 | 9.921,540 | 10.340,820 | 11.625,170 | 120.404,620 | 329,876 | 521.888 | 534.943 | 0,632 |
| 2003 | 10.548,150 | 9.248,930 | 8.858,270 | 8.778,980 | 8.718,440 | 8.195,400 | 8.852,770 | 8.617,420 | 9.145,580 | 9.274,360 | 9.700,000 | 11.066,710 | 111.005,010 | 304,123 | 539.162 | 552.649 | 0,564 |
| 2004 | 10.242,480 | 9.059,780 | 9.936,110 | 9.034,230 | 8.832,290 | 8.671,690 | 8.932,940 | 8.739,770 | 9.396,510 | 9.078,810 | 9.481,050 | 10.937,780 | 112.343,440 | 307,790 | 556.133 | 570.042 | 0,553 |
| 2005 | 10.604,420 | 8.714,770 | 9.532,080 | 8.856,440 | 8.667,410 | 8.501,200 | 8.445,790 | 8.958,270 | 9.497,410 | 9.333,480 | 9.479,440 | 11.682,230 | 112.272,920 | 307,597 | 570.982 | 585.262 | 0,539 |
| 2006 | 10.749,250 | 8.966,870 | 10.860,140 | 9.185,050 | 9.749,250 | 9.166,990 | 9.428,660 | 9.777,380 | 9.973,760 | 10.406,580 | 10.829,320 | 11.978,050 | 121.093,100 | 331,762 | 585.720 | 600.368 | 0,566 |
| 2007 | 11.940,910 | 9.728,200 | 10.209,380 | 9.252,250 | 9.827,990 | 9.387,370 | 9.881,150 | 9.505,840 | 9.926,130 | 10.864,480 | 11.109,450 | 11.501,550 | 123.134,700 | 337,355 | 593.526 | 608.369 | 0,568 |
| 2008 | 11.449,120 | 10.820,970 | 11.008,960 | 10.683,390 | 10.102,230 | 9.775,660 | 10.185,780 | 10.083,600 | 10.937,510 | 11.261,500 | 11.267,500 | 13.118,410 | 130.694,630 | 358,067 | 607.245 | 622.441 | 0,590 |
| 2009 | 12.704,330 | 11.078,870 | 11.927,490 | 10.879,450 | 10.874,860 | 11.028,590 | 11.409,420 | 10.929,890 | 10.924,370 | | | | 101.755,290 | 278,782 | | | #DIV/0! |
| MÉDIA MENSAL | 9.890,267 | 8.761,117 | 9.241,721 | 8.558,305 | 8.583,064 | 8.339,153 | 8.817,874 | 9.064,333 | 9.504,606 | 9.569,948 | 9.787,383 | 11.064,350 | | | | | |

* Fonte: BDI 2008 / PMU

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia - www.uberlandia.mg.gov.br (acesso em 24/11/2009)



Figura 39: Execução da camada de cobertura intermediária de argila e resíduos de construção civil.

6.3.12. *Sistemas de drenagem*

Drenagem Pluvial

A drenagem pluvial é feita através de canaletas tipo meia cana, de 30 cm de largura, de concreto, localizadas em torno de cada plataforma já finalizada do aterro. Após a drenagem segue para a rede pluvial.



Figura 40: Caneletas para drenagem pluvial.

Drenagem de Biogás

Os drenos de biogás são constituídos de tubos de concreto perfurados envoltos por uma camada de pedras de mão (Figura 41). Os drenos estão dispostos a cerca de 50 metros de distância um do outro, e estendem-se da base até a superfície do aterro, sendo prolongados à medida que a cota do aterro é aumentada.

Cada dreno de gás se estende até aproximadamente um metro acima da camada de impermeabilização, sendo que nesse trecho, o tubo de concreto não é perfurado.

Um queimador é instalado no topo de cada dreno. Na área de disposição de resíduos existem aproximadamente 150 drenos, dos quais 45 apresentam fluxo de gás suficiente para mantê-los acesos permanentemente.



Figura 41: Drenos de gás com queimador, dispostos no aterro

Drenagem e Tratamento de Lixiviados

O chorume é coletado por drenos horizontais e verticais no interior do aterro, fluindo por gravidade até um sistema de tratamento primário, consistindo em um reator anaeróbio (Figura 42 e Figura 43).

O aterro produz entre 86,4 e 200 m³/dia de chorume, variando conforme a estação seca ou chuvosa. A distância média entre os drenos é de 30 m.

O chorume pré-tratado é conduzido até a estação de tratamento de esgotos Uberabinha, operada pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de o aterro recebe o lodo vindo da estação.



Figura 42: Tratamento de percolado.



Figura 43: Reator anaeróbico para tratamento do percolado.

7. ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS DE ATERRO

Para os aterros sanitários em estudo, segue uma análise das alternativas de aproveitamento energético:

- uso direto em boilers, fornos, secadores, aquecedores ou outros equipamentos de aproveitamento térmico: Não existem potenciais consumidores diretos do LFG dentro do raio de distância de 3 km, considerado como economicamente viável pelo Banco Mundial (2003);
 - geração de vapor em caldeiras: Não existem potenciais consumidores do vapor dentro do raio de distância de 3 km, considerado como economicamente viável pelo Banco Mundial (2003);
-

- evaporação de chorume: no aterro sanitário de Contagem e de Uberlândia o lixiviado é encaminhado para tratamento em ETEs das empresas de operação de água e esgoto COPASA e DEMAÉ respectivamente, sem custos para o município. Isso garante que o lixiviado do aterro receba tratamento adequado sem ônus algum ao município. Já no aterro sanitário de Betim, o tratamento do lixiviado ocorre em um sistema biológico natural, o qual possui baixo custo operacional e necessidade de intervenção humana, e que atinge os padrões necessários para descarte do efluente no corpo hídrico receptor, não justificando qualquer investimento ou emprego de energia para sua evaporação;
- uso veicular do LFG: é uma alternativa pouco atraente, devido aos custos associados ao tratamento do LFG para remoção de impurezas e aumento de seu valor de combustível e os custos de compressão, conforme apresentado na Tabela 3: Custos de produção de CNG. Detaca-se que os custos de produção, em R\$/m³ de CNG, variam entre R\$8,83/m³ e R\$4,33/m³, para plantas com capacidade variando entre 421 m³ de LFG/h a 8.496 m³ de LFG/h para um valor de venda de GNV no mercado, conforme GASMIG (2009) de R\$ 0,54 por m³.

Com base nesta análise de alternativas, será considerado o aproveitamento energético de biogás por meio da geração de energia elétrica.

8. IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE METANO E POTENCIAL ENERGÉTICO PARA OS ATERROS SANITÁRIOS EM ANÁLISE

Apresentamos a seguir para a avaliação do potencial de geração de metano e do potencial energético de cada um como base para a seleção de qual aterro será objeto final de uma análise de viabilidade econômica na parte 2 do estudo.

