



**FUNDACE**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO – RIBEIRÃO PRETO - SP  
MBA – ADMINISTRAÇÃO ORGANIZAÇÕES TURMA 26

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO BIOGÁS NO AMBIENTE  
URBANO**

Profa. Dr Sonia Valle Walter Borges de Oliveira

Andrei Feijó da Silva Santos

Cód.: 38995

**Ribeirão Preto  
2009**

## RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvida uma análise de viabilidade para implantação de um sistema de geração de receitas a partir da geração do biogás, biofertilizante e dos créditos de carbono oriunda dos resíduos orgânicos contidos no lixo urbano e das estações de tratamento de esgoto de uma cidade hipotética de 200.000 habitantes. Verificou-se que tal sistema é capaz de gerar uma massa monetária anual de R\$ 12.841,00 a partir do biogás, R\$ 1.571.010,00 a partir do biofertilizante e R\$ 719.060,00 da comercialização dos créditos de carbono. O total anual das receitas geradas pelo sistema é de R\$ 2.302.911,00.

Os investimentos para o sistema considerados no cenário são da ordem de R\$ 10.000.000,00 financiados a uma taxa base 12% ao ano garantindo um retorno sobre investimento, *spread*, de 2,0 % ao ano. O Valor presente líquido encontrado no projeto é da ordem de R\$ 6.646.100,00 e a taxa interna de retorno, TIR, é de 13,99% com um payback de 7,7 anos.

**Palavras-chave:** Biogás, biofertilizante, créditos de carbono, resíduos orgânicos.

## SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	3
<b>2 Objetivo</b> .....	4
<b>3 Referencial teórico</b> .....	4
<b>3.1 O Modelo</b> .....	4
<b>3.2 O Biogás</b> .....	4
<b>3.3 Aterros Sanitários</b> .....	6
<b>3.4 Estações de Tratamento de Esgoto</b> .....	6
<b>3.5 Biofertilizante</b> .....	7
<b>3.6 Créditos de Carbono</b> .....	8
<b>4 Análises</b> .....	8
<b>4.1 Análise da geração de biogás de aterros sanitários</b> .....	8
<b>4.2 Análise da geração de biogás das estações de tratamento de esgoto</b> .....	9
<b>4.3 Análise da geração de biofertilizante</b> .....	10
<b>4.4 Análise da geração de créditos de carbono pela captura do metano</b> .....	11
<b>5 Descrição dos resultados</b> .....	12
<b>5.1 VPL</b> .....	12
<b>5.2 TIR</b> .....	12
<b>5.3 Payback</b> .....	12
<b>6 Conclusões</b> .....	14
<b>7 Bibliografia</b> .....	15

## 1 Introdução

As preocupações com o aumento das demandas energéticas e ambientais dos últimos anos em função de crises de energia e o atual Tratado de *Kyoto* pressionam a tomada de ações para o desenvolvimento sustentável buscando fontes alternativas, limpas e renováveis. Em paralelo ocorre o agravamento do efeito estufa ao longo das últimas décadas, onde a principal causa é a emissão de gases nocivos. Os principais gases responsáveis por este evento são apresentados na tabela 1.

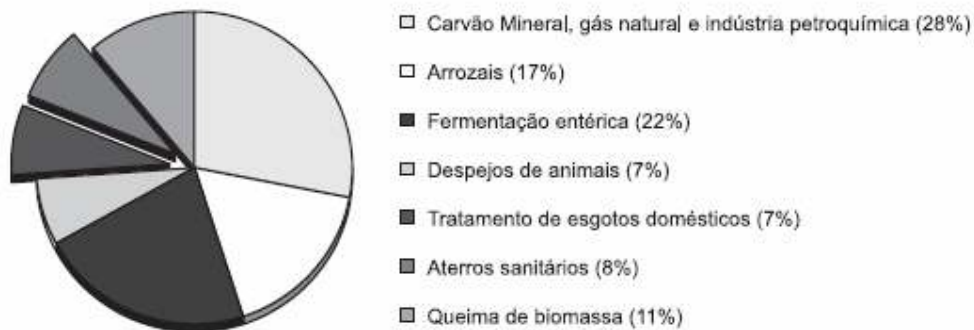
**Tabela 1** - Os principais gases do efeito estufa. (Fonte: IPCC 1996)

Espécies	Fórmula Química	Tempo de vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizonte de tempo/anos)		
			20	100	500
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Variável	1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12±3	56	21	6,5
Oxido nitroso	N <sub>2</sub> O	120	280	310	170
Ozônio	O <sub>3</sub>	0,1 – 0,3	n.d	n.d	n.d

Visando-se minimizar o impacto do efeito estufa e otimizar a geração energética, pode-se reduzir as emissões de metano e utilizar o mesmo como fonte alternativa de energia. Dentre as características que colocam o metano em uma posição de destaque para geração energética e redução de problemas ambientais está sua criticidade para o efeito estufa que, segundo Leite e Monteiro (2005) é vinte e uma vezes mais danoso do que o CO<sub>2</sub>, principal gás do efeito estufa. Das características físico-químicas do metano, destacam-se seu poder de combustão e seu estado de matéria, por se apresentar na fase gasosa nas condições normais de temperatura e pressão, sendo tais pontos fortes para sua utilização.

