



## RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR

### Aterro Sanitário de Uberaba Uberaba, Minas Gerais Brasil

Preparado para:  
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Preparado com o apoio de:  
**Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA)**  
**Programa de Aproveitamento do Gás Metano de Aterros Sanitários**



Preparado por:

**SCS ENGINEERS**

Arquivo No. 02210012.01  
Fevereiro de 2011

## Índice

<b>Seção</b>	<b>Página</b>
1.0	Resumo Executivo..... 1
2.0	Apresentação ..... 1
2.1	Propósito do Relatório de Avaliação .....2
2.2	Fonte de Dados.....2
2.3	Limitações do Projeto.....3
3.0	Descrição do Aterro Sanitário..... 3
3.1	Operações no Aterro Sanitário .....6
3.2	Informações sobre a Disposição de Resíduos..... 10
	Taxas Anuais de Disposição de Resíduos..... 10
	Dados sobre a Composição dos Resíduos..... 11
4.0	Projeções de Geração e Recuperação de Gás de Aterro Sanitário..... 12
4.1	Informações sobre o Modelo GAS da SCS International..... 12
4.2	Parâmetros de Entrada do Modelo ..... 13
	Valores k do Modelo ..... 13
	Fator de Correção do Metano..... 13
	Valores Lo do Modelo ..... 13
	Eficiência de Recuperação de GAS..... 14
4.3	Resultados do Modelo ..... 15
5.0	Opções de Utilização do Gás de Aterro Sanitário ..... 16
5.1	Geração de Eletricidade ..... 17
5.1.1	Programas Brasileiros de Energia Renovável ..... 17
5.1.2	Opções para Geração de Energia Elétrica de Uberaba ..... 18
5.2	Uso Direto..... 19
5.3	Queima Direta Do Metano e o Comércio de Emissões..... 21
6.0	Outras Considerações do Projeto..... 22
6.1	Direitos sobre o Gás do Aterro Sanitário..... 22
6.2	Segurança e Catadores ..... 22
7.0	Recomendações..... 22
7.1	Gestão do terreno..... 22
7.2	Implantação do Projeto ..... 23
8.0	Conclusões ..... 24

### Lista de Figuras

<b>No.</b>		<b>Página</b>
Figura 1.	Localização do Aterro Sanitário de Uberaba .....	4
Figura 2.	Frente de Trabalho .....	5
Figura 3.	Escritórios Adminsitrativos .....	6
Figura 4.	Estação de Pesagem.....	6
Figura 5.	Fossa Perimetral .....	7
Figura 6.	Trincheira de Drenagem de Chorume .....	7
Figura 7.	Lagoas de Evaporação de Chorume.....	8
Figura 8.	Poço de Dreno em Construção.....	9
Figura 9.	Poço de Dreno com Gaiola.....	9
Figura 10.	Poço de Dreno com Queima de GAS.....	9
Figura 11.	Projeções de Geração e Recuperação, Aterro Sanitário de Uberaba, Brasil.....	16
Figura 12.	Duto Conceitual para o Centro Industrial.....	20

### Lista de Tabelas

<b>No.</b>		<b>Página</b>
Tabela 1.	Desenvolvimento do Aterro Sanitário de Uberaba .....	10
Tabela 2.	Estimativas de Disposição de Resíduos – Aterro Sanitário de Uberaba .....	11
Tabela 3.	Dados sobre a Composição de Resíduos– Aterro Sanitário de Uberaba.....	12

### Lista de Anexos

Anexo A – Resultados de Modelo LFG

# RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

## ATERRO SANITÁRIO DE UBERABA

### 1.0 RESUMO EXECUTIVO

Este relatório, que apresenta uma avaliação sobre um único projeto de utilização ou queima de gás do aterro sanitário (GAS, ou sua sigla em inglês LFG, *Landfill Gas*), foi preparado pela SCS Engineers (SCS), com o apoio da Global Methane Initiative (GMI) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) para o Aterro Sanitário de Uberaba no Município de Uberaba, Brasil. Esta avaliação foi preparada com base nas informações fornecidas pela Prefeitura Municipal de Uberaba (PMU) e em observações feitas durante a visita ao aterro em 13 de abril de 2010.

O local de disposição tem funcionado como aterro sanitário da cidade de Uberaba desde 2005. O aterro sanitário tem aproximadamente 320.000 toneladas métricas (Mg) de resíduos sólidos municipais (RSMs) dispostos desde a visita ao aterro em abril de 2010 e tem uma capacidade estimada restante para outros 1.85 milhão de Mg de resíduos, totalizando 2.07 milhões de Mg em seu encerramento. Com base na taxa de disposição projetada para 2010 (72.000 Mg por ano) e uma taxa de crescimento previsto de 4,8 por cento, o aterro estará completo ao final de 2026.

Um modelo de geração e recuperação de GAS foi preparado com base nas taxas estimadas de disposição de resíduos, composição de resíduos, clima, condições do terreno e possíveis eficiências de coleta estimadas. Os resultados do modelo indicam que o aterro pode ser um bom candidato a um projeto de captura e combustão de GAS e possivelmente a um projeto de utilização de metano, embora o potencial modesto para a geração de eletricidade faça com que a geração de eletricidade no aterro seja provavelmente menos viável em termos econômicos do que outras opções como o uso direto ou somente a queima de metano. Os créditos de redução de emissões projetados associados à combustão de GAS totalizam aproximadamente 390.000 Mg de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) ao longo de um período de 10 anos (2011 – 2020).

### 2.0 APRESENTAÇÃO

Este relatório de avaliação para o Aterro Sanitário de Uberaba foi preparado pela SCS Engineers (SCS) para o Programa de Aproveitamento de Gás Metano de Aterros Sanitários (LMPO) da Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (EPA), como parte da Global Methane Initiative, uma iniciativa internacional para ajudar países parceiros a reduzirem as emissões de metano para aumentar o crescimento econômico, fortalecer a segurança energética, melhorar a qualidade do ar, melhorar a segurança industrial e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

## 2.1 PROPÓSITO DO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

O propósito geral do Relatório de Avaliação do Aterro Sanitário de Uberaba é realizar uma avaliação das potenciais taxas de recuperação de GAS e uma avaliação preliminar das opções para a utilização de GAS. O propósito geral é alcançado por meio da busca dos seguintes objetivos:

- Resumir e avaliar as informações disponíveis sobre o aterro, incluindo as suas características físicas, gestão do terreno e dados sobre a disposição de resíduos.
- Avaliar as considerações técnicas para o desenvolvimento de um projeto de GAS, incluindo estimativas da quantidade de GAS recuperável ao longo do período do projeto.
- Examinar as opções de utilização de GAS disponíveis, incluindo os projetos de geração de eletricidade, de uso direto e de somente queima de metano.

## 2.2 FONTE DE DADOS

As seguintes informações foram usadas na preparação deste relatório: (1) baseadas nas observações da equipe da SCS durante a visita ao terreno, realizada no dia 13 de abril de 2010; (2) fornecidas pelo Sr. João Ricardo Pessoa, Superintendente de Serviços Urbanos e Estradas Rurais de Uberaba durante a visita ao terreno; (3) fornecidas em um formulário de dados completado; e (4) fornecidas pelo Sr. João Ricardo Pessoa em um e-mail com data de 17 de agosto de 2010 ao Sr. Abilio Cesar Soares, da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).

Os dados consistem de:

- Data estimada de abertura do aterro (2005).
- O tamanho das áreas usadas para a disposição e a área total do aterro.
- Profundidades máximas atuais estimadas de resíduos
- A capacidade total estimada do aterro em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).
- Taxas médias de disposição de resíduos de 2006 a agosto de 2010 com base nos dados da estação de pesagem.
- Dados sobre a composição dos resíduos.
- Práticas para o tratamento e controle de chorume, reciclagem de resíduos e compostagem.
- Identificação de possíveis usuários finais de GAS na vizinhança do aterro sanitário.