Para estimar o potencial de geração biogás em cada aterro, inicialmente foi projetada a quantidade de resíduos a serem destinadas ao aterro até o final da sua vida útil. A partir dos registros da quantidade de RSU destinadas ao aterro e das projeções calculadas, foi empregada a metodologia de linha de base apresentada na ferramenta metodológica "*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*" (Versão 04). O cálculo das emissões é baseado em um modelo de decaimento de primeira ordem que distingue diferentes tipos de resíduos (j), com respectivamente diferentes taxas de decaimento (k_j) e com diferentes frações de carbono orgânico degradável (DOC_j). O modelo calcula a geração de metano baseado nas correntes de resíduos ($W_{j,x}$), dispostos em cada ano.

A metodologia foi escolhida em função de ser uma metodologia consolidada junto à UNFCCC aplicável para determinação da quantidade de metano emitida pela disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro.

Para estimar o potencial de energia elétrica foi considerada a vazão de CH_4 disponível em cada aterro, por ano (calculada conforme metodologia referida), multiplicada pelo poder calorífico inferior do combustível e pela eficiência de conversão, adotando-se os fatores de conversão de unidades apropriados.

O poder calorífico do LFG foi estimado em função apenas da fração de CH_4 presente no mesmo, descartando o poder calorífico de outros combustíveis que por ventura possam estar presentes em pequenas proporções, no LFG, como propano e butano.

8.1. Projeção da geração de resíduos

Para projetar a geração de resíduos em cada ano, até o fim da vida útil do aterro, foi considerada a taxa de geração per capita atual e a projeção da população do município, obtida para cada ano conforme o método de tendência de crescimento demográfico utilizado pelo IBGE, que tem como princípio fundamental a subdivisão

de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em n áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores conforme metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros (MADEIRA; SIMÕES, 1972 apud IBGE, 2008b).

Considerando:

- A população urbana no município levantada pelo IBGE nos censos demográficos de 2000 e contagem populacional de 2007;
- Taxa de geração de resíduos per capita;
- As projeções de população para o Brasil, obtidas pelo método das componentes demográficas, elaboradas por IBGE (2008a).

Assim, uma área maior cuja população estimada em um momento t é $P(t)$. Subdividida esta área maior em n áreas menores, cuja população de uma determinada área i , na época t , é:

$$P_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Desta forma, tem-se que:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (2)$$

Decompondo-se, por hipótese, a população desta área i , em dois termos: $a_i P(t)$, que depende do crescimento da população da área maior, e b_i . O coeficiente a_i é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e b_i é denominado coeficiente linear de correção. Como consequência, tem-se que:

$$P_i(t) = a_i \cdot P(t) + b_i \quad (3)$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois censos demográficos. Sejam t_0 e t_1 , respectivamente, as datas dos dois censos. Ao substituir-se t_0 e t_1 na equação acima, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i \cdot P(t_0) + b_i \quad (4)$$

$$P_i(t_1) = a_i \cdot P(t_1) + b_i \quad (5)$$

Através da resolução do sistema acima, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (6)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i \cdot P(t_0) \quad (7)$$

Dessa forma, para as estimativas anuais de população urbana nos municípios foi considerado nas expressões anteriores:

- época t_0 : 1º de agosto de 2000 (censo demográfico);
- época t_1 : 1º de abril de 2007 (contagem populacional);
- época t : 1º de julho do ano t (ano estimado).

Assim, $P_i(t_0)$ representa a população da área i , referente ao ano de 2000, e $P_i(t_1)$ a população da área i , referente ao ano de 2007.

A partir da aplicação do modelo descrito anteriormente, foram estimadas as populações ao longo dos anos do estado de Minas Gerais, considerando-se como área maior o Brasil, cuja projeção foi elaborada pelo Método das Componentes Demográficas (IBGE, 2008b), e como área menor o estado de Minas Gerais.

Essa metodologia foi empregada para projeção das populações dos municípios de Betim e Contagem. Para o município de Uberlândia foi empregada diretamente a expectativa de quantidade de resíduos a ser recebida no aterro, estimada em um estudo realizado pela Limpebras, considerando a taxa de crescimento da geração observada nos últimos anos.

8.2. Potencial de geração de metano

Para estimar o valor de $MD_{Projeto,y}$, foi utilizada a versão 04 da metodologia “*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*”, modelo da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), conforme descrito abaixo:

8.2.1. Cálculo das emissões do aterro

A quantidade de CH_4 produzido no ano y ($BE_{CH_4,SWDS,y}$) é calculada conforme equação 8 apresentada a seguir:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi (1-f) * GWP_{CH_4} * (1-OX) * 16/12 * F * COD_f * FCM * \sum W_{j,x} * COD_j * e^{-kj(y-x)} * (1-e^{-kj}) \quad (8)$$

Sendo:

$BE_{CH_4, SWDS, y}$ = Emissões de metano durante o período de atividade do projeto (tCO₂e);

ϕ = Fator de correção do modelo devido à incertezas;

f = Fração de metano capturada e queimada nos aterros de RSU;

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do metano pelo período de 100 anos; resíduo orgânico tipo j , evitado de ser disposto em aterros no ano x (ton);

COD_j = Fração de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j . Seu valor está relacionado à com

OX = Fator de oxidação;

F = Fração de metano no biogás de aterro;

COD_f = Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe;

FCM = Fator de correção do metano (Varia em função do tipo de local onde os resíduos seriam dispostos, devendo ser considerado igual a 1,0 para o caso dos aterros);

$W_{j,x}$ = Quantidade de posição orgânica dos resíduos e depende do teor de papéis/papelões, folhas, têxteis, madeiras e restos de comida;

k_j = Taxa de decaimento para o resíduo tipo j ;

x = Ano durante o período de crédito: x vai do primeiro ano do primeiro período de creditação;

($x = 1$) ao ano y para o qual são calculadas as emissões evitadas;

y = Ano para o qual são calculadas as emissões evitadas.

Os parâmetros fixos empregados na equação 8, adotados conforme ferramenta metodologica “*Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*”, e são apresentados na Tabela 14.

Estes parâmetros básicos foram considerados os mesmos para os três aterros tomando em consideração que a qualidade de operação, grau de compactação, nível de cobertura e de sistemas de drenagem de lixiviados e gás são similares para os três os três aterros.

Tabela 14: Parâmetros fixos para cálculo das emissões de linha de base.

| Parâmetro | Variável | Valor |
|--|-------------------------------|-------|
| Fator de correção do modelo | ϕ | 90% |
| Fração de metano capturada e queimada nos aterros | f | 0,0* |
| Potencial de aquecimento global do metano [tCO ₂ e/tCH ₄] | GWP _{CH₄} | 21 |
| Fator de Oxidação: cobertura por solo ou composto | OX | 0,1 |
| Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe | COD _f | 50% |
| Fator de correção de metano: disposição anaeróbia dos RSU | FCM | 1 |

*A ferramenta metodológica estima a geração de metano na linha de base ajustada pelo fator (f) que considera a fração de gás queimada na linha de base por motivos de legislação, contratuais ou de prevenção de odores e acidentes. Aqui, como o objetivo é estimar a quantidade de CH₄ gerada no aterro, a fração de metano capturada e queimada nos aterros (f) foi assumida igual a zero. Esse parâmetro será considerado no Relatório 2 para o cálculo da redução de emissões em função da atividade de projeto.

