

# **PRÉ ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECÔNOMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM UM ATERRO SANITÁRIO DE MÉDIO PORTE NO ESTADO DO CEARÁ**

**GUILLAUME LAUGER (UFC)**

guillaume.lauger@imelavi.fr

**MAXWEEL VERAS RODRIGUES (UFC)**

maxweelveras@gmail.com

**JOSÉ CAPELO NETO (UFC)**

capelo@ufc.br

**Resumo:** *O OBJETIVO PRINCIPAL DESTA TRABALHO FOI REALIZAR UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO DE MÉDIO PORTE NO ESTADO DO CEARÁ. ACONTECE, EM ATERROS SANITÁRIOS, O FENÔMENO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERANDO BIOGÁS. ESTE BIOGÁS PODE SER RECUPERADO E UTILIZADO PARA GERAR ELETRICIDADE. ESTE ESTUDO DE CASO COMPÕE-SE DA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS, DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA UTILIZADO E DE UMA ANÁLISE ECONÔMICA. O MESMO FOI BASEADO EM TRÊS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS, E TRÊS CENÁRIOS DE VENDA DE ELETRICIDADE FORAM APLICADOS A ESSES CENÁRIOS DE PRODUÇÃO. ESTE MÉTODO DE ANÁLISE GEROU UMA BASE DE ANÁLISE DE NOVE CENÁRIOS QUE DEMONSTROU QUE A VIABILIDADE ECONÔMICA DO MODELO APRESENTA UMA SENSIBILIDADE AO PREÇO DE VENDA DE ELETRICIDADE MAIS ELEVADA QUE AOS FATORES DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.*

**Palavras-chaves:** *BIOMASSA; DIGESTÃO ANAERÓBIA; RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS; GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*

## **PRE STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF ENERGY DEVELOPMENT IN A MEDIUM SIZE LANDFILL IN THE STATE OF CEARA.**

**Abstract:** *THE MAIN OBJECTIVE OF THIS WORK WAS TO STUDY THE TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF BIOGAS ENERGY UTILIZATION IN A MEDIUM SIZED LANDFILL IN THE STATE OF CEARA. IT HAPPENS IN LANDFILLS, THE PHENOMENON OF ANAEROBIC DIGESTION WITH MUNICIPAL SOLID WASTE GENERATING BIOGAS. THIS BIOGAS CAN BE RECOVERED AND USED TO GENERATE ELECTRICITY. THIS CASE STUDY COMPRISES THE ANALYSIS OF BIOGAS PRODUCTION, THE SIZING SYSTEM USED AND AN ECONOMIC ANALYSIS. IT WAS BASED ON THREE SCENARIOS OF BIOGAS PRODUCTION, AND THREE SCENARIOS FOR THE SALE OF ELECTRICITY WERE APPLIED TO THESE PRODUCTION SCENARIOS. THIS METHOD OF ANALYSIS GENERATED A BASIS FOR ANALYSIS OF NINE SCENARIOS THAT DEMONSTRATED THE ECONOMIC VIABILITY OF THE MODEL SHOWS A SENSIBILITY TO THE SELLING PRICE OF ELECTRICITY HIGHER THAN THE FACTORS OF PRODUCTION OF BIOGAS.*

**Keyword:** *BIOMASS ; ANAEROBIC DIGESTION ; MUNICIPAL SOLID WASTE ; ELECTRIC POWER GENERATION*

## 1. Introdução

Segundo o Banco Mundial (2004), existem 117 municípios de mais de 500.000 habitantes na América Latina e Caribe (ALC), produzindo no total cerca de 74 Milhões de toneladas por anos de resíduos sólidos. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), a população brasileira que é de aproximadamente 170 milhões de habitantes, produz por dia cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos.

Segundo os Balanços Energéticos Nacionais (BEN) entre 2002 e 2008, a demanda em energia elétrica no Brasil aumentou mais de 100 terawatts-horas e a tendência para os próximos anos é seguir esse aumento. Além disso, o Brasil precisa reduzir a dependência à energia hidráulica que, segundo o BEN (2008), é equivalente a mais de 70% da matriz da energia elétrica.