A produção global de metano esta associada a emissões naturais e emissões provocadas pelo homem que possuem diversas fontes de origem. Conforme Lelieveld et al (1998), quarenta e cinco por cento do metano produzido no planeta provém de emissões naturais e os cinquenta e cinco por cento restantes provem de emissões antropogênicas. Dentre as fontes geradoras de metano influenciadas ou controladas pelo homem, cinquenta por cento provem da soma da categoria geração energética com o uso do carvão mineral e petroquímicos bem como da categoria reações entéricas. A figura 1 apresenta as principais fontes antropogênicas de Metano.

**Figura 1** - Fontes antropogênicas de metano. (Fonte: IPCC 1995)



Considerando-se as categorias tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários conforme a figura 1, tem-se em ambas quinze por cento do total de metano gerado pelo homem, ou seja oito por cento de todo metano gerado no planeta. Ao direcionar ações nas categorias de aterros sanitários e tratamento de esgotos domésticos haverá uma contribuição adicional para o meio ambiente em função da crítica situação dos aterros sanitários que põem em risco as fontes de água potável e pela ausência de tratamento de esgotos em alguns dos casos. Segundo levantamentos de Leite (2004) existem três iniciativas em andamento no

Brasil visando o aproveitamento de metano, através do biogás, em aterros sanitários. Todavia a utilização de biogás a partir do tratamento de esgoto doméstico e inéduo no país o que gera um elevado potencial para sua implantação e utilização.

## 2 Objetivo

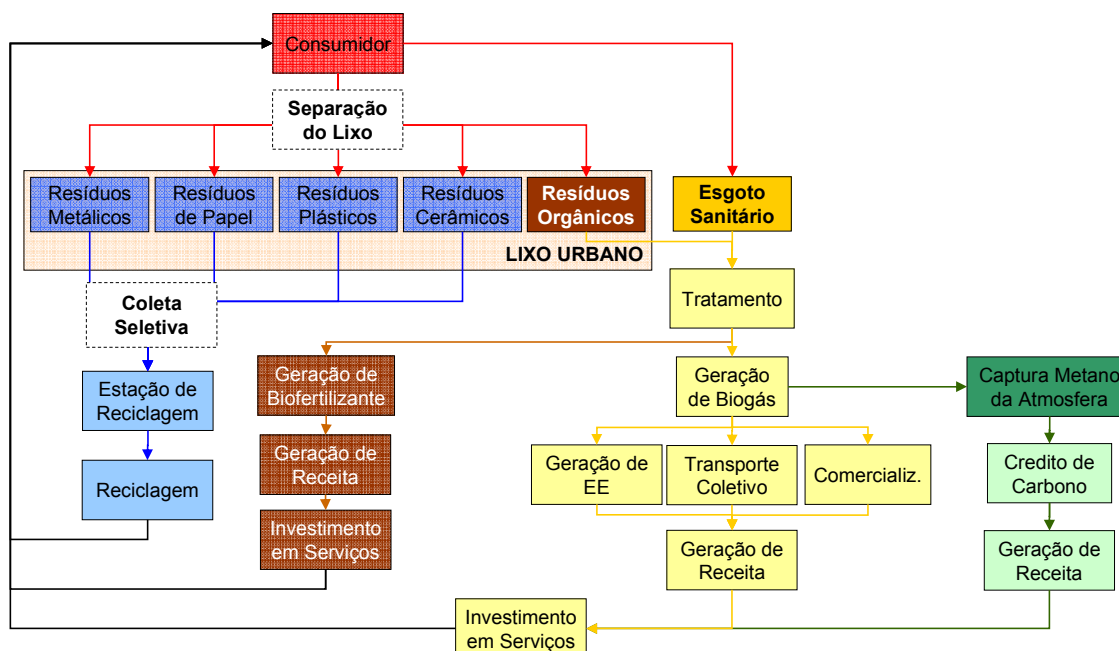
Este projeto tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de um modelo sustentável de geração de receita a partir do biogás, biofertilizante e créditos de carbono associado à coleta seletiva de resíduos e tratamento do esgoto doméstico para uma cidade de duzentos mil habitantes.