## 2.3 LIMITAÇÕES DO PROJETO

As informações e as estimativas contidas neste relatório de avaliação se baseiam nos dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Uberaba. Nem a EPA, nem os seus terceirizados podem assumir a responsabilidade pela veracidade desses dados. As medidas, as avaliações e as projeções apresentadas neste relatório se baseiam nos dados e nas condições físicas do aterro sanitário conforme observado no momento da visita ao aterro. Os pareceres profissionais aqui apresentados não estão sujeitos a garantias, sejam elas expressas ou implícitas. As mudanças no uso da propriedade ou nas condições (por exemplo: variação pluviométrica, no nível da água, nos sistemas de cobertura final ou outros fatores) podem afetar a recuperação do gás no terreno de disposição. A EPA e a SCS Engineers não garantem a quantidade ou a qualidade do gás disponível no aterro sanitário.

## 3.0 DESCRIÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

O Aterro Sanitário de Uberaba está localizado na cidade de Uberaba, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Está localizado a aproximadamente 19 quilômetros (km) ao sul do centro de Uberaba e 415 km a oeste do centro de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais (veja localização do terreno na Figura 1). O clima em Uberaba é tropical e chuvoso. A temperatura média diária é de 23.0 graus Celsius. O nível de precipitação médio anual em Uberaba está estimado em 1,570 mm, do qual mais de 88 por cento cai nos meses de verão, entre outubro e abril.<sup>1</sup>

A cidade de Uberaba está localizada no *Triângulo Mineiro* (TM), uma das dez regiões de planejamento no Estado de Minas Gerais. O TM é uma área agrícola e industrial rica e inclui as cidades de Uberlândia e Uberaba. Uberaba tem uma população de cerca de 296.300 habitantes e um PIB per capita de R\$18.862 em 2009, mas é uma das cidades que mais cresce no Brasil<sup>2</sup>. Cada habitante gera cerca de 0,8 kg de RSM por habitante por dia, em comparação aos 1,25 kg por habitante por dia para Belo Horizonte.<sup>3</sup>

---

1 . Fonte: [www.worldclimate.com](http://www.worldclimate.com). A estimativa anual é uma média de valores para as estações mais próximas com dados completos (em Belo Horizonte e Araxá).

2 Panorama Resíduos Sólidos 2009, ABRELPE

3 *Ibid*



**Figura 1. Localização do Aterro Sanitário de Uberaba**

O Aterro Sanitário de Uberaba pertence ao Município de Uberaba. O terreno cobre 45 hectares (ha), dos quais aproximadamente 17 ha deverão ser usados para a disposição de resíduos. A área de disposição está dividida em quatro células ou "blocos". O Primeiro Bloco, com quatro hectares, está fechado e a disposição de RSMs é feita no Segundo Bloco. A Figura 2 mostra uma vista da frente de trabalho do Segundo Bloco.



**Figura 2. Frente de Trabalho**

Sistemas de mantas estão instalados nas células existentes (Blocos 1 e 2) que consistem dos seguintes elementos:

- Três camadas de argila, cada uma compactada a uma espessura de 20 centímetros.
- Uma camada de asfalto (Asfalto Diluído de Petróleo CM- 30) foi espalhada sobre a argila existente.
- Uma camada de argila compactada.

As áreas restantes do aterro contêm o antigo depósito de lixo sem manta, os reservatórios de tratamento de chorume, os escritórios administrativos (ver Figura 3), a balança e a estação de pesagem (ver Figura 4), as estradas de acesso e as zonas tampão.



**Figura 3. Escritórios Administrativos**



**Figura 4. Estação de Pesagem**

### 3.1 OPERAÇÕES NO ATERRO SANITÁRIO

O aterro começou a operar no dia 30 de novembro de 2005. A organização que opera o aterro sanitário é Uberaba Ambiental, S.A., a qual foi outorgada o contrato de concessão para a operação do aterro sanitário, assim como a coleta de resíduos em Uberaba, em 2005, por um período de 20 anos.

O aterro está aberto de segunda-feira a sábado, 24 horas por dia. A quantidade de resíduos que entra no aterro é quantificada por meio de uma balança automatizada e de um sistema de registro computadorizado simples. O terreno de Uberaba tem um bom suprimento de argila com pouca permeabilidade. Os custos de disposição são recuperados por meio de um imposto municipal pago pelos moradores chamado "Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU)" e não se baseiam nas quantidades de resíduos dispostos. As entidades comerciais pagam cerca de R\$2.50 por tonelada métrica.

Cada uma das quatro células de disposição ("blocos") consiste de oito "plataformas" como uma espessura de cinco metros que estão sobrepostas verticalmente. Cada plataforma é recheada lateralmente quando se empurram os resíduos para cima com o uso de uma escavadora mecânica tipo buldôzer que passa várias vezes sobre os resíduos. Não são usados compactadores. O aterro tem uma buldôzer de tamanho médio e uma menor e tem acesso a uma escavadora. Uma cobertura de solo intermediário, com cerca de 20 cm de espessura, é aplicada sobre cada plataforma à medida que o aterro se estende e esta cobertura não é removida posteriormente. A frente de trabalho raramente é coberta.

A cobertura final é aplicada sobre uma área para disposição de \_\_\_ ha e consiste de 40 cm de argila e 20 cm de solo orgânico para apoiar uma camada de vegetação.

As águas pluviais são controladas com um sistema de valas perimetrais que inclui valas ao longo da cobertura final (ver Figura 5).



**Figura 5. Valas Perimetrais**



**Figura 6. Trincheiras de Drenagem de Chorume**

O chorume é coletado através de trincheiras de pedras dispostas como espinhas de peixe (trincheiras laterais com ângulos paralelos que levam a uma trincheira principal no meio) instaladas na base do aterro e no topo da cobertura intermediária sobre cada plataforma com 5 metros de profundidade. As trincheiras de pedras na base do aterro são direcionadas para um ponto onde a coleta e o bombeamento do chorume é feita para as lagoas de tratamento. As trincheiras de pedras no topo de cada plataforma são direcionadas para os drenos de chorume (que também funcionam como drenos passivos de GAS), de onde o chorume é drenado para o sistema de coleta de chorume na base do aterro.

Os assentamentos diferenciados das camadas intermediárias podem fazer com que os drenos de chorume em cada plataforma se tornem ineficazes devido à inclinação negativa, à obstrução ou à fratura. Devido à grande quantidade de argila usada nas camadas intermediárias, podem ocorrer zonas suspensas ou represamentos (poças) no topo da argila.

Uma solução alternativa comumente usada em outros lugares no mundo é cobrir completamente a base sobre a camada impermeável com uma camada de drenagem (ex.: pedras), protegendo de maneira adequada a camada impermeável e inclinando a base de modo que o chorume seja coletado no ponto inferior da camada de base. Além disso, a cobertura imediata deve ser removida (na medida do possível) antes de uma nova plataforma ser instalada. As redes de

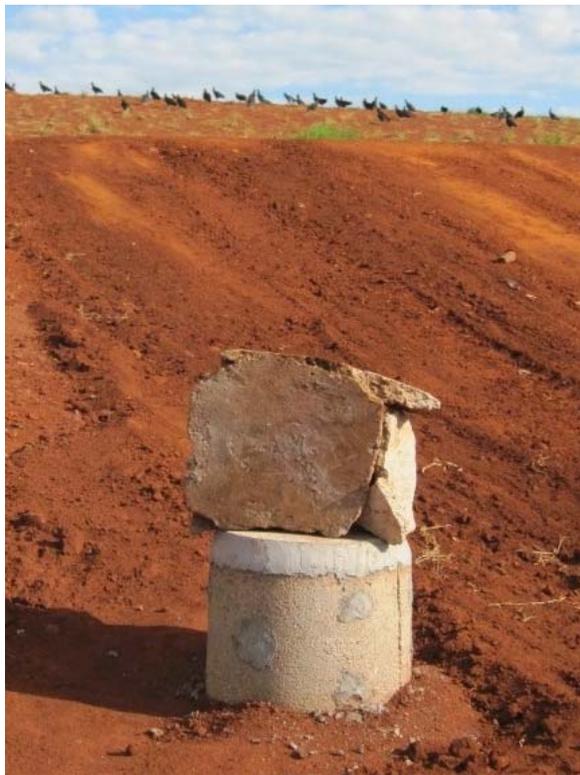
drenagem de camadas intermediárias não devem ser instaladas; no entanto, estas pedras devem ser usadas na camada de base. As camadas intermediárias de argila não oferecem estabilidade adicional e, de fato, podem gerar instabilidade e planos de falhas se as grandes zonas suspensas ou poças ocorrerem no topo das camadas intermediárias.