Segundo Macedo(2009), a participação dos aterros sanitários sem sistema de aproveitamento energético do biogás nas formas de tratamento e destinação dos resíduos do Brasil é equivalente a 36%. Além disso, nenhum aterro sanitário no Ceará se encontra equipado de forma adequada. O potencial de desenvolvimento dos sistemas de aproveitamento do biogás de aterro sanitário é importante. Estes diferentes aspectos provocam a necessidade de se realizar um estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento energético do biogás em aterro de médio porte no estado do Ceará.

O presente estudo apresenta as seguintes delimitações: A vida útil do aterro sanitário corresponde a 20 anos; o cálculo da viabilidade econômica da central de produção de energia elétrica será feito com base nos 10 anos de maior produtividade de biogás; o tipo de sistema de transformação do biogás estudado é limitado a um motor de combustão interna (4 tempos); os outros sistemas de conversão da biomassa (co-geração, pirólise, gaseificação, etc..) não serão abordados; e o sistema de Crédito Carbono do Protocolo de Quioto não será abordado na análise realizada.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1 Proporções de RSU coletado no Ceará

Segundo Lessa e Mota (2009), as proporções dos componentes da massa total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de Fortaleza são as apresentadas na Tabela 1. O entulho não é tratado no aterro sanitário, aumentando as proporções, se comparando ao total dos outros componentes.

TABELA 1 – Proporções dos componentes

Componente	Percentual em massa (%)
Resto de alimentos	35,4
Restos de podas	15,8
Plásticos moles	9,0
Papel higiênico/frada	7,2
Coco	5,2
Trapos	4,5
Papel branco	3,8
Papelão	3,6
Plásticos duros	2,8
Filme	2,7
Vidros	2,5
Ferro	1,9
PET	1,8
Tetrapak®	1,3
Borracha	0,8
Alumínio	0,7
Osso	0,5
Aço	0,4
Madeira	0,0

Adaptado da fonte: Lessa E.R e Suetônio Motta, 2008

## 2.2 Aspectos da digestão anaeróbia

A transformação da matéria orgânica passa por uma sucessão de etapas metabólicas, realizadas por diferentes populações de micro-organismos. Segundo Guimarães e Nour (2001), desde o início da degradação da matéria orgânica até os produtos finais (principalmente  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ), existe uma troca entre as várias espécies de bactérias, atuando seqüencial e simultaneamente, ou seja, os produtos de degradação são os substratos para uma etapa seguinte. É importante ressaltar que as diversas reações ocorrem concomitantemente e em situação de equilíbrio.

As primeiras reações são de hidrólise e de acidogênese que transformam a matéria orgânica sólida em intermediários, tais como os ácidos graxos voláteis (AGV), os alcoóis, o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrogênio e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ , ou dióxido de carbono). A segunda fase é a acetogênese, que converte os produtos da acidogênese em acetato,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Essa fase ocorre simultaneamente à acetogênese que consiste na formação de ácido acético a partir do hidrogênio e do gás carbônico. A última etapa é a metanogênese que é feita a partir do ácido acético (metanogênese acetoclástica) e da redução de  $\text{CO}_2$  pelo  $\text{H}_2$  (metanogênese hidrogenotrófica) (MOLETTA, 2008).

Segundo Bayard e Gourdon (2010), a temperatura do processo de digestão anaeróbia é muito importante. É essa temperatura que vai definir a velocidade de biodegradação. Existem três níveis de temperatura: biótipo psicrófilo: (entre 5 e 15°C), mesófilo (entre 15 e 45°C), termófilo (entre 45 e 65°C). Os domínios mais eficientes são o mesófilo e o termófilo. Essas zonas de temperatura aceleram as velocidades de biodegradação e, conseqüentemente, a produção do metano. A temperatura deve ser constante, sem grandes variações diárias (não mais que 1°C).

Segundo Bayard e Gourdon (2010), a zona ótima do pH para a digestão anaeróbia situa-se perto da neutralidade. As bactérias metanogênicas são fortemente inibidas em pH abaixo de 6 e as bactérias acidogênicas aceitam melhor o pH abaixo deste nível. Para evitar a inibição das bactérias acetogênicas e metanogênicas é melhor trabalhar em um pH entre 7,5 e 8,0. Essa faixa de pH funciona como uma margem de segurança para corrigir possíveis reduções do pH. O pH é o parâmetro principal de controle do processo de digestão anaeróbia.