A partir da quantidade de CH₄ produzida em cada ano, se pode estimar a quantidade de metano passível de ser capturada, considerando uma taxa de recuperação (TR).

A TR representa a fração de todo biogás gerado no aterro, que pode ser recuperada.

$$MD_{\text{Project},y} = BE_{\text{CH}_4,\text{SWDS},y} * TR \quad (9)$$

Onde:

$MD_{Project,y}$ = Quantidade de CH_4 que pode ser coletada/destruída no ano y ;

TR = Taxa de recuperação de CH_4 .

Considerando a massa específica do metano nas condições padrão de temperatura e pressão, se pode estimar a vazão de LFG disponível para aproveitamento energético, em cada aterro pelo emprego da equação 10.

$$LFG \left[\frac{Nm^3}{h} \right] = \frac{MD_{Project,y}}{\rho_{CH_4} \cdot GWP_{CH_4} \cdot 1} \cdot \frac{1}{8760} \cdot \frac{1}{\%CH_4} \quad (10)$$

Onde:

$LFG \left[\frac{Nm^3}{h} \right]$ = Vazão de LFG, em Nm^3/h ;

ρ_{CH_4} = Massa específica do CH_4 , em t_{CH_4}/m^3 ;

$\rho_{CH_4} = 0,0007168 t_{CH_4}/m^3$

8760 = Número de horas em um ano de 365 dias, [h/ano];

$\%CH_4$ = Fração de CH_4 no LFG.

8.3. Potencial de geração de energia

8.3.1. Potência disponível

Considerando a vazão de CH₄ disponível em cada aterro, por ano, multiplicada pelo poder calorífico inferior do CH₄ e pela eficiência de conversão e adotados os fatores de conversão de unidades específicos.

De modo que a potência disponível em cada ano pode ser obtida pela aplicação da equação 11:

$$P = [\text{LFG [Nm}^3/\text{h]} \cdot (\text{PCI}_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4}) \cdot \eta] / (860.000) \quad (11)$$

Onde,

P = Potência disponível a cada ano (MW);

PCI_{CH₄} = Poder calorífico inferior do CH₄;

PCI_{CH₄} = 11.954 kcal/kg;

η = Eficiência de conversão (%);

860.000 = Fator de conversão de unidades.

A eficiência do motor para a combustão interna do biogás adotada foi de 32%.

8.3.2. *Potencial de geração de energia elétrica*

O potencial de geração de energia elétrica $EG_{m,y}$ estimado com base na máxima potência disponível em cada ano é calculada conforme segue:

$$EG_{,y} = P \cdot 8760 \quad (12)$$

Onde:

$EG_{,y}$ é o potencial de geração de energia elétrica no ano y (MWh);

P é a Potência disponível a cada ano (MW);

8760 é o número de horas em um ano com 365 dias.

8.4. **Aterro sanitário de Betim**

8.4.1. *Projeção de geração de RSU em Betim*

Estas estimativas foram obtidas, pela aplicação do modelo de tendência, ressaltando-se que o município foi considerado como uma área menor em relação ao estado de Minas Gerais.

Desta forma, foram obtidas as populações urbanas estimadas, em 1º de julho do ano t , e estimada a quantidade de resíduos gerada para o mesmo ano t (Tabela 15).

Tabela 15: Projeção da geração de resíduos no município de Betim até o fechamento do aterro.

| Ano | População projetada (hab.) | Taxa de geração per capita (kg/hab.-dia) | Geração de resíduos (t) |
|------|----------------------------|--|-------------------------|
| 2009 | 441.748 | 0,46 | 73.760 |
| 2010 | 448.157 | 0,46 | 74.830 |
| 2011 | 458.056 | 0,46 | 76.483 |
| 2012 | 467.446 | 0,46 | 78.051 |
| 2013 | 476.384 | 0,46 | 79.543 |

8.4.2. Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Betim

Empregando a equação 8, adotando-se os valores apresentados na Tabela 14, Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 para os parâmetros da equação, foi estimada a quantidade de CH₄ gerada em cada ano.

Tabela 16: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Betim.

| Parâmetro | Variável | Valor |
|--------------------------------------|----------|-------|
| Fração de metano no biogás de aterro | F | 58% |

Fonte: Prefeitura Municipal de Betim

Tabela 17: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - COD_j (Informações em base úmida) – Betim.

| Item | Restos de alimentos | Papel Papelão | Madeira | Têxtil | Plástico Vidro Metal | Outros |
|---|---------------------|---------------|---------|--------|----------------------|--------|
| Composição dos resíduos* | 56,50% | 14,04% | 0,00% | 0,96% | 16,22% | 12,28% |
| COD _j (valores sugeridos por UNFCCC, 2008) | 15% | 40% | 43% | 24% | 0% | 0% |

Fonte: *Prefeitura Municipal de Betim e UNFCC (2008).

A composição dos resíduos apresentada na Tabela 17 é baseada nos dados fornecidos pela gerência do aterro, apresentados na Tabela 4, considerando que os resíduos de banheiro são compostos por 30% de matéria orgânica e 70% de papel.

Tabela 18: Dados climáticos do município de Betim.

| | |
|--|------|
| T_{am} – Temperatura anual média (°C) | 20 |
| P_{am} – Precipitação anual média (mm) | 1600 |
| I_{aridez} – Índice de aridez ⁽¹⁾ | 5 |

⁽¹⁾Fonte: http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity_index.gif&Access=public

Tabela 19: Fator de decaimento (k) - Betim.

| Tipos de resíduos | Restos de alimentos | Papel e Papelão | Madeira | Têxtil | Resíduos de jardins |
|--|---------------------|-----------------|---------|--------|---------------------|
| $T_{am} > 20^{\circ}\text{C}$ e $P_{am} > 1000$ mm | 0,4 | 0,07 | 0,035 | 0,07 | 0,17 |

Fonte: UNFCCC (2009).

Tabela 20: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Betim.

| Tipo de resíduo | W_j | COD_j | k_j |
|----------------------|--------|---------|-------|
| Restos de alimentos | 56,50% | 15% | 0,4 |
| Papel e Papelão | 14,04% | 40% | 0,07 |
| Madeira | 0,00% | 43% | 0,035 |
| Têxtil | 0,96% | 24% | 0,07 |
| Inorgânicos e outros | 28,50% | 0% | - |

Fonte: UNFCCC (2009).

Empregando a equação 9, considerando uma taxa de recuperação de 70%, ou seja, que 70% do gás gerado pela disposição dos RSU no aterro é passível de ser captado, se obtêm a quantidade de LFG que pode ser coletada no aterro, em cada ano.