O chorume é tratado em uma série de quatro lagoas de chorume (ver Figura 7). As duas primeiras, uma delas pode ser vista em primeiro plano na Figura 7, são menores, mas bastante profundas (\_\_\_ metros de profundidade) e são anaeróbias. O chorume é então transferido para as duas grandes lagoas aeróbias de tratamento de chorume. Muito pouco chorume é transferido para a lagoa final e as poças nunca precisaram de bombeamento para remover o chorume final tratado. Dado o nível pluviométrico de Uberaba, isso indica que o chorume muito provavelmente está vazando das lagoas. As lagoas não têm malha, mas o solo na região é uma argila de alta permeabilidade ( $1 \times 10^{-7}$ ).



**Figura 7. Lagoas de Evaporação de Chorume**

O terreno tem um sistema de drenos passivos de GAS que consiste de poços de drenos que penetram no fundo dos resíduos no Primeiro Bloco, tendo sido construídos para cima a partir da camada de base à medida que os resíduos vão sendo depositados. Há drenos que são construídos com dutos de concreto com 90 cm de diâmetro que são então cercados por gaiolas cheias de pedras, com se pode ver na Figura 8 e na Figura 9. Cerca de quatro dos poços têm os topos cobertos com uma tampa quadrada de concreto com um tubo de metal no centro (ver Figura 10). O GAS emitido por este tubo é aceso periodicamente para queimar o GAS.



**Figura 8. Poço de Dreno em Construção**



**Figura 9. Poço de Dreno com Gaiola**



**Figura 10. Poço de Dreno com Queima de GAS**

### 3.2 INFORMAÇÕES SOBRE A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

#### Taxas Anuais de Disposição de Resíduos

Segundo as informações disponíveis, o aterro sanitário começou a receber resíduos no dia 30 de novembro de 2005 e tinha aproximadamente 320.000 toneladas de resíduos em agosto de 2010. A disposição total de resíduos em 2009 foi de 68.100 Mg. Para 2010, está projetado que a disposição de resíduos chegue a 72.000 Mg/ano. O aterro funciona seis dias por semana.

Consta que o terreno tem uma capacidade total de aproximadamente 2.958.500 m<sup>3</sup>. A densidade dos resíduos no local (Mg de resíduos dispostos / volume de resíduos e solo sem a cobertura final) foi estimada em 0.7 Mg/m<sup>3</sup> com base na compactação e nas práticas de aplicação do solo (não havia dados sobre a densidade dos resíduos disponíveis para este estudo). A estimativa resultante da capacidade de disposição de resíduos é de 2.071.000 Mg. A Prefeitura de Uberaba estima que a futura disposição anual de resíduos cresça em 4,8%, o que fará com que o aterro atinja a sua capacidade em 2026. A Tabela 1 mostra as características para cada uma das áreas ou blocos que estão sendo desenvolvidos no aterro. A Tabela 2 lista as taxas de disposição anual de resíduos histórica e projetada para ao Aterro de Uberaba.

Bloco	Capacidade Estimada (Mg)	Período de Disposição Estimado (anos)	Área (ha)	Anos de funcionamento
1	300.000?	5?	4?	De dezembro de 2005 a janeiro de 2010
2?	?	4?	2,5?	De janeiro de 2010 a janeiro de 2012
3	?	?	?	?
4	?	?	?	?

**Tabela 2 - Estimativa de Disposição de Resíduos - Aterro Sanitário de Uberaba**

<b>Ano</b>	<b>Tonelagem Disposta (Mg/Ano)</b>	<b>Tonelagem Acumulada (Mg)</b>	<b>Comentários</b>
2006	60.090	60.090	Informado na estação de pesagem
2007	66.610	126.700	Informado na estação de pesagem
2008	69.180	195.880	Informado na estação de pesagem
2009	68.100	263.980	Informado na estação de pesagem
2010	72.000	335.980	Projetado com base nos dados de disposição até 15 de agosto de 2010
2011	75.460	411.440	Projetado com o uso de aumento de taxa anual de disposição de 4,8%
2012	79.080	490.520	
2013	82.870	573.390	
2014	86.850	660.240	
2015	91.020	751.260	
2016	95.390	846.650	
2017	99.970	946.620	
2018	104.770	1.051.390	
2019	109.800	1.161.190	
2020	115.070	1.276.260	
2021	120.590	1.396.850	
2022	126.380	1.523.230	
2023	132.440	1.655.670	
2024	138.800	1.794.470	
2025	145.460	1.939.930	
2026	131.070	2.071.000	

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberaba

### **Dados sobre a Composição dos Resíduos**

A composição dos resíduos e as condições de umidade em um aterro são os primeiros aspectos a serem considerados quando se estimam os valores de modelo Lo e K de GAS. Este relatório aplica os dados da composição dos resíduos fornecidos pela Prefeitura de Uberaba. Os percentuais estimados de composição de resíduos estão resumidos na Tabela 3. Alguns dos valores foram extrapolados dos dados específicos do aterro fornecidos pela Prefeitura de Uberaba e foram marcados com um asterisco.

**Tabela 3 - Dados sobre a Composição dos Resíduos - Aterro Sanitário de Uberaba**

Resíduos	% Estimado
Detritos de Cozinha*	52,2%
Restos de Poda*	5,8%
Papel	17,5%
Material têxtil	0,5%
Madeira	1,0%
Plásticos	6,5%
Metais	4,0%
Vidros e Cerâmicas	2,5%
Outros materiais inorgânicos	10,0%
Total	100,0%

Fonte: Prefeitura de Uberaba

## 4.0 PROJEÇÕES DE GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO

### 4.1 INFORMAÇÕES SOBRE O MODELO GAS DA SCS INTERNATIONAL

A SCS desenvolveu um modelo proprietário internacional de GAS que emprega uma equação de decaimento para estimar a geração de GAS com base nas taxas de disposição anual de resíduos, na quantidade de metano um Mg de resíduo produz (valor  $L_0$ ) e na taxa que o decaimento de resíduos produz de GAS (valor  $k$ ). As variáveis de modelo  $k$  e  $L_0$  se baseiam na composição estimada de resíduos e informações sobre o clima local. Os dados usados para o desenvolvimento de parâmetros de entrada do modelo são discutidos em seções posteriores deste relatório.

O Modelo Internacional SCS usa as mesmas variáveis de entrada ( $k$  e  $L_0$ ) e é em geral semelhante ao Modelo de Emissões de Gás de Aterros Sanitários da EPA (LandGEM). A principal diferença entre os dois modelos é a designação de vários valores  $k$  e  $L_0$  no Modelo Internacional SCS. Ao mesmo tempo em que a equação de decaimento simples ( $k$  e  $L_0$  simples) usada em LandGEM é adequada para modelar aterros norte-americanos, a EPA e a SCS consideram que a geração de GAS em aterros em países na América do Sul não podem ser modelados de maneira adequada usando esta abordagem, basicamente devido à importante diferença de composição de resíduos e às condições do aterro que criam padrões diferentes de decaimento de resíduos e geração de GAS com o tempo.

O modelo de GAS da SCS International emprega módulos separados com diferentes valores  $k$  e  $L_0$  que calculam separadamente a geração de GAS de diferentes componentes de resíduos. Esta abordagem de modelo de decaimento em fases reconhece que as diferenças significantes entre os tipos de resíduos dispostos em países em desenvolvimento exigem mudanças na estrutura do

modelo, assim como nos valores das variáveis de entrada. Uma abordagem similar foi adotada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), que lançou um modelo de geração de metano em aterros sanitários em 2006 que aplica módulos separados para quatro categorias de resíduos diferentes.<sup>4</sup>

As estimativas de geração de GAS produzidas pelo modelo são usadas para projetar a recuperação de GAS com o sistema de coleta existente ou proposto com base na eficiência de coleta estimada. A eficiência na coleta, definida como o percentual de GAS gerado, que é recuperado pelo sistema de extração de GAS, é afetada por vários fatores, incluindo: desenho do poço e do terreno do poço, profundidade dos resíduos, tipo de malha e cobertura, questões de manejo de chorume, práticas de gestão do aterro e operações do sistema de coleta.

## 4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

### Valores k do Modelo

Com base na taxa de precipitação e nas condições estimada de umidade dos resíduos no aterro, a SCS designou os valores k do modelo de 0,36, 0,72, e 0,018 por ano para as frações de resíduos orgânicos de decomposição rápida, média e lenta, respectivamente.