### 2.3 Composição do biogás obtido

De acordo com Gay (2002), o biogás obtido é relativamente rico em metano e tem poder calorífico inferior (PCI) de aproximadamente  $6,4 \text{ kWh.Nm}^{-3}$ . Por comparação,  $1 \text{ m}^3$  de metano equivale a 1,15L gasolina. A composição é apresentada na tabela 2 a seguir.

TABELA 2- Composição do biogás

Composto	Concentração média (%)
Metano	50 a 75
Dióxido de carbono	25 a 45
Gás sulfídrico	0,01 a 1
Nitrogênio	2 a 6
Hidrogênio	0,1 a 2

Fonte: Gay (2002).

### 2.4 Modelo matemático de produção do biogás

A velocidade de produção do biogás no aterro não é constante. Existem diferentes modelos matemáticos para definir a produção em um aterro. A maioria supõe um decrescimento de primeira ordem, em que a velocidade de produção do biogás é proporcional à quantidade de matéria biodegradável que permanece. Nesse conjunto de modelos, existe o modelo da Agência Ambiental Norte Americana, EPA (Environmental Protection Agency).

O modelo EPA baseia-se na equação (1) de primeira ordem:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) \times e^{kt_{ij}} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  = geração anual de metano no ano de cálculo ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )

$i$  = incremento de um ano

$n$  = (ano de cálculo) - (ano do início de operação do aterro)

$j$  = incremento de 0,1 ano

$k$  = taxa de geração de metano ( $\text{ano}^{-1}$ )

$L_0$  = capacidade potencial de geração de metano ( $\text{m}^3/\text{Mg}$ )

$M_i$  = massa de lixo recebida no  $i$ -ésimo ano (Mg)

$t_{ij}$  = idade da  $j$ -ésima seção da massa de lixo  $M_i$  recebida no  $i$ -ésimo ano (ano decimal, por exemplo: 3,2 anos)

Segundo a EPA (2009), o coeficiente  $k$  determina a taxa de produção de metano em função da qualidade dos resíduos no aterro. Quanto mais elevado for esse coeficiente, mais rapidamente a geração de metano crescerá e diminuirá no tempo. Esse coeficiente varia em função dos seguintes fatores: proporção de umidade na massa de RSU, quantidade de nutriente para as bactérias anaeróbias que vão transformar o lixo em metano e gás carbônico, pH do RSU e temperatura do aterro. O coeficiente  $L_0$  depende somente do tipo e da composição dos resíduos dispostos no aterro. Quanto maior o volume de matéria orgânica, maior será o valor desse dado.

## 2.5 Sistema de coleta e transformação

O sistema de coleta e transformação do biogás compõe-se de poços no aterro sanitário, tubulações para veicular o biogás, um sistema de ventilação e queima do biogás e a central elétrica para transformar a energia calorífica do biogás em energia elétrica.

O modo mais convencional para drenar o biogás consiste em extrair o gás com poços verticais. De acordo com Billard (2001), é recomendado utilizar tubulações de polietileno perfuradas em razão da resistência à corrosão, da resistência mecânica e da plasticidade. O diâmetro é geralmente entre 100 e 200mm. Os poços podem ser perfurados com brocas ou ainda construídos durante a formação do aterro. O espaço entre a tubulação de captação e o poço deve ser preenchido com brita. Segundo Tchobanoglous et al (1993), o raio da área de captação de um poço vertical é de 150 a 200ft (em função do tipo de RSU no aterro sanitário), ou seja, entre 46,5 e 62 metros.

Segundo EPA (2009), o motor de combustão interna é o mais comumente utilizado em aplicações de tecnologia de conversão de biogás. De fato, mais de 70 por cento dos aterros sanitários equipados com sistema de transformação, utilizam os motores de combustão interna. A razão para tão ampla utilização é o seu custo relativamente baixo, eficiência elevada e bom tamanho. Além disso, os motores de combustão interna conseguem funcionar com uma vazão de biogás não constante. Muitos motores de combustão interna para este fim, são capazes de produzir de 800 kilowatts (kW) a 3 megawatts (MW) e o fluxo de biogás para esses motores é de aproximadamente 0,4-1.6 milhão pés cúbicos por dia (cfm) para uma proporção de 50% de metano no biogás, além do que, vários motores podem ser combinados para atingir potências maiores que 3 MW.