Considerando o percentual de CH_4 no LFG gerado no aterro e empregando a equação 10, se obtêm as vazões de CH_4 no aterro, para cada ano.

Por fim a potência e energia disponíveis em cada ano foram obtidas pela aplicação das equações 11 e 12, respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 21, a seguir.

Tabela 21: Resultados obtidos para o aterro municipal de Betim.

| Ano | Emissões de CH ₄ geradas (tCO ₂ e) | Emissões de CH ₄ coletadas (tCO ₂ e) | Vazão de LFG gerada (m ³ /h) | Vazão de LFG captada (m ³ /h) | Vazão de CH ₄ captada (m ³ /h) | Potência disponível (MW) | Potencial de geração de energia elétrica (MWh) |
|-------|--|--|---|--|--|--------------------------|--|
| 2010 | 46.820 | 32.774 | 618 | 432 | 249 | 0,79 | 6.886 |
| 2011 | 50.259 | 35.181 | 663 | 464 | 267 | 0,84 | 7.392 |
| 2012 | 53.449 | 37.414 | 705 | 493 | 284 | 0,90 | 7.861 |
| 2013 | 56.419 | 39.493 | 744 | 521 | 300 | 0,95 | 8.298 |
| 2014 | 48.691 | 34.083 | 642 | 450 | 258 | 0,82 | 7.161 |
| 2015 | 42.163 | 29.514 | 556 | 389 | 224 | 0,71 | 6.201 |
| 2016 | 36.639 | 25.647 | 483 | 338 | 195 | 0,62 | 5.389 |
| 2017 | 31.955 | 22.369 | 421 | 295 | 170 | 0,54 | 4.700 |
| 2018 | 27.975 | 19.582 | 369 | 258 | 149 | 0,47 | 4.114 |
| 2019 | 24.584 | 17.209 | 324 | 227 | 131 | 0,41 | 3.616 |
| 2020 | 21.688 | 15.182 | 286 | 200 | 115 | 0,36 | 3.190 |
| 2021 | 19.208 | 13.446 | 253 | 177 | 102 | 0,32 | 2.825 |
| 2022 | 17.079 | 11.955 | 225 | 158 | 91 | 0,29 | 2.512 |
| 2023 | 15.244 | 10.670 | 201 | 141 | 81 | 0,26 | 2.242 |
| 2024 | 13.657 | 9.560 | 180 | 126 | 73 | 0,23 | 2.009 |
| 2025 | 12.281 | 8.597 | 162 | 113 | 65 | 0,21 | 1.806 |
| 2026 | 11.084 | 7.759 | 146 | 102 | 59 | 0,19 | 1.630 |
| 2027 | 10.037 | 7.026 | 132 | 93 | 53 | 0,17 | 1.476 |
| 2028 | 9.119 | 6.384 | 120 | 84 | 48 | 0,15 | 1.341 |
| 2029 | 8.311 | 5.818 | 110 | 77 | 44 | 0,14 | 1.222 |
| 2030 | 7.597 | 5.318 | 100 | 70 | 40 | 0,13 | 1.117 |
| 2031 | 6.963 | 4.874 | 92 | 64 | 37 | 0,12 | 1.024 |
| 2032 | 6.399 | 4.479 | 84 | 59 | 34 | 0,11 | 941 |
| 2033 | 5.894 | 4.126 | 78 | 54 | 31 | 0,10 | 867 |
| 2034 | 5.441 | 3.809 | 72 | 50 | 29 | 0,09 | 800 |
| 2035 | 5.033 | 3.523 | 66 | 46 | 27 | 0,08 | 740 |
| 2036 | 4.664 | 3.265 | 62 | 43 | 25 | 0,08 | 686 |
| 2037 | 4.329 | 3.030 | 57 | 40 | 23 | 0,07 | 637 |
| 2038 | 4.025 | 2.817 | 53 | 37 | 21 | 0,07 | 592 |
| 2039 | 3.747 | 2.623 | 49 | 35 | 20 | 0,06 | 551 |
| 2040 | 3.492 | 2.445 | 46 | 32 | 19 | 0,06 | 514 |
| Total | 614.247 | 429.973 | - | - | - | - | - |

Na Figura 44 são apresentadas as curvas de LFG gerado pela disposição dos RSU no aterro, potencial de LFG e CH₄ e potência disponível no aterro sanitário de Betim.

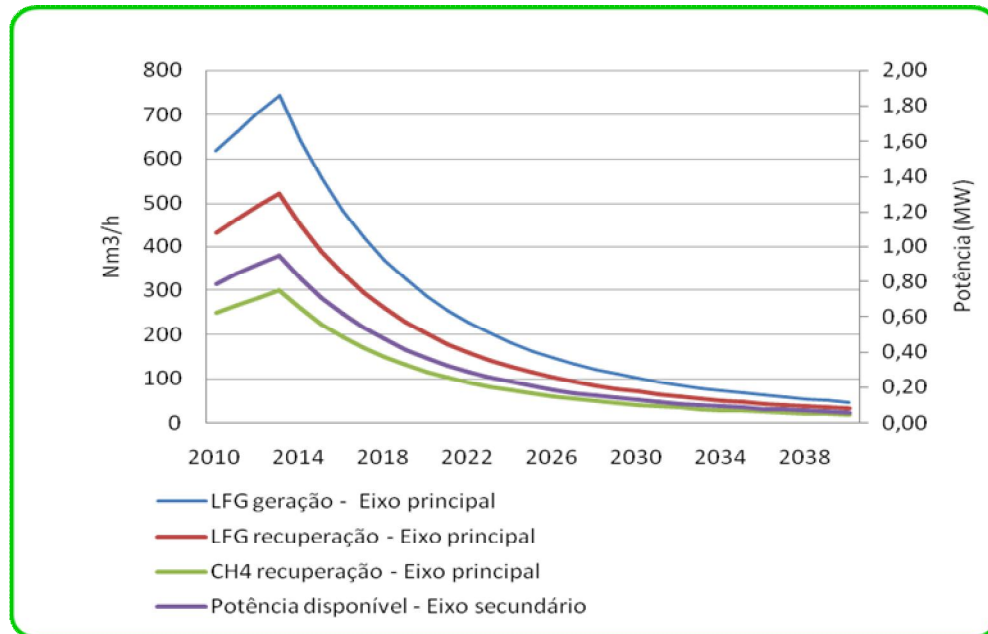


Figura 44: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Betim.

Observa-se que a curva de potência disponível é simétrica e proporcional a geração de LFG e disponibilidade de CH₄ no aterro sanitário, iniciando com uma potência de 0,79 MW chegando ao máximo de 0,95 MW no encerramento do aterro e decaindo exponencialmente com o passar dos anos.

8.5. Aterro sanitário de Contagem

8.5.1. Projeção de geração de RSU em Contagem

Estas estimativas foram obtidas, pela aplicação do modelo de tendência, ressaltando-se que o município foi considerado como uma área menor em relação ao estado de Minas Gerais. Desta forma, foram obtidas as populações urbanas estimadas, em 1º de julho do ano t, e estimada a quantidade de resíduos gerada para o mesmo ano t (Tabela 22).