### Fator de Correção do Metano

Os aterros não administrados são rasos ou não contam com cobertura no solo, portanto, enfrentarão condições aeróbicas nas camadas mais altas dos resíduos expostos que inibirão a produção de metano. Uberaba é um terreno administrado com uma boa cobertura de solo sobre todas as áreas de disposição exceto uma frente de trabalho relativamente pequena, por isso um "fator de correção do metano" (MCF) de 1 foi aplicado (sem ajustes).

### Valores Lo do Modelo

Os dados de composição de resíduos foram usados para estimar valores Lo para as categorias de resíduos orgânicos de decomposição rápida, média e lenta, com base em um conteúdo orgânico seco dos resíduos dispostos (se comparados com a média dos resíduos norte-americanos). Foram calculados valores Lo separados para as diferentes categorias de resíduos que resultaram nos seguintes valores:

- Resíduos de decomposição rápida (alimentos e uma parte dos restos de poda): 73 m<sup>3</sup>/Mg.
- Resíduos de decomposição média (papel, material têxtil e uma parte dos restos de poda): 205 m<sup>3</sup>/Mg.
- Resíduos de decomposição lenta (madeira, borracha e couro): 184 m<sup>3</sup>/Mg.

---

4. IPCC, 2006. Planilha do IPCC para a Estimação de Emissões de Metano em Terrenos de Disposição de Resíduos Sólidos.

A fração de resíduos que consiste de materiais inertes (ex.: resíduos de construção e demolição, metais, plásticos, vidro e cerâmicas) recebeu um valor  $Lo$  igual a 0 uma vez que não se espera que contribuam para a geração de GAS.

### **Eficiência de Recuperação de GAS**

Foram desenvolvidos três cenários de recuperação de GAS para refletir uma variedade de eficiências de captura possíveis que variam conforme o nível de esforço e a quantidade de recursos disponíveis para operar os sistemas de coleta. Todos os três cenários presumem o seguinte:

- A coleta de GAS e o sistema de controle serão instalados e começarão a operar em 2012.
- O sistema de coleta será mantido e ampliado anualmente em novas áreas de disposição para proporcionar uma cobertura abrangente de todos os resíduos dentro de dois anos após a deposição dos resíduos.
- Uma cobertura final será instalada em 2027 para permitir atingir os níveis máximos de captura a partir de 2028.

Os três cenários de recuperação são descritos a seguir:

1. O cenário de recuperação baixa presume que um nível moderado de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste dos poços uma vez por mês). Presume-se que a eficiência na coleta será de 35 por cento em 2012 e aumentará cada vez mais até 2028, quando a eficiência na coleta deverá chegar a um máximo de 60 por cento depois de completar a cobertura final. A Equipe do Projeto considera que as estimativas de recuperação baixa devem ser conservadoras e devem ser empregadas apenas se uma ampla margem de segurança for necessária.
2. O cenário de recuperação média presume que um nível moderado de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste dos poços pelo menos 2 ou 3 vezes por mês). A eficiência na coleta deverá ser de 50 por cento em 2012, o que exige a coleta de 70 por cento do GAS gerado a partir dos resíduos depositados até o fim de 2010. Depois de 2012, a eficiência na coleta deverá aumentar cada vez mais até 2028, quando chegará a um máximo de 75 por cento depois de completar a cobertura final. A Equipe do Projeto considera que as estimativas de recuperação média devem ser as melhores estimativas de possível recuperação e recomenda o seu uso em uma avaliação econômica.
3. O cenário de recuperação alta presume que o nível mais alto possível de habilidade e esforço seja empregado na operação e na manutenção do sistema de coleta (ex.: incluindo o monitoramento e o ajuste semanal ou mais frequente do terreno do poço.

Presume-se que a eficiência na coleta será de 60 por cento em 2012 e aumentará cada vez mais até 2028, quando a eficiência na coleta deverá chegar a um máximo de 85 por cento depois de completar a cobertura final. A Equipe do Projeto considera que as estimativas de recuperação alta devem ser ambiciosas e atingíveis apenas se a manutenção de um sistema de recuperação de GAS mais eficiente for considerada prioritária.

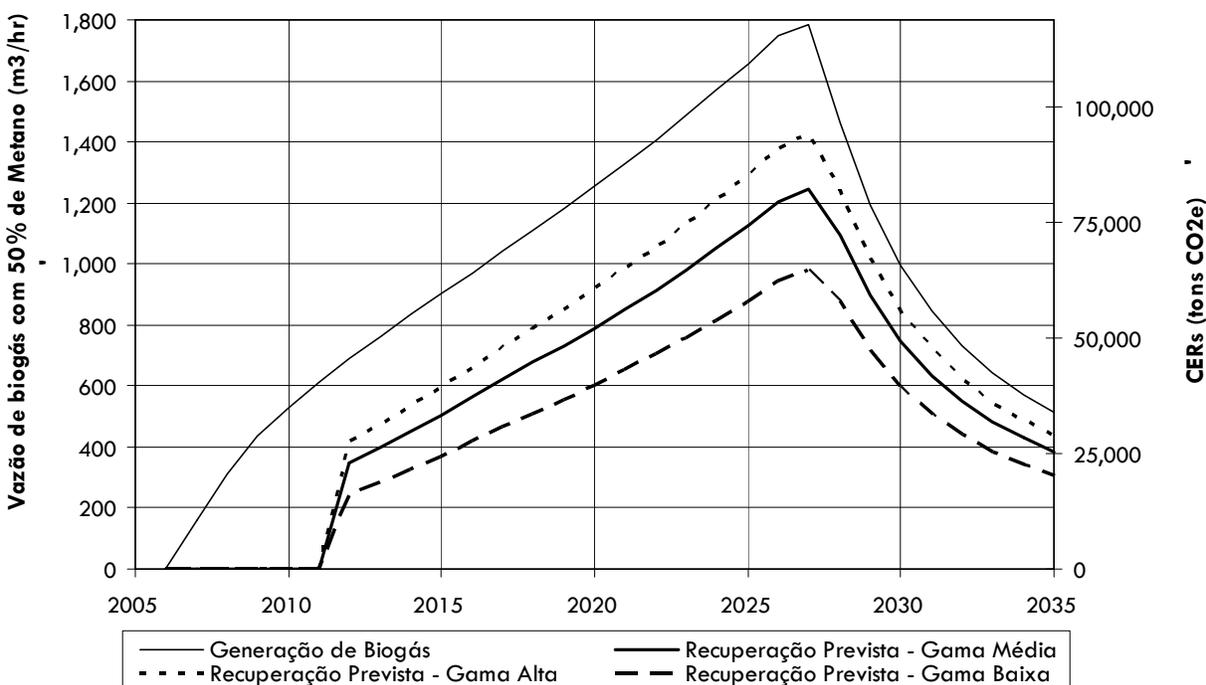
Deve-se observar que, além da possível variabilidade na eficiência na coleta e o nível de operação e de manutenção, o modelo matemático de GAS é incerto por natureza. A Equipe do Projeto considerou (e tentou explicar) a incerteza deste modelo na seleção de valores para os cenários de recuperação alta e baixa quando se projetam as taxas de recuperação de GAS.

### 4.3 RESULTADOS DO MODELO

As projeções de geração de GAS para o Aterro Sanitário de Uberaba podem ser vistas na Figura 11 abaixo e na Tabela A-1 no Anexo A. As projeções de recuperação de GAS em cenários de eficiência de sistema de coleta alternativa (baixa, média e alta) podem ser vistas na Figura 11 e nas Tabelas A-1 e A-2 no Anexo A.

Como apresentado na Tabela A-1, a geração de GAS está projetada para crescer de aproximadamente 530 m<sup>3</sup>/hora em 2010 para um máximo de cerca de 1.780 m<sup>3</sup>/hora em 2027, e decrescer a partir daí. No cenário de eficiência de coleta média, a recuperação de GAS está projetada para crescer de cerca de 350 m<sup>3</sup>/hora em 2012 para cerca de 510 m<sup>3</sup>/hora em 2015, 790 m<sup>3</sup>/hora em 2020, e finalmente chegar ao máximo de cerca de 1.250 m<sup>3</sup>/hora em 2027, depois da qual começa a decrescer devido à redução de geração de GAS. A Tabela A-1 também mostra que o potencial para a geração de energia a partir de GAS está estimado para ser cerca de 0,6 MW em 2012, 0,8 MW em 2015, 1,3 MW em 2020, e 2,1 MW (valor máximo) em 2027. Os créditos estimados de redução de emissão de gases de efeito estufa (Reduções de Emissões Certificadas ou CERs) deverão ser alcançados por este projeto por meio da combustão de metano do aterro sanitário nas projeções de recuperação média estão estimadas para aproximadamente 390.000 milhões Mg de emissões de CO<sub>2</sub>e durante o período de 2012 a 2021.