## 2.6 Investimento inicial e custo de operação e manutenção

Segundo a SCS Engineers (2005a), o investimento inicial de um sistema de recuperação de biogás em um aterro são a mobilização e gestão do projeto, a tubulação de coleta de gás, os poços de Drenagem verticais, passarelas, a construção do abrigo do gerador, a central de energia (motor de combustão interna), o equipamento de Ventilação e Queima, a conexão de eletricidade e a engenharia/contingência.

Além disso, segundo a SCS Engineer (2005a), os custos de operação e manutenção (O&M) de um sistema de coleta de biogás em um aterro são a mão de obra, as revisões do



equipamento, as peças e componentes, as coberturas dos poços, a tubulação e a engenharia/contingências.

Os custos de manutenção são relativamente difíceis de estimar. Segundo o Banco Mundial (2004), a etapa potencialmente mais crucial, de apoio técnico aos estudos de pré-investimento são as estimativas dos custos para a operação e manutenção, tanto do sistema de coleta quanto do sistema de aproveitamento. Segundo a SCS (2005b), desenvolvendo-se um estudo em Muribeca para o Banco Mundial, verificou-se que os custos orçamentários para a operação e manutenção do sistema de biogás são aproximadamente 10% dos custos de instalação do sistema.

## 2.7 Análise do investimento

Segundo Casarotto e Hartmut (2000), o método do Valor Líquido Presente (VPL) consiste em encontrar a série uniforme anual (A) equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos a uma determinada TMA, ou seja, acha-se a série uniforme equivalente a todos os custos e receitas utilizando a TMA em um período definido. Ao final desse período definido, se o VPL é superior a zero, o projeto é rentável, se não, o projeto não é rentável. A seguir, apresenta-se a equação 2 do cálculo do VPL :

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Onde:

t= ano em que o VPL é calculado

n= período definido (em anos)

FC= Fluxo de Caixa (em US\$)

i= TMA

De acordo com Motta e Calôba (2009), A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo. a TIR é o valor da taxa de desconto que anula o Valor Presente Líquido obtido pela soma algébrica de todos os fluxos de caixa, expressa em porcentagem.

$$\sum_{j=0}^n FC_j \times \left( \frac{1}{(1+i)^j} \right) = 0 \quad (3)$$

Onde:

i: Taxa Interna de Retorno (TIR)

FCj: Um Fluxo de Caixa qualquer, genérico, para j= [0,n]

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Aterro sanitário de médio porte no Estado do Ceará

As dimensões utilizadas para efeito de cálculos são as dimensões do aterro da cidade do Crato no estado do Ceará, uma vida útil do aterro sanitário de 20 anos, uma densidade média do resíduo compactado de 0,70 t/m<sup>3</sup>, uma quantidade de resíduos gerados pelo total de habitantes e transportados ao aterro sanitário nos 20 anos de 4.300.000 toneladas totais (aproximadamente 500.000 habitantes) e todos estes resíduos sólidos repartidos em três trincheiras.

### 3.2 Definição dos cenários para aplicação do método proposto

É considerada a instalação da central no ano 2022, o começo de funcionamento em 2023 e o fechamento será no final do ano 2032. Três cenários serão considerados: o melhor, com os valores mais otimistas de taxa de geração de metano (k) e de capacidade potencial de geração de metano (Lo), um pior, com os valores mais pessimistas, e um médio.

Os valores dos cenários são definidos da seguinte forma: o médio é calculado em função dos dados conhecidos, e os outros cenários serão ponderados com um fator de 25% para os valores de k e de 10% para os valores de Lo. A central funcionará de 2023 ao final de 2032, ou seja 10 anos. A avaliação econômica será feita com base neste período. É considerado que as potências comerciais dos motores são somente aquelas apresentadas na bibliografia da EPA.

Todos os custos serão baseados nos diferentes estudos da empresa SCS Engineers e na bibliografia do Banco Mundial. Supõe-se que toda a eletricidade do aterro será vendida. A sobrecarga de produção de biogás será queimada. Outras proposições sobre o processo de transformação do biogás do aterro são feitas no decorrer da aplicação do método proposto abordado a seguir.

### 3.3 Aplicação do método

#### 3.3.1 Quantidade de RSU depósitos por ano

A capacidade de depósitos dos resíduos sólidos do aterro sanitário é de 4.300.000 toneladas. A hipótese levantada é que, em cada ano, há a mesma entrada de lixo no aterro sanitário, seguindo uma função linear. Então, em cada ano entram 215.000 toneladas de RSU.