Tabela 22: Projeção da geração de resíduos no município de Contagem até o fechamento do aterro.

| Ano | População projetada (hab.) | Taxa de geração percapita (kg/hab.-dia) | Geração de resíduos (t) |
|------|----------------------------|---|-------------------------|
| 2009 | 625.393 | 0,88 | 200.860 |
| 2010 | 635.688 | 0,88 | 204.166 |
| 2011 | 643.784 | 0,88 | 206.766 |
| 2012 | 651.463 | 0,88 | 209.233 |
| 2013 | 658.774 | 0,88 | 211.581 |
| 2014 | 665.757 | 0,88 | 213.823 |
| 2015 | 672.451 | 0,88 | 215.973 |
| 2016 | 678.896 | 0,88 | 218.043 |
| 2017 | 685.119 | 0,88 | 220.042 |
| 2018 | 691.140 | 0,88 | 221.976 |
| 2019 | 696.972 | 0,88 | 223.849 |

8.5.2. Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Contagem

Empregando a equação 8, adotando os valores apresentados na Tabela 14, Tabela 23, Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27 para os parâmetros da equação, foi estimada a quantidade de CH₄ gerada em cada ano.

Tabela 23: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Contagem.

| Parâmetro | Variável | Valor |
|--------------------------------------|----------|-------|
| Fração de metano no biogás de aterro | F | 50% |

Fonte: Prefeitura Municipal de Contagem

Tabela 24: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - COD_j (Informações em base úmida) – Contagem.

| Item | Restos de alimentos | Papel Papelão | Madeira | Têxtil | Plástico Vidro Metal | Outros |
|---|---------------------|---------------|---------|--------|----------------------|--------|
| Composição dos resíduos* | 54,0% | 11,5% | 0,0% | 3,0% | 13,0% | 18,5% |
| COD _j (valores sugeridos por UNFCCC, 2008) | 15% | 40% | 43% | 24% | 0% | 0% |

Fonte: *Prefeitura Municipal de Contagem e UNFCCC (2008).

Tabela 25: Dados climáticos Do município de Contagem.

| | |
|---|--------|
| T _{am} – Temperatura anual média (°C) | 21 |
| P _{am} – Precipitação anual média (mm) | 1491,3 |
| I _{aridez} – Índice de aridez ⁽¹⁾ | 5 |

⁽¹⁾ Fonte: http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity_index.gif&Access=public

Tabela 26: Fator de decaimento (k) - Contagem.

| Tipos de resíduos | Restos de alimentos | Papel Papelão | Madeira | Têxtil | Resíduos de jardins |
|--|---------------------|---------------|---------|--------|---------------------|
| T _{am} > 20°C e P _{am} > 1000 mm | 0,4 | 0,07 | 0,035 | 0,07 | 0,17 |

Fonte: UNFCCC (2009).

Tabela 27: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Contagem.

| Tipo de resíduo | W_j | COD_j | k_j |
|----------------------|-------|---------|-------|
| Restos de alimentos | 54,0% | 15% | 0,4 |
| Papel e Papelão | 11,5% | 40% | 0,07 |
| Madeira | 0,0% | 43% | 0,035 |
| Têxtil | 3,0% | 24% | 0,07 |
| Inorgânicos e outros | 31,5% | 0% | - |

Fonte: UNFCCC (2009).

Empregando a equação 9, considerando uma taxa de recuperação de 70%, obtêm-se a quantidade de LFG que pode ser coletada no aterro, em cada ano.

Considerando o percentual de CH_4 no LFG gerado no aterro e empregando a equação 10, obtêm-se as vazões de biogás no aterro, para cada ano.

Por fim a potência e energia disponíveis em cada ano foram obtidas pela aplicação das equações 11 e 12, respectivamente.

Os resultados são apresentados na Tabela 28, a seguir.

Tabela 28: Resultados obtidos para o aterro municipal de Contagem.

| Ano | Emissões de CH_4 geradas (tCO ₂ e) | Emissões de CH_4 coletadas (tCO ₂ e) | Vazão de LFG gerada (m ³ /h) | Vazão de LFG captada (m ³ /h) | Vazão de CH_4 (m ³ /h) | Potência disponível (MW) | Potencial de geração de Energia elétrica (MWh) |
|------|---|---|---|--|-------------------------------------|--------------------------|--|
| 2010 | 142.310 | 99.617 | 2.158 | 1.511 | 755 | 2,39 | 20.936 |
| 2011 | 148.306 | 103.814 | 2.249 | 1.575 | 787 | 2,49 | 21.812 |
| 2012 | 153.564 | 107.495 | 2.329 | 1.630 | 815 | 2,58 | 22.601 |
| 2013 | 158.271 | 110.790 | 2.401 | 1.680 | 840 | 2,66 | 23.302 |
| 2014 | 162.556 | 113.789 | 2.466 | 1.726 | 863 | 2,73 | 23.915 |
| 2015 | 166.508 | 116.555 | 2.525 | 1.768 | 884 | 2,80 | 24.528 |
| 2016 | 170.192 | 119.135 | 2.581 | 1.807 | 903 | 2,86 | 25.054 |
| 2017 | 173.656 | 121.559 | 2.634 | 1.844 | 922 | 2,92 | 25.579 |
| 2018 | 176.932 | 123.852 | 2.684 | 1.879 | 939 | 2,97 | 26.017 |
| 2019 | 180.046 | 126.032 | 2.731 | 1.912 | 956 | 3,02 | 26.455 |
| 2020 | 136.087 | 95.261 | 2.064 | 1.445 | 722 | 2,28 | 19.973 |
| 2021 | 105.579 | 73.905 | 1.601 | 1.121 | 560 | 1,77 | 15.505 |
| 2022 | 84.159 | 58.911 | 1.276 | 894 | 447 | 1,41 | 12.352 |
| 2023 | 68.895 | 48.227 | 1.045 | 731 | 366 | 1,16 | 10.162 |