## 3 Referencial teórico

### 3.1 O Modelo

Levando-se em consideração o atual cenário dos municípios onde existe a geração de lixo e esgoto sanitário considerados problemáticos para a sociedade, elaborou-se um modelo buscando otimizar a sustentabilidade do mesmo conforme a figura 2.

**Figura 2** – Modelo de geração de Biogás



Através da conscientização da população para a coleta seletiva do lixo residencial pode-se separar os resíduos não orgânicos, direcionando os mesmos para estações de reciclagem. A fração orgânica do lixo residencial combinada com o esgoto sanitário pode ser processada para a extração do biogás.

O biogás obtido pode ser utilizado como fonte geradora de energia elétrica, térmica ou utilizado no transporte coletivo, como vem sendo realizado em países como a Suíça, gerando receita e convertida em serviços para a população. Através da decomposição da matéria orgânica se produz o biogás e um resíduo utilizado como biofertilizante que também pode ser utilizado como fonte de receita.

Através da remoção de metano da atmosfera é possível obter créditos de carbono que por sua vez podem ser comercializados nos mercados internacionais gerando como nos outros casos receita para os municípios.

### 3.2 O Biogás

O biogás é proveniente da degradação química de organismos mortos ou de excreções, através da ação de microorganismos decompositores anaeróbicos que catalisam as reações geradoras do mesmo.

Segundo Nogueira (1992) o Biogás foi identificado inicialmente por Robert Boyle em 1692 e em anos posteriores trabalhos de pesquisa sobre este tema foram desenvolvidos. Durante meados do século XIX, Ulysse Gayon, aluno de Pasteur realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume contendo água obtendo como resultado um gás que poderia ser utilizado como fonte de aquecimento e iluminação, segundo Pierobon (2007).

O biogás é uma mistura gasosa incolor, insolúvel em água e de baixa densidade ( $0,72 \text{ kg/m}^3$ ). A média dos componentes da mistura gasosa pode ser visualizada na tabela 2.

**Tabela 2** – Composição média do Biogás. (Fonte: Azevedo 2000)

Substância	Percentual de volume molar (%)	Percentual de volume molar – Caso conservador (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	55 a 75	55,0
Monóxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	25 a 45	42,2
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0 a 3	1,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 a 1	0,5
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0 a 1	0,5
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0 a 0,5	0,25
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1	0,05

Devido a sua densidade ser inferior a do ar atmosférico o biogás oferece menor risco de explosão por não se acumular facilmente ao nível do solo, todavia a baixa densidade implica que o volume ocupado pelo gás é significativo lhe conferindo desvantagens para armazenagem, transporte e utilização.

Por se tratar de uma mistura gasosa o Biogás contém uma série de impurezas com destaque para os compostos de enxofre e amoníaco apresentados na tabela 2. Segundo Andersson et al. (2004) e Bishop (2004), as combinações de concentração de sulfeto de hidrogênio e amoníaco são corrosivas para diversos materiais como cobre, latão e aço podendo se tornar tóxicos dependendo das condições de reação com os mesmos.

Segundo Azevedo (2000), o poder calorífico superior e inferior de Biogás apresenta faixas de variação conforme a tabela 3. Define-se poder calorífico superior o poder calórico da combustão que resulta água na fase de vapor e poder calorífico inferior que resulta em água na fase líquida.

**Tabela 3** – Faixa de poder calorífico. (Fonte Azevedo 2000)

Poder Calorífico	Faixa de Variação
Superior (MJ/kg)	17 a 37
Inferior (MJ/kg)	15 a 34

Em posse do poder calorífico do Biogás é possível compará-lo com outros combustíveis conforme a tabela 4.

**Tabela 4** – Poder calorífico de combustíveis em MJ/kg. (Fonte Azevedo 2000)

Combustível	Poder Calorífico Superior	Poder Calorífico Inferior
Metano	55,5	50,0
Gás Natural	50,0	45,0
Gasolina	47,3	44,0
Diesel (leve)	44,8	42,5
Diesel (pesado)	43,8	41,4
Gás de Refinaria	42,3	38,6
Etanol	29,7	26,9
Carvão Vegetal	29,7	n/d
Metanol	22,7	20,0
Madeira Seca	19,8 a 20,9	n/d
Madeira (25% a 30% umidade)	14,6	n/d

Verifica-se que o biogás in natura apresenta um poder calorífico inferior ao do metano sendo comparável com o etanol, metanol, carvão vegetal e madeira.