#### 3.3.2 Explicação dos k e L<sub>0</sub> escolhidos

Primeiramente, é feita uma comparação entre a composição dos resíduos sólidos em diferentes aterros no Brasil e um valor comum dos E.U.A. Na tabela 3, são apresentadas as proporções de materiais degradáveis de cada uma das regiões.

TABELA 3 - Proporções das matérias degradáveis dos RSU de cada região

Biodegradabilidade	Fortaleza	Muribeca	Santa Tecla	Gramacho	Estados Unidos
Alta	51%	62,50%	59,80%	48,00%	18,70%
Média	16%	12,50%	13,70%	26,20%	32,20%



Baixa	17%	3,70%	1,50%	3,70%	17,20%
-------	-----	-------	-------	-------	--------

O que fica evidenciado é que as proporções dos resíduos sólidos de Fortaleza são mais semelhantes às de Gramacho. A proporção de matéria biodegradável de RSU de Fortaleza é no total de 84%, maior que a dos outros aterros (o segundo maior valor é do aterro sanitário de Gramacho, com 77,90%).

As temperaturas médias nos E.U.A são relativamente mais baixas que no Brasil, e as temperaturas e precipitações mais próximas de Fortaleza seriam as temperaturas e precipitações de Muribeca que está no Nordeste, enquanto Santa Tecla e Gramacho estão respectivamente em Santa Catarina e no estado do Rio de Janeiro.

Por isso, foram utilizados como valores médios de  $k$  e  $L_0$ , os valores apresentados na tabela 4, os mesmos valores de  $k$  que o aterro de Muribeca, porque o valor  $k$  depende da umidade, da temperatura, do pH e dos nutrientes para as bactérias, e os estados de Pernambuco e Ceará possuem clima semelhante. O valor de  $L_0$  é baseado na composição de lixo orgânico, então será escolhido o  $L_0$  do aterro sanitário de Gramacho.

 TABELA 4 – Valores e  $k$  e  $L_0$  utilizados como base

Valor utilizado de $k$	$k$
Degradabilidade rápida	0,4
Degradabilidade média	0,08
Degradabilidade lenta	0,02
Valor utilizado de $L_0$	$L_0 = 84,8m^3/Mg$

A seguir, a tabela 5 apresenta os diferentes valores de cada cenário.

TABELA 5 – Valores para cada cenários

	Cenário I	Cenário II	Cenário III
$k$	0,166	0,221	0,276
$L_0$	76,32	84,8	93,28

### 3.3.3 Produção de biogás

Segundo Johannessen (1999), somente 50% do biogás, comparativamente à produção teórica, é recuperado e pronto para ser transformado em energia elétrica. Para cobrir as trincheiras de maneira otimizada, precisa-se de 51 poços verticais e 5.742m de tubulação para conduzir o biogás dos poços até a central elétrica. A figura 1 apresenta as três curvas de biogás produzido e recuperado para cada cenário.

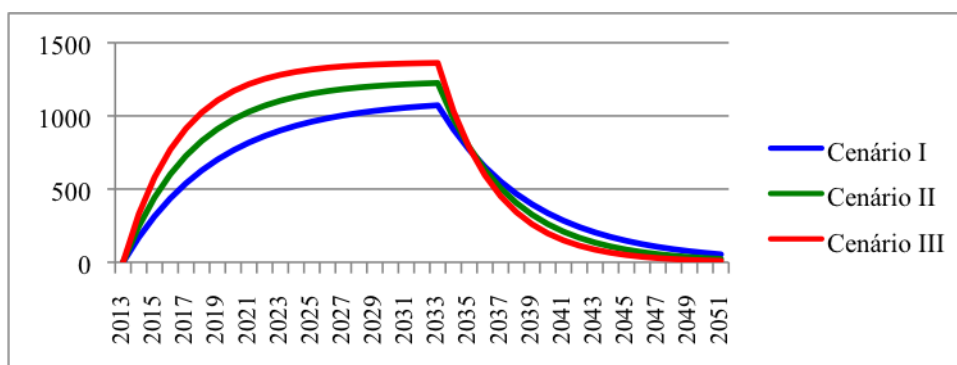


FIGURA 1 – Biogás produzido e recuperado em *Cubic Feet per Minute* (CFM)

### 3.3.4 Dimensionamento do motor

Existem dois métodos para dimensionar os motores das centrais, um utilizando o Poder Calorífico Inferior (PCI) do biogás e um utilizando a tabela da EPA. Foi escolhida a utilização da tabela da EPA para reduzir as aproximações sobre o PCI e a eficiência do motor. A tabela 6 utilizada, apresentada a seguir, é válida somente com uma vazão de biogás com um percentagem de 50% de metano.