**Figura 11 - Projeções de Geração e Recuperação de Gás de Aterro Sanitário - Aterro Sanitário de Uberaba, Brasil**



## 5.0 OPÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO GÁS DE ATERRO SANITÁRIO

As opções de projeto de GAS examinadas neste estudo incluem: (1) geração de eletricidade no aterro; (2) uso direto para combustível para aquecimento/boiler (aplicação média-Btu) em uma instalação industrial próxima; e (3) somente a queima de metano aproveitando o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Todas as três opções requerem a instalação de um sistema ativo de coleta e controle de gás (GCCS), incluindo um queimador para assegurar a combustão de todo o metano coletado quando o GAS não estiver sendo utilizado. Todas as três opções também devem gerar retorno com a venda dos créditos de redução de emissão.

Os custos de capital para um GCCS dependerão em grande parte dos fluxos de GAS, do tamanho do aterro e da profundidade dos resíduos. Uma faixa típica para os custos de GCCS, incluindo o início da queima e o teste de campo e os custos relacionados com a engenharia e a contingência, é de cerca de US\$70.000 a US\$120.000 por hectare de terra de aterro. Os custos anuais de operação e manutenção (O&M) GCCS em média variam de 7 a 10 por cento dos custos totais, sem incluir os custos com eletricidade ou expansão de sistemas. Para este projeto, a construção de um GCCS nas duas células existentes incorrerá nos seguintes custos:

- 9 hectares x 2,47 poços por hectare - 22,23 hectares x \$10.000 por poço = \$222.300

- Tubulação principal e dutos laterais, válvulas - \$9.000 x 22.23 = \$200.000
- 1.000 m<sup>3</sup>/s em condições padrões de flare enclausurado = \$370.000
- Custo total do GCCS de \$792.000

## 5.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

### 5.1.1 Programas Brasileiros de Energia Renovável

Os projetos de energia renováveis contam com apoio no Brasil como uma maneira de diversificar o fornecimento de energia nacional. Diversificar o fornecimento de energia nacional foi uma das estratégias que o governo buscou como consequência da crise energética de 2001. A outra estratégia foi a reformulação do modelo energético e, portanto, o governo criou dois mercados de comércio de energia, um pool regulado e um mercado aberto. Para promover as fontes de energia alternativas e renováveis, o governo criou dois programas, o Proeolica<sup>5</sup> e o Proinfa<sup>6</sup>. O Proeolica tinha como objetivo o desenvolvimento de energia eólica. O Proinfa tinha como objetivo aumentar a participação de fontes de energias renováveis como pequenas hidrelétricas, biomassa e também incluía a eólica<sup>7</sup>.

O Proinfa foi projetado em duas fases. A primeira fase visava aumentar a geração de energia em 3.300 MW (1.100 MW de cada uma das categorias escolhidas de energias renováveis). Depois de duas licitações públicas em janeiro de 2006, 144 projetos foram contratados para gerar os 3.300 MW, mas não na mesma proporção que se pretendia inicialmente. Os projetos de geração de energia eólica e de pequenas hidrelétricas deveriam fornecer 79 por cento da capacidade. A primeira fase do Proinfa terminará com a instalação dos dois projetos inscritos, mas até 2010 ainda havia alguns projetos que enfrentavam importantes atrasos na construção e no início em si. Durante a primeira fase nenhum projeto de gás de aterro para energia havia sido implementado.

A segunda fase do Proinfa estava inicialmente projetada para garantir que a energia de fontes renováveis fornecesse 10 por cento da demanda de energia elétrica anual do Brasil por um período de 20 anos. A segunda fase foi originalmente baseada em tarifas de injeção, mas isso foi modificado em 2003 para poder ser baseada em leilões de energias renováveis. Esses leilões têm preços máximos para limitar o seu impacto na tarifa final de eletricidade. O Ministério das Minas e Energia realizou uma série de leilões públicos para projetos de energias renováveis para obter contratos para a compra de energia (PPA). O último leilão de energias renováveis foi realizado nos dias 25 e 26 de agosto de 2010. No total, 56 usinas comercializaram a sua energia neste leilão, incluindo 50 usinas de turbinas eólicas, uma usina de biomassa e 5 usinas de pequenas hidrelétricas. As usinas começarão a fornecer eletricidade em 2013 e os preços médios para

---

5 Programa Emergencial de Energia Eólica (Resolução CGE 24 de 5 de julho de 2001)

6 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Lei 10.438 de 26 de abril de 2002)

7 A biomassa se refere aos produtos de origem vegetal (como produtos agrícolas e pedaços de madeira), animal ou humano (resíduos urbanos). No Brasil, a biomassa inclui o bagaço da cana de açúcar, casca de arroz, madeira, gás de aterros sanitários, etc.

venda serão: R\$134.1/MWh para eólica, R\$149.99/MWh para pequena hidrelétrica, e R\$137.92 para biomassa.<sup>8</sup>

A maioria dos projetos de energia renováveis pode comercializar a sua energia em um ambiente de mercado aberto ao buscar "consumidores especiais", uma categoria criada sob a Lei 10.762 de 2003. Os consumidores especiais podem ser um consumidor de eletricidade único ou um grupo de consumidores unidos por um interesse comum, com uma carga de consumo igual ou superior a 500kW. Esses consumidores têm a permissão para comprar eletricidade, em qualquer nível de tensão, de fontes alternativas de eletricidade dentro de um ambiente de mercado aberto. As fontes de energia alternativa com os quais está permitido comercializar com os consumidores especiais: (1) projetos não renováveis com capacidade instalada inferior ou igual a 1.000 kW e (2) projetos de energia renovável (pequena hidrelétrica, solar, eólica ou biomassa) com capacidade instalada inferior ou igual a 50.000kW.

Como outras formas de incentivos ao desenvolvimento de energia renovável, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL<sup>9</sup>) decretou a Resolução N° 77 que estabelece os procedimentos relacionados com a redução dessas tarifas para autogeradores e fontes de energia renovável independentes. As fontes de energia renováveis incluíam pequenas hidrelétricas, solar, eólica, biomassa (que inclui biogás (GAS)) ou CHO, com energia instalada igual ou inferior a 30 MW. A resolução deu incentivo adicional de reduções de tarifas de pelo menos 50 por cento para acesso a sistemas de transmissão e distribuição para geradores de energia renovável. Além disso, para ajudar a minimizar os impactos ambientais causados pelos resíduos urbanos e promover os programas de redução de emissão segundo o Protocolo de Quioto, a ANEEL fez uma emenda no Artigo 3° da Resolução 77 para dar aos negócios que usam resíduos como fonte de geração de eletricidade uma redução de 100 por cento das tarifas para os sistemas de transmissão e distribuição. A emenda se tornou oficial na Resolução 271 de 3° de julho de 2007.

### **5.1.2 Opções para Geração de Energia Elétrica de Uberaba**

Segundo os resultados do modelo GAS, o Aterro Sanitário de Uberaba poderia suportar um projeto de 1.0 MW LFGE com início em 2017 por um período de até 15 anos (2017-2031). Um projeto de geração de 1.0 MW GAS de energia elétrica é bem pequeno e pode ser difícil torná-lo economicamente viável sem obter um alto preço para a energia renovável. Com base nos mais recentes leilões da fase II do Proinfra, um projeto deste porte poderá ser difícil de ser implantado, dependendo dos custos de interconexão e a tecnologia selecionada e o fabricante de grupo gerador escolhido. Como alternativa, a energia poderia ser vendida para um usuário final qualificado permitido segundo a Lei 10.762 onde um preço mais alto é possível. Se a demanda de eletricidade no terreno pudesse ser aumentada substancialmente (para sopradores, bombas de chorume ou outros usos), então o grupo gerador de 1.0 MW poderia ser usado para atender esta demanda no aterro (autogeração).