| Ano | Emissões de CH ₄ geradas (tCO ₂ e) | Emissões de CH ₄ coletadas (tCO ₂ e) | Vazão de LFG gerada (m ³ /h) | Vazão de LFG captada (m ³ /h) | Vazão de CH ₄ (m ³ /h) | Potência disponível (MW) | Potencial de geração de Energia elétrica (MWh) |
|-------|--|--|---|--|--|--------------------------|--|
| 2024 | 57.820 | 40.474 | 877 | 614 | 307 | 0,97 | 8.497 |
| 2025 | 49.609 | 34.726 | 752 | 527 | 263 | 0,83 | 7.271 |
| 2026 | 43.371 | 30.360 | 658 | 460 | 230 | 0,73 | 6.395 |
| 2027 | 38.506 | 26.954 | 584 | 409 | 204 | 0,65 | 5.694 |
| 2028 | 34.607 | 24.225 | 525 | 367 | 184 | 0,58 | 5.081 |
| 2029 | 31.399 | 21.979 | 476 | 333 | 167 | 0,53 | 4.643 |
| 2030 | 28.694 | 20.086 | 435 | 305 | 152 | 0,48 | 4.205 |
| 2031 | 26.364 | 18.455 | 400 | 280 | 140 | 0,44 | 3.854 |
| 2032 | 24.320 | 17.024 | 369 | 258 | 129 | 0,41 | 3.592 |
| 2033 | 22.500 | 15.750 | 341 | 239 | 119 | 0,38 | 3.329 |
| 2034 | 20.862 | 14.603 | 316 | 221 | 111 | 0,35 | 3.066 |
| 2035 | 19.373 | 13.561 | 294 | 206 | 103 | 0,33 | 2.891 |
| 2036 | 18.010 | 12.607 | 273 | 191 | 96 | 0,30 | 2.628 |
| 2037 | 16.757 | 11.730 | 254 | 178 | 89 | 0,28 | 2.453 |
| 2038 | 15.600 | 10.920 | 237 | 166 | 83 | 0,26 | 2.278 |
| 2039 | 14.530 | 10.171 | 220 | 154 | 77 | 0,24 | 2.102 |
| 2040 | 13.537 | 9.476 | 205 | 144 | 72 | 0,23 | 2.015 |
| Total | 2.502.918 | 1.752.043 | - | - | - | - | - |

Na Figura 45 são apresentadas as curvas de LFG gerado pela disposição dos RSU no aterro, potencial de LFG e CH₄ e potência disponível no aterro sanitário de Contagem.

Observa-se que a curva de potência disponível é simétrica e proporcional a geração de LFG e disponibilidade de CH₄ no aterro sanitário, iniciando com uma potência de 2,39 MW chegando ao máximo de 3,02 MW no encerramento do aterro e decaindo exponencialmente com o passar dos anos.

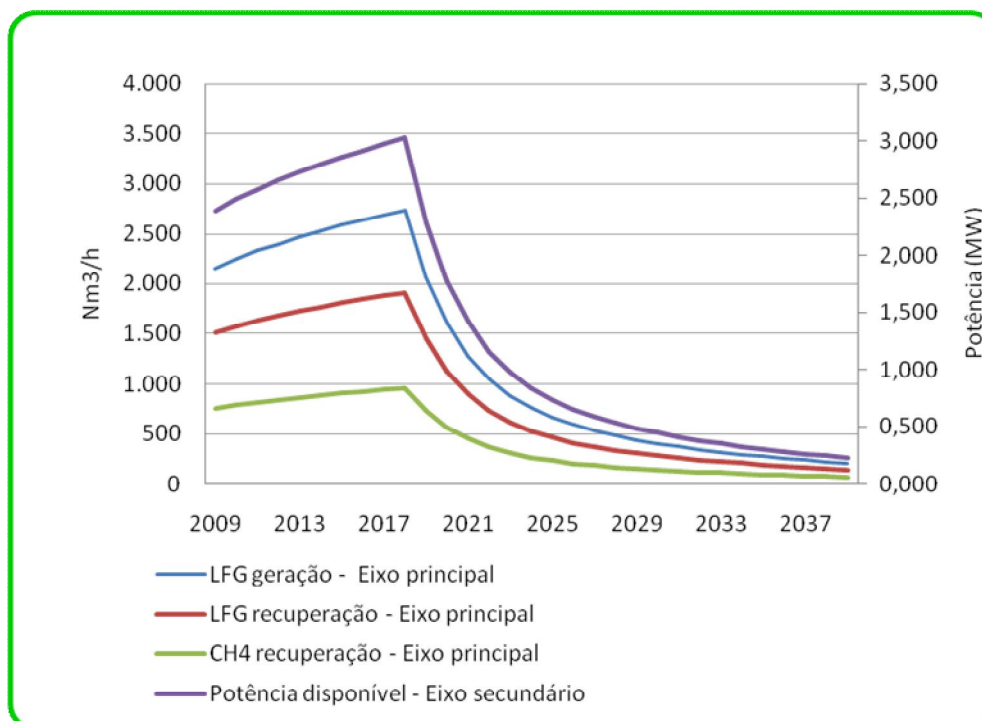


Figura 45: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Contagem.

8.6. Aterro sanitário de Uberlândia

8.6.1. Projeção de geração de RSU em Uberlândia

A expectativa de destinação de resíduos ao aterro sanitário de Uberlândia nos anos de 2009 e 2010 foi adotada com base nos estudos realizados pela empresa Limpebras (Tabela 29).

Tabela 29: Projeção da geração de resíduos no município de Uberlândia até o fechamento do aterro.

| Ano | Geração de resíduos (t) |
|------|-------------------------|
| 2009 | 139.866 |
| 2010 | 77.514 |

Fonte: Adaptado de Limpebras (2009).

8.6.2. Potencial de geração de CH₄ e energia no aterro de Uberlândia

Empregando a equação 8, adotando os valores apresentados na Tabela 14, Tabela 30, Tabela 31, Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34 para os parâmetros da equação, foi estimada a quantidade de CH₄ gerada em cada ano.

Tabela 30: Fração de metano no LFG gerado no aterro de Uberlândia.

| Parâmetro | Variável | Valor |
|--------------------------------------|----------|-------|
| Fração de metano no biogás de aterro | F | 56% |

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia.

Tabela 31: Composição dos resíduos e fração de carbono orgânico degradável - COD_j (Informações em base úmida) – Uberlândia.

| Item | Restos de alimentos | Papel Papelão | Madeira | Têxtil | Plástico Vidro Metal | Outros |
|---|---------------------|---------------|---------|--------|----------------------|--------|
| Composição dos resíduos* | 47,90% | 11,20% | 9,50% | 2,70% | 17,00% | 11,50% |
| COD _j (valores sugeridos por UNFCCC, 2008) | 15% | 40% | 43% | 24% | 0% | 0% |

Fonte: *Prefeitura Municipal de Uberlândia e UNFCCC (2008).

Tabela 32: Dados climáticos do município de Uberlândia.

| | |
|---|------|
| T _{am} – Temperatura anual média (°C) | 21 |
| P _{am} – Precipitação anual média (mm) ¹⁾ | 1600 |
| I _{aridez} – Índice de aridez ⁽¹⁾ | 5 |

⁽¹⁾Fonte: http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity_index.gif&Access=public

Tabela 33: Fator de decaimento (k) - Uberlândia.

| Tipos de resíduos | Restos de alimentos | Papel e Papelão | Madeira | Têxtil | Resíduos de jardins |
|--|---------------------|-----------------|---------|--------|---------------------|
| T _{am} > 20°C e P _{am} > 1000 mm | 0,4 | 0,07 | 0,035 | 0,07 | 0,17 |

Fonte: UNFCCC (2009).