TABELA 6 - Potência do motor em função da produção de biogás

Vazão (em cfm com 50% de metano)	Potência (kW)
204	540
234	633
350	800
500	1200

Fonte: EPA, 2009

As potências totais das centrais são uma adição das potências de cada motor. De fato, foi considerado que somente os motores que tem uma potência inscrita na tabela precedente existem. Ressalta-se, que o conjunto de motores deve ter uma potência total suficientemente grande para produzir o máximo durante os 10 anos. Em função dos cenários, a potência total da central será diferente. A seguir, a tabela 7 resume as potências de cada central.

De acordo com o Banco Mundial (2004), a taxa da carga parasita e o fator de capacidade da usina são 7% e 90%, respectivamente. A energia vendida fora do aterro sanitário é apresentada na tabela 7 a seguir.

TABELA 7 – Potências totais e energia elétrica vendida fora do aterro sanitário para cada cenários

Cenário I	Cenário II	Cenário III
2280kW	2630 kW	3200kW
16 717 233 kWh	19 305 471 kWh	23 462 784 kWh

### 3.3.5 Investimento inicial e custo de operação e manutenção (O&M)

Definida a potência da usina de geração de energia elétrica de cada um dos cenários, simulou-se o valor do investimento inicial necessário para cada central.

De posse dos custos de aquisição de cada parte do sistema para cada cenário, definiu-se o custo de O&M do sistema de recuperação de biogás. Para tal, fez-se uma estimativa, segundo a SCS Engineers (2005), que o custo de O&M de cada parte (exceto o motor) corresponde a 10% do seu custo de aquisição. Estes custos são os mesmos para cada cenário e a estimativa engloba a mão de obra, as peças para reparar e dentre outros.

Além disso, os custos de manutenção da central são diferentes para cada cenário. Foi utilizada uma taxa de O&M de \$ 0,135 por kWh (BANCO MUNDIAL, 2004). O custo de O&M total para cada cenário é apresentado na tabela 9 a seguir.

TABELA 9 – Investimento inicial e custo de O&M total para cada cenário

	Cenário I	Cenário II	Cenário III
Investimento inicial	\$2 897 931	\$3 181 300	\$3 636 457
Custo de O&M	\$369 522	\$411 268	\$478 322

### 3.3.6 Aplicação dos cenários financeiros

Foram elaboradas nove tabelas, sendo aplicados, para cada cenário de produção de biogás, três preços de venda de energia, 0,03US\$/kWh, 0,05US\$/kWh e 0,07US\$/kWh. Segundo Vanzin et al (2006), uma TMA de 8% e uma taxa de juros do empréstimo de 8% foram utilizadas. Ressalta-se que o período de financiamento foi definido como 10 anos de funcionamento do sistema.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo o PNE (2010), o consumo de energia elétrica *per capita* por ano equivale a 525,6kWh. Assim, cada cenário pode alimentar a população apresentada na tabela 10 a seguir.

TABELA 10 – População alimentada em energia elétrica para cada cenário

Cenário I	Cenário II	Cenário III
31.805	36.730	44.640

Pode ser notado, que, entre o cenário I e o cenário III, há um aumento de 40% da população alimentada em energia elétrica.

Os resultados dos VPL e TIR para cada um dos cenários são apresentados nas tabelas 11 e 12 a seguir.