Atualmente, o aterro é abastecido por meio de linhas de distribuição na tensão de \_\_\_ kV da fase três e a sub-estação mais próxima está localizada a 5 quilômetros do aterro sanitário. As linhas

<sup>8</sup> ANEEL ([http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=3541&id\\_area=](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=3541&id_area=)

<sup>9</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

de distribuição parecem ter voltagem suficiente para suportar um projeto de geração de eletricidade em excesso de 4 MW sem aumentar a capacidade da infraestrutura de distribuição. No entanto, um estudo de interconexão teria que ser realizado pelo distribuidor de energia elétrica na região, a CEMIG.

## 5.2 USO DIRETO

A venda de GAS para uso direto às instalações industriais próximas pode gerar um importante retorno, ao mesmo tempo em que exige menos custos iniciais do que a venda de GAS para uma empresa de energia. A menos que o cliente de uso direto esteja localizado muito perto do aterro sanitários, será necessário um duto para a transmissão de GAS. Se o projeto de uso direto exigir o transporte de GAS a uma longa distância para o usuário final, em geral será necessária a compressão do gás e o *skid* de tratamento (filtro, compressor ou soprador e unidade de desidratação). As exigências para o tratamento do GAS também são influenciadas pelo equipamento que utilizará o GAS. Dependendo do nível de tratamento necessário, o *skid* de tratamento de gás custa aproximadamente US\$400 a US\$500 por m<sup>3</sup>/hora de GAS que é tratado. A construção de um duto é o item de maior custo, ao redor de US\$150.000 a US\$175.000 por km (considerando trincheiras abertas e sem incluir o pagamento de direitos de propriedade para permissão de passagem do gasoduto), portanto a viabilidade do projeto é em grande parte determinada pela distância dos usuários finais. Os custos de O&M anuais são de cerca de US\$100 a US\$150 por m<sup>3</sup>/hora de LFG. Além disso, se o duto de GAS puder ser construído sobre a superfície, os custos podem ser reduzidos de maneira significativa.

A cerca de 6 a 8 quilômetros do aterro há um enorme complexo industrial químico produtor de fertilizantes. A maior indústria é Fosfertil, um dos maiores produtores de matérias-primas para fertilizantes do Brasil, e dentre as outras indústrias localizadas na área estão Bunge, Fertibras, Fertigram, Yara, Guarani, Ipiranga, Petrobras e Heringer. Muitas dessas indústrias parecem usar grandes quantidades de combustíveis fósseis para produzir fertilizantes. O complexo industrial químico está espalhado por três setores. O mais próximo, o Setor 3, está localizado a cerca de 6km do aterro. Uma rota teórica para o gasoduto é apresentada na Figura 12.

Além disso, a Petrobrás, em cooperação com o Estado de Minas Gerais por meio da CEMIG, está planejando ampliar o fornecimento de gás natural ao Centro Industrial com a instalação de dutos para a transmissão de gás natural de 12 polegadas para levar gás de São Carlos, SP. Com esse importante aumento no fornecimento de gás natural, isso possibilitará um investimento aproximado de R\$5 bilhões, incluindo fábricas de amônia e ureia, assim como o investimento por parte da CEMIG na geração termelétrica a gás natural.

A estrada do Aterro ao Centro Industrial não está completamente terminada, o que permitiria que um gasoduto fosse construído de maneira relativamente fácil a um preço comparativamente baixo.

**Figura 12 – Rota Teórica do Gasoduto para o Centro Industrial**

Comprimento do duto: 7.74 km

A viabilidade para um projeto de uso direto será orientada pelos seguintes fatores: (1) a distância entre o usuário final e o aterro; (2) a qualidade da demanda do usuário final de energia térmica (demanda alta e estável); (3) o custo do combustível atual do usuário final (ex.: custo do gás natural,<sup>10</sup> carvão, petróleo, etc. no mercado); (4) a complexidade e o custo de conversão dos sistemas existentes para a utilização de GAS; e (5) a qualidade do GAS que o usuário final necessita para os seus processos.

O preço do gás natural para os usuários industriais é bastante alto. Por exemplo, a tarifa regulada publicada para outubro de 2010 para usuários industriais no estado de São Paulo, que usam mais de 2.000.000 m<sup>3</sup> de gás natural por mês, era de R\$23.34 por MMBtu<sup>11</sup> e este preço tem sido bastante constante. No entanto, os grandes usuários industriais têm a possibilidade de negociar melhores condições em acordos bilaterais.

10 . O custo de gás natural para um usuário industrial é calculado pelo distribuidor de gás natural local e regulado pelo estado. A tarifa final consiste de custo fixo mais um custo variável.

11 ComGas Tariffs - <http://www.comgas.com.br/tarifas.asp>

### 5.3 QUEIMA DIRETA DO METANO E O COMÉRCIO DE EMISSÕES

É possível contabilizar e transferir a redução de emissão de gases de efeito estufa que resultam das atividades que reduzem ou captam quaisquer dos seis principais gases de efeito estufa. Devido ao fato de que o metano gerado a partir da disposição de resíduos sólidos na terra é uma das maiores fontes de emissões de gás de efeito estufa, a sua captura e a sua oxidação para dióxido de carbono resulta em um benefício para o meio ambiente. Esse benefício pode ser medido e comercializado segundo vários programas mundiais diferentes de comercialização de redução de emissões, incluindo as Reduções de Emissões Certificadas (CERs) do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Enquanto que este programa é atualmente válido apenas até 2012, espera-se que um mecanismo equivalente entre em vigor depois de 2012.

Para corresponder às exigências da comercialização de reduções de emissão, normalmente um projeto deve ter condições de provar que não tem nenhum requisito previsto na lei ou demandado pelas licenças para a disposição de resíduos ou outras regulamentações, para controlar a emissão do gás de efeito estufa relacionado ao projeto. A SCS entende que neste caso o Aterro Sanitário de Uberaba, tanto segundo a legislação e as regulamentações brasileiras e do Estado de Minas Gerais, não necessita coletar e destruir o GAS.

Enquanto a queima do metano é um método normal para a oxidação térmica de GAS, qualquer processo que evite a emissão de metano na atmosfera também corresponderia às exigências para a comercialização de reduções de emissão (como a queima de GAS em um grupo gerador de energia ou um boiler de uma indústria que use o GAS).

Se a produção de energia elétrica estiver incluída também, e essa energia for exportada para a rede de distribuição local ou usada para deslocar outra eletricidade gerada pela combustão de combustíveis fósseis, é possível ganhar reduções de emissão adicionais como resultado do deslocamento do uso de combustível fóssil. No entanto, dado que a energia hidrelétrica abastece a maioria da rede elétrica brasileira, consideramos que a quantidade de carbono e de gases de efeito estufa criado a partir do deslocamento da eletricidade derivada do combustível fóssil seria insignificante.

Embora não seja uma opção de utilização do GAS capturado, queimá-lo produziria, portanto, importantes benefícios para o meio ambiente e possíveis retornos com a venda de CERs. Pelo fato das CERs serem em geral a única fonte de retorno de um projeto da queima direta de metano, os preços pagos pelas CERs determinarão em grande parte a viabilidade econômica do projeto. Um projeto de queima direta de metano produzirá menos retorno do que outras opções de projeto, mas pode ser mais economicamente viável para se desenvolver no aterro devido aos custos muito menores de investimento. Além disso, um projeto de queima direta de metano não impede que o aterro desenvolva e implemente um projeto subsequente de utilização do GAS. Uma abordagem por fases pode reduzir os riscos do projeto ao permitir que se faça uma prova da quantidade de GAS que o aterro pode produzir, recuperar o custo do sistema de coleta de GAS (e, desta forma, não sobrecarregar o projeto de utilização com o financiamento do sistema de coleta) e proporcionar uma base de retorno que ajuda a financiar o desenvolvimento do projeto

de utilização. Além disso, ter duas fontes de retorno a partir das reduções de carbono e de gases de efeito estufa e a partir da venda de energias renováveis reduz os riscos do projeto. Caso uma abordagem em fases seja escolhida, é muito importante que o conceito para uma segunda fase do projeto de utilização de GAS seja incluído em qualquer documento de elaboração de projeto (PDD, *Project Design Document*). Mesmo que todos os detalhes sejam conhecidos, um conceito geral deve ser introduzido para permitir a modificação do PDD em lugar de rerepresentar um PDD completo.