Tabela 34: Parâmetros para cálculo das emissões no aterro de Uberlândia.

| Tipo de resíduo | W _j | COD _j | k _j |
|----------------------|----------------|------------------|----------------|
| Restos de alimentos | 47,90% | 15% | 0,4 |
| Papel e Papelão | 11,20% | 40% | 0,07 |
| Madeira | 9,50% | 43% | 0,035 |
| Têxtil | 2,70% | 24% | 0,07 |
| Inorgânicos e outros | 28,50% | 0% | - |

Fonte: UNFCCC (2009).

Empregando a equação 9, considerando uma taxa de recuperação de 70%, obtêm-se a quantidade de LFG que pode ser coletada no aterro, em cada ano.

Considerando o percentual de CH₄ no LFG gerado no aterro e empregando a equação 10, obtêm-se as vazões de biogás no aterro, para cada ano.

Por fim a potência e energia disponíveis em cada ano foram obtidas pela aplicação das equações 11 e 12, respectivamente.

Os resultados são apresentados na Tabela 35, a seguir.

Tabela 35: Resultados obtidos para o aterro municipal de Uberlândia.

| Ano | Emissões de CH ₄ geradas (tCO ₂ e) | Emissões de CH ₄ coletadas (tCO ₂ e) | Vazão de LFG gerada (m ³ /h) | Vazão de LFG captada (m ³ /h) | Vazão de CH ₄ captada (m ³ /h) | Potência disponível (MW) | Potencial de geração de energia elétrica (MWh) |
|-------|--|--|---|--|--|--------------------------|--|
| 2010 | 94.759 | 66.331 | 1.283 | 898 | 503 | 1,59 | 13.937 |
| 2011 | 74.845 | 52.391 | 1.014 | 709 | 397 | 1,26 | 11.008 |
| 2012 | 60.867 | 42.607 | 824 | 577 | 323 | 1,02 | 8.952 |
| 2013 | 50.905 | 35.634 | 689 | 483 | 270 | 0,86 | 7.487 |
| 2014 | 43.673 | 30.571 | 591 | 414 | 232 | 0,73 | 6.423 |
| 2015 | 38.302 | 26.811 | 519 | 363 | 203 | 0,64 | 5.633 |
| 2016 | 34.210 | 23.947 | 463 | 324 | 182 | 0,57 | 5.032 |
| 2017 | 31.005 | 21.703 | 420 | 294 | 165 | 0,52 | 4.560 |
| 2018 | 28.421 | 19.895 | 385 | 269 | 151 | 0,48 | 4.180 |
| 2019 | 26.280 | 18.396 | 356 | 249 | 140 | 0,44 | 3.865 |
| 2020 | 24.459 | 17.121 | 331 | 232 | 130 | 0,41 | 3.597 |
| 2021 | 22.876 | 16.013 | 310 | 217 | 121 | 0,38 | 3.365 |
| 2022 | 21.473 | 15.031 | 291 | 204 | 114 | 0,36 | 3.158 |
| 2023 | 20.210 | 14.147 | 274 | 192 | 107 | 0,34 | 2.972 |
| 2024 | 19.060 | 13.342 | 258 | 181 | 101 | 0,32 | 2.803 |
| 2025 | 18.003 | 12.602 | 244 | 171 | 96 | 0,30 | 2.648 |
| 2026 | 17.025 | 11.918 | 231 | 161 | 90 | 0,29 | 2.504 |
| 2027 | 16.115 | 11.281 | 218 | 153 | 86 | 0,27 | 2.370 |
| 2028 | 15.266 | 10.686 | 207 | 145 | 81 | 0,26 | 2.245 |
| 2029 | 14.470 | 10.129 | 196 | 137 | 77 | 0,24 | 2.128 |
| 2030 | 13.722 | 9.606 | 186 | 130 | 73 | 0,23 | 2.018 |
| 2031 | 13.020 | 9.114 | 176 | 123 | 69 | 0,22 | 1.915 |
| 2032 | 12.358 | 8.651 | 167 | 117 | 66 | 0,21 | 1.818 |
| 2033 | 11.735 | 8.214 | 159 | 111 | 62 | 0,20 | 1.726 |
| 2034 | 11.147 | 7.803 | 151 | 106 | 59 | 0,19 | 1.639 |
| 2035 | 10.592 | 7.415 | 143 | 100 | 56 | 0,18 | 1.558 |
| 2036 | 10.068 | 7.048 | 136 | 95 | 53 | 0,17 | 1.481 |
| 2037 | 9.573 | 6.701 | 130 | 91 | 51 | 0,16 | 1.408 |
| 2038 | 9.106 | 6.374 | 123 | 86 | 48 | 0,15 | 1.339 |
| 2039 | 8.664 | 6.065 | 117 | 82 | 46 | 0,15 | 1.274 |
| 2040 | 8.246 | 5.772 | 112 | 78 | 44 | 0,14 | 1.213 |
| Total | 790.454 | 553.318 | - | - | - | - | - |

Na Figura 46 são apresentadas as curvas de LFG gerado pela disposição dos RSU no aterro, potencial de LFG e CH₄ e potência disponível no aterro sanitário de Uberlândia.

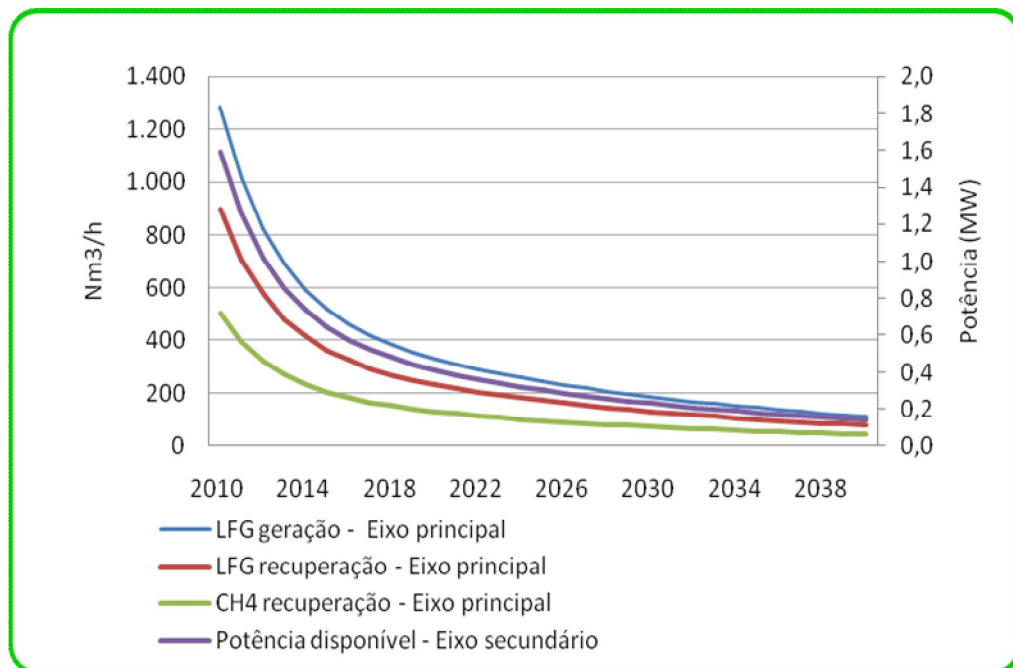


Figura 46: Potencial de geração de LFG, recuperação de LFG e CH₄ e potência disponível ao longo dos anos no aterro sanitário de Uberlândia.

Observa-se que a curva de potência disponível é simétrica e proporcional a geração de LFG e disponibilidade de CH₄ no aterro sanitário, iniciando com a potência máxima de 1,59 MW e decaindo exponencialmente com o passar dos anos.

9. SELEÇÃO DO ATERRO QUE APRESENTA AS MELHORES CONDIÇÕES E POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

A análise das alternativas de aproveitamento energético é apresentada a seguir, comparando-se os aterros sanitários de Betim, Contagem e Uberlândia.

A cobertura dos resíduos tem a função de evitar a entrada de ar atmosférico, impedir a entrada de água, e impedir que o biogás gerado escape. Em aterros de RSU os efeitos da má compactação, uso de solos porosos e menores espessuras da cobertura podem transformar esta camada num sistema ineficiente quanto à retenção de gases. Contudo os três aterros possuem frequência diária de cobertura intermediária dos resíduos e a executam com material e espessura semelhantes. Também é semelhante a forma de compactação dos resíduos dispostos nas células, tanto em relação ao método quanto aos equipamentos empregados, existindo em todos eles condições técnicas adequadas para a captação e aproveitamento energético do biogás gerado, de tal modo que a seleção do aterro que apresenta as melhores condições e potencial para aproveitamento do biogás gerado foi feita considerando o critério de maior potencial de CH_4 , e conseqüentemente maior potência e energia disponíveis, que por sua vez é função principalmente do volume de resíduos dispostos no aterro.

A quantidade de resíduos diariamente dispostos no aterro municipal de Betim é de aproximadamente 240 toneladas por dia, enquanto que no aterro municipal de Contagem a quantidade total dos resíduos recebidos (incluindo domiciliares, comerciais, particulares, de varrição,) é de aproximadamente 550 toneladas por dia. No aterro sanitário de Uberlândia a quantidade de RSU recebida diariamente é de aproximadamente 400 toneladas. Quanto à vida útil, o aterro municipal de Betim tem previsão de encerramento no ano de 2013, o aterro sanitário de Uberlândia tem previsão de encerramento em julho de 2010 enquanto o aterro municipal de Contagem permanecerá em operação, recebendo RSU, até o ano de 2019.

Sendo a quantidade de LFG gerada função da massa de resíduos aterrada, se pode concluir que o aterro de Contagem terá um potencial de Geração de CH_4

superior ao potencial de geração do aterro de Betim e de Uberlândia, conforme pode ser observado na Figura 49.

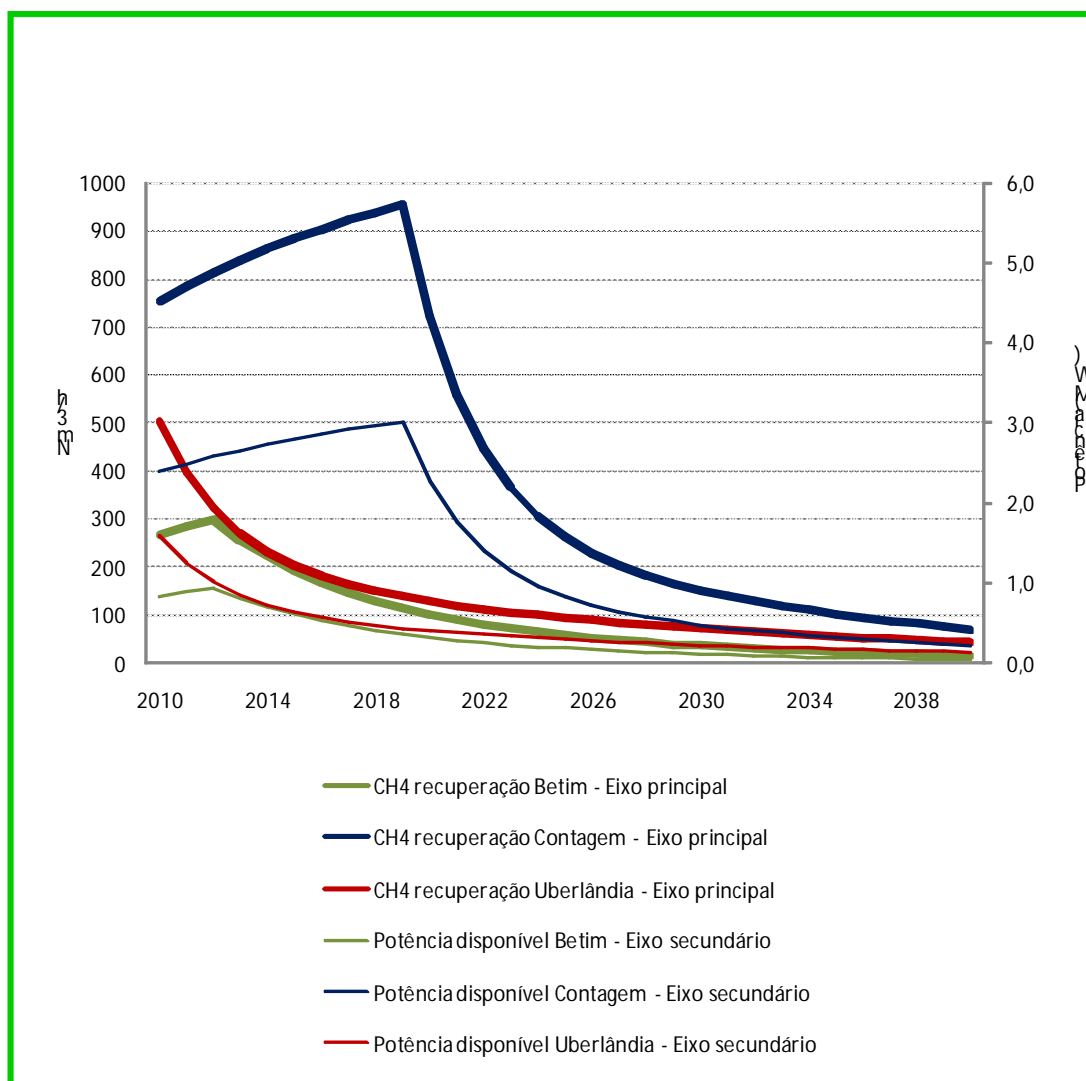


Figura 49: Curva de CH₄ capturado e potencial de geração de energia elétrica nos três aterros.

O comportamento crescente das curvas apresentadas na Figura corresponde ao período em que os aterros permanecem recebendo resíduos. O último ano de deposição de resíduos no aterro é dado pelo ponto máximo da curva. No decaimento, a curva é dirigida pela constante k , referente à degradação da matéria orgânica ao longo do tempo, em cada aterro.