TABELA 11 – Resultados dos VPL

VPL		Cenário I	Cenário II	Cenário III
Preço de venda da energia elétrica	0,03 US\$/kWh	-\$2.900.997	-\$3.034.995	-\$3.250.228
	0,05 US\$/kWh	-\$823.701	-\$636.082	-\$334.724
	0,07 US\$/kWh	\$1.253.596	\$1.762.830	\$2.580.779

TABELA 12 - Resultados dos TIR

TIR		Cenário I	Cenário II	Cenário III
	0,03 US\$/kWh	-	-	-
Preço de venda da energia elétrica	0,05 US\$/kWh	1%	3%	6%
	0,07 US\$/kWh	17%	19%	22%

Nos cenários cujo preço de venda de energia elétrica corresponde a US\$ 0,03 por kWh, verificou-se um VPL negativo, sendo inviável o investimento. Para os cenários cujo preço de venda de energia é de US\$ 0,05 por kWh, também constatou-se um VPL negativo, e, conseqüentemente, também a inviabilidade do investimento. Já, nos cenários cujo preço de venda de energia é de US\$ 0,07 por kWh, pode-se perceber a viabilidade do investimento realizado. Na análise realizada através da TIR, tem-se as mesmas conclusões em termos de viabilidade do sistema.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho constitui-se em um pré estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento energético do biogás em um aterro sanitário de médio porte no estado e Ceará. A instalação de um sistema desta natureza é um ato de fundamental contribuição para a preservação do meio ambiente. O tratamento permite evitar explosões ligadas ao biogás, riscos para saúde *off-site*, odores incômodos associados à presença de compostos de enxofre, inibição e asfixia dos ambientes devido à falta de oxigênio e o efeito estufa.

Percebe-se que, entre o cenário I e o cenário III, há um aumento de 40% da população alimentada em energia elétrica. Além disso, pode ser notado que os resultados precedentes mostram que a viabilidade econômica é mais sensível com o preço de venda de eletricidade que com os fatores de produção de biogás (k e Lo).

## Referências

BANCO MUNDIAL. *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean*. Washington: ESMAP, 2004.

BAYARD R. ; GOURDON R. Traitement biologique des déchets. *Techniques de l'Ingénieur*, C-2060v2, 2010.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2009 – *Resultados Preliminares – Ano Base 2008. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética*. Brasil, 2009.

CASAROTTO F. N. ; HARTMUT K. B. *Análise de investimentos*. Ed. Atlas, 2000.

EPA. Project Development Handbook, <http://www.epa.gov/landfill/publications-tools/handbook.html>, 2009.

GAY J. Lutte contre la pollution des eaux, valorisation énergétique des boues. *Techniques de l'Ingénieur*, G-1455, 2002.

GUIMARÃES, J. R.;NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. *Cadernos técnicos de química nova na escola*. Edição especial, 2001.

JOHANNESSEN L. M. Guide Note of Recuperation of Landfill Gas from Municipal Waste Solid. ed. *The International Bank for Reconstruction and Development*. Ed. THE WORLD BANK Washington, 1999.

LESSA, E. R.; MOTA, F. S. B. *Metodologia de estratificação sócio-econômico da população para caracterização de resíduos sólidos urbanos- Estudo de caso: Fortaleza/CE*. ABES, 2009.

MACEDO L. V.; JOHNSTON G.; CORDARO V. M.; TOTTI P.; PÉCORÀ V.; KRANZ P.; NOJIRI P. *Manual para aproveitamento de biogás*. Ed. ICLEI, 2009.

MOLETTA R. Méthanisation de la biomasse. *Techniques de l'Ingénieur*, BIO-5100, 2008.

MOTTA R. ; CALÔBA G. M. *Análise de investimentos : tomado de decisão em projetos industriais*. São Paulo: Atlas, 2009.

PNE – PLANO NACIONAL ENERGÉTICO 2010 –*Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética*. Brasil, 2010.

SCS ENGINEERS. *Estudo de pré-viabilidade para recuperação e utilização de biogás no aterro de Santa Tecla, Gravataí, Brasil*. The World Bank, 2005a.

SCS ENGINEERS. *Estudo de pré-viabilidade para recuperação de biogás no aterro de Muriceba, Pernambuco Brasil*. The World Bank, 2005b.

SCS ENGINEERS. *Estudo de pré-viabilidade para recuperação de biogás e de produção de energia no aterro de Gramacho, Rio de Janeiro Brasil*. Ed. The World Bank, 2005c.

TCHOBANOGLIOUS, G.,THEISEN,H., VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*, McGrall-Hill Inc., New York, 949 p.1993.

VANZIN E. ; PANDOLFO A. ; LUBLO E. ; STEFFENON B. ; PANDOLFO L.M. *Uso do biogás em aterro sanitário como fonte de energia alternativa: aplicação de procedimento para análise da viabilidade econômica no aterro sanitário metropolitano Santa Tecla*. In: ENEGEP, 2006.