## 6.0 OUTRAS CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

### 6.1 DIREITOS SOBRE O GÁS DO ATERRO SANITÁRIO

Para que qualquer projeto de GAS se torne realidade, a propriedade dos direitos sobre o gás precisa ser claramente definida. As disputas dos direitos sobre o gás precisam ser estabelecidas antes que se tomem decisões quanto a prosseguir com um projeto, as negociações de contrato ou a divisão de retorno.

O Aterro Sanitário de Uberaba é propriedade do Município. A Prefeitura concedeu as operações do aterro sanitário à Uberaba Ambiental, S.A. por meio de um contrato de concessão de 20 anos. No momento da visita ao terreno, a Prefeitura declarou firmemente que tem direitos sobre o GAS.

### 6.2 SEGURANÇA E CATADORES

A segurança no aterro é adequada para o desenvolvimento de um projeto de utilização de GAS e o aterro não tem catadores.

## 7.0 RECOMENDAÇÕES

Esta seção apresenta recomendações gerais que visam aumentar as chances de desenvolver um projeto bem-sucedido de utilização de GAS ou de somente queima de metano.

### 7.1 GESTÃO DO TERRENO

**Plano de Desenvolvimento do Aterro (Fases).** Para desenvolver um plano realista para a implantação do sistema de coleta de GAS, o aterro deve primeiro estabelecer um plano de desenvolvimento do aterro ou um plano de fases. Um plano de fases para o aterro proporcionará mais precisão ao cronograma para a implantação do projeto de GAS e a ampliação do sistema de coleta em todas as fases do aterro. Este plano também ajudará a determinar como a cobertura do sistema de coleta pode ser ampliada ao longo da duração do projeto de GAS.

**Cobertura Intermediária** A cobertura intermediária deve ser removida antes de a nova plataforma ser instalada (na medida do possível). A rede de drenagem de pedras instalada em cada camada intermediária poderia também ser eliminada, usando as pedras para serem instaladas na camada de base. Esta abordagem aumentará a remoção de chorume, o espaço aéreo

do aterro e reduzirá o número de zonas suspensas e poças que pode ocorrer no alto de cada camada intermediária.

**Gestão de Águas Pluviais.** Durante a estação chuvosa, a chuva que cai sobre a superfície do aterro tem o potencial de se infiltrar na massa de resíduos na frente de trabalho ou próximo a esta e produzir chorume. É importante que o aterro seja projetado com inclinações e declives superficiais adequados (trincheiras, rampas, etc.) para evitar a formação de poças de água ou erosão excessiva. A área ativa de disposição e a frente de trabalho devem ser minimizadas, em particular, durante a estação chuvosa.

## 7.2 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Abaixo seguem as etapas recomendadas para a implantação de um projeto de utilização de GAS ou de somente queima de metano.

- *Direitos sobre o GAS:* Verificar e registrar em documento que a Prefeitura tem direitos sobre o GAS e que o operador do aterro sanitário, Uberaba Ambiental S.A., não pode reivindicar esses direitos. Se houver algum desacordo, discutir com os acionistas legítimos como dividir de maneira igualitária os benefícios e registrar qualquer acordo em documento. Como orientação geral, recomendamos que qualquer benefício recebido como resultado do GAS deva ser confrontado com o nível de risco incorrido. Por exemplo, a entidade responsável pelas obrigações ambientais do aterro deverá receber a maior parte dos benefícios ambientais do projeto (ex.: atributos ambientais/verdes).
- *Solicitar Ofertas:* Uma vez que as questões referentes ao direito sobre o gás tenham sido resolvidas, a Prefeitura (ou o(s) dono(s) dos direitos sobre o GAS) deve solicitar ofertas para desenvolver o projeto. Se o licitante vencedor for obrigado a aplicar um capital considerável, então os direitos sobre o GAS provavelmente serão transferidos para o licitante vencedor em troca de algum tipo de benefício (em geral, o pagamento com base na quantia de GAS disponível ou usada). Se a Prefeitura preferir desenvolver por conta própria o projeto de queima direta de metano para redução de carbono e gases de efeito estufa, então deve começar o processo do projeto de implantação, incluindo as seguintes etapas.
  - Contratar uma entidade qualificada com experiência na implantação de projetos de redução de carbono e gases de efeito estufa para orientar a Prefeitura no desenvolvimento do projeto.
  - Preparar um projeto e um orçamento para o sistema de extração de GAS.
  - Preparar um Documento de Elaboração de Projeto (PDD).
  - Conseguir a aprovação do órgão nacional pertinente.
  - Conseguir que uma terceira parte qualificada valide o projeto.

- Enviar o projeto para o cartório selecionado ou programa de carbono e gases de efeito estufa para o registro e aprovação.
- *Outras Considerações:* Se uma abordagem em fases for adotada, certificar-se de que há a possibilidade de utilização do GAS ser preservada. Incluir a previsão para um projeto de utilização de GAS em segunda fase no PDD. Mesmo que todos os detalhes sejam conhecidos, um projeto conceitual de utilização geral deve ser introduzido para permitir a modificação do PDD em lugar de uma reapresentar um PDD completo. Dar ao licitante vencedor um período de tempo razoável para implantar o projeto de utilização, após este período, pode-se perder os direitos sobre o projeto. Se o licitante vencedor não tiver a intenção de desenvolver ou não lhe forem concedidos os direitos de um projeto de utilização de GAS, os donos dos direitos sobre carbono e gases de efeito estufa devem preservar esses direitos de desenvolver um projeto de utilização no futuro, junto com atributos ambientais associados com o projeto de utilização (ex. CERs).

## 8.0 CONCLUSÕES

Um projeto de recuperação de GAS no Aterro Sanitário de Uberaba está projetado para render uma quantia modesta de GAS nos próximos anos que aumentará de cerca de 350 m<sup>3</sup>/hr em 2012 a um máximo de cerca de 1.250 m<sup>3</sup>/hr em 2027. Com base nas projeções de recuperação de GAS contidas neste relatório, provavelmente não haverá combustível suficiente para operar uma usina de energia elétrica de 1 MW até 2017. Os projetos alternativos incluem o uso direto de uma das fábricas de fertilizantes industriais localizadas próximo ao Centro Industrial de Uberaba, ou queima apenas para os créditos de redução de emissão de carbono e gases de efeito estufa. Se o projeto de utilização for realizado, uma abordagem por fases deverá ser adotada, sendo que o projeto de queima direta e créditos carbono e gases de efeito estufa deve ser implantado na primeira fase, seguido pelo projeto de utilização, logo que a quantidade e a qualidade do gás sejam verificadas. Os créditos de redução de emissão projetados associados à combustão de GAS totalizam cerca de 390.000 Mg CO<sub>2</sub>e ao longo de um período de 10 anos (2012 – 2021), segundo as projeções de recuperação de GAS. Um estudo mais detalhado é necessário para avaliar as opções de projetos específicos identificados que incluam uma análise detalhada dos retornos, custos de construção e de operação, financiamento, localização do usuário final e demanda do mesmo, considerações tecnológicas e determinação da viabilidade econômica das várias opções de projeto. A Prefeitura deve considerar a obtenção de outras fontes de resíduos dos setores agrícola, comercial e industrial, em particular aqueles que geram resíduos com alto teor orgânico. Essas fontes geradoras de resíduos devem ser submetidas a uma cobrança de um valor por tonelada e poderiam gerar uma importante fonte de renda para a Prefeitura.

ANEXO A

RESULTADOS DO MODELO GAS

---

**TABELA A-1**  
**PROJEÇÃO DA GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO GÁS DO ATERRO EM CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO MÉDIA**  
**ATERRO DE UBERABA, UBERABA, MG**

Ano	Taxa de Disposição (Mg/yr)	Resíduo aterrado (Mg)	Geração de Biogás (m <sup>3</sup> /hr) (cfm) (mmBtu/hr)			CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO MÉDIA								
						Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Capacidade Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m <sup>3</sup> /hr)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**		
							(m <sup>3</sup> /hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)			(ton CH <sub>4</sub> /ano)	(ton CO <sub>2</sub> eq/ano)	
2006	60,090	60,090	0	0	0.0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2007	66,610	126,700	161	94	2.9	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2008	69,180	195,880	313	184	5.6	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2009	68,100	263,980	437	257	7.8	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2010	72,000	335,980	531	312	9.5	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2011	75,460	411,440	615	362	11.0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	
2012	79,080	490,520	692	407	12.4	50%	346	204	6.2	0.6	0	1,086	22,801	
2013	82,870	573,390	764	450	13.7	52%	397	234	7.1	0.7	0	1,248	26,204	
2014	86,850	660,240	834	491	14.9	54%	451	265	8.1	0.7	0	1,415	29,705	
2015	91,020	751,260	903	532	16.1	56%	506	298	9.0	0.8	0	1,588	33,342	
2016	95,390	846,650	971	572	17.4	58%	563	332	10.1	0.9	0	1,769	37,149	
2017	99,970	946,620	1,040	612	18.6	60%	624	367	11.2	1.0	0	1,960	41,152	
2018	104,770	1,051,390	1,110	653	19.8	61%	677	399	12.1	1.1	0	2,126	44,645	
2019	109,800	1,161,190	1,181	695	21.1	62%	732	431	13.1	1.2	0	2,299	48,288	
2020	115,070	1,276,260	1,254	738	22.4	63%	790	465	14.1	1.3	0	2,481	52,100	
2021	120,590	1,396,850	1,329	782	23.8	64%	851	501	15.2	1.4	0	2,671	56,097	
2022	126,380	1,523,230	1,407	828	25.1	65%	915	538	16.3	1.5	0	2,871	60,296	
2023	132,440	1,655,670	1,487	875	26.6	66%	982	578	17.5	1.6	0	3,082	64,713	
2024	138,800	1,794,470	1,570	924	28.1	67%	1,052	619	18.8	1.7	0	3,303	69,363	
2025	145,460	1,939,930	1,656	975	29.6	68%	1,126	663	20.1	1.9	0	3,536	74,263	
2026	131,070	2,071,000	1,746	1,028	31.2	69%	1,205	709	21.5	2.0	0	3,782	79,429	
2027	0	2,071,000	1,782	1,049	31.8	70%	1,247	734	22.3	2.1	0	3,916	82,244	
2028	0	2,071,000	1,461	860	26.1	75%	1,096	645	19.6	1.8	0	3,441	72,260	
2029	0	2,071,000	1,194	703	21.3	75%	896	527	16.0	1.5	0	2,813	59,063	
2030	0	2,071,000	996	586	17.8	75%	747	440	13.4	1.2	0	2,346	49,265	
2031	0	2,071,000	847	498	15.1	75%	635	374	11.4	1.1	0	1,994	41,879	
2032	0	2,071,000	732	431	13.1	75%	549	323	9.8	0.9	0	1,724	36,213	
2033	0	2,071,000	643	378	11.5	75%	482	284	8.6	0.8	0	1,513	31,783	
2034	0	2,071,000	571	336	10.2	75%	428	252	7.7	0.7	0	1,345	28,249	
2035	0	2,071,000	513	302	9.2	75%	385	226	6.9	0.6	0	1,208	25,370	

**PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO:**

Conteúdo de metano estimado no Biogás:	50%			
	<u>Dec.Ráp.</u>	<u>Dec.Med.</u>	<u>Dec.Lento</u>	<u>Lo.Total</u>
Taxa constante de decaimento (k):	0.360	0.072	0.018	
Potencial de Geração de CH <sub>4</sub> (Lo) (ft <sup>3</sup> /ton):	2,325	6,564	5,890	2,679
Metric Equivalent Lo (m <sup>3</sup> /Mg):	73	205	184	84

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10,800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). CERs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de CERs para o período de 2012-2021 = **391,483 tons CO<sub>2</sub>e**  
 Média anual de CERs período > 10 anos = **39,148 tons CO<sub>2</sub>e**

**TABELA A-2**  
**PROJEÇÃO DA GERAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO GÁS DO ATERRO EM CENÁRIOS DE ALTA E BAIXA RECUPERAÇÃO**  
**ATERRO DE UBERABA, UBERABA, MG**

Ano	CENÁRIO DE RECUPERAÇÃO ALTA								LOW RECOVERY SCENARIO							
	Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Capacidade Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m3/hr)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**		Eficiência Sistema de Coleta (%)	Recuperação de Biogás Prevista			Capacidade Máxima de Geração* (MW)	Linha Base** Vazão de Biogás (m3/hr)	Redução de Emissões de Metano Estimadas**	
		(m <sup>3</sup> /hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)			(ton CH4/ano)	(ton CO2eq/ano)		(m <sup>3</sup> /hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)			(ton CH4/ano)	(ton CO2eq/ano)
2006	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2007	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2008	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2009	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2010	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2011	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0%	0	0	0.0	0.0	0	0	0
2012	60%	415	244	7.4	0.7	0	1,303	27,362	35%	242	142	4.3	0.4	0	760	15,961
2013	62%	474	279	8.5	0.8	0	1,488	31,244	37%	283	166	5.1	0.5	0	888	18,645
2014	64%	534	314	9.5	0.9	0	1,676	35,206	39%	325	192	5.8	0.5	0	1,022	21,453
2015	66%	596	351	10.7	1.0	0	1,871	39,296	41%	370	218	6.6	0.6	0	1,162	24,411
2016	68%	661	389	11.8	1.1	0	2,074	43,554	43%	418	246	7.5	0.7	0	1,311	27,541
2017	70%	728	429	13.0	1.2	0	2,286	48,010	45%	468	276	8.4	0.8	0	1,470	30,864
2018	71%	788	464	14.1	1.3	0	2,474	51,963	46%	511	301	9.1	0.8	0	1,603	33,666
2019	72%	851	501	15.2	1.4	0	2,670	56,076	47%	555	327	9.9	0.9	0	1,743	36,605
2020	73%	916	539	16.4	1.5	0	2,875	60,370	48%	602	354	10.8	1.0	0	1,890	39,695
2021	74%	984	579	17.6	1.6	0	3,089	64,863	49%	651	383	11.6	1.1	0	2,045	42,950
2022	75%	1,055	621	18.9	1.7	0	3,313	69,573	50%	703	414	12.6	1.2	0	2,209	46,382
2023	76%	1,130	665	20.2	1.9	0	3,548	74,518	51%	758	446	13.6	1.3	0	2,381	50,006
2024	77%	1,209	712	21.6	2.0	0	3,796	79,715	52%	817	481	14.6	1.4	0	2,564	53,834
2025	78%	1,292	760	23.1	2.1	0	4,056	85,184	53%	878	517	15.7	1.5	0	2,756	57,881
2026	79%	1,379	812	24.6	2.3	0	4,330	90,940	54%	943	555	16.8	1.6	0	2,960	62,162
2027	80%	1,426	839	25.5	2.4	0	4,476	93,993	55%	980	577	17.5	1.6	0	3,077	64,620
2028	85%	1,242	731	22.2	2.1	0	3,900	81,894	60%	877	516	15.7	1.5	0	2,753	57,808
2029	85%	1,015	598	18.1	1.7	0	3,188	66,939	60%	717	422	12.8	1.2	0	2,250	47,251
2030	85%	847	498	15.1	1.4	0	2,659	55,834	60%	598	352	10.7	1.0	0	1,877	39,412
2031	85%	720	424	12.9	1.2	0	2,260	47,463	60%	508	299	9.1	0.8	0	1,595	33,503
2032	85%	622	366	11.1	1.0	0	1,954	41,042	60%	439	259	7.9	0.7	0	1,380	28,971
2033	85%	546	322	9.8	0.9	0	1,715	36,021	60%	386	227	6.9	0.6	0	1,211	25,427
2034	85%	486	286	8.7	0.8	0	1,525	32,015	60%	343	202	6.1	0.6	0	1,076	22,599
2035	85%	436	257	7.8	0.7	0	1,369	28,752	60%	308	181	5.5	0.5	0	966	20,296

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10,800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). CERs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de CERs para o período de 2012-2021 = **457,943 tons CO2e**

**NOTAS:**

\* Capacidade máxima de geração assume índice de calor total de 10,800 Btus por kW-hr (hhv).  
 \*\*Linha base de vazão não assume recuperação de biogás (sem combustão). CERs não contam para geração de energia, diminuição do tempo de vida útil ou destruição pressuposta do metano.  
 Total de CERs para o período de 2012-2021 = **248,843 tons CO2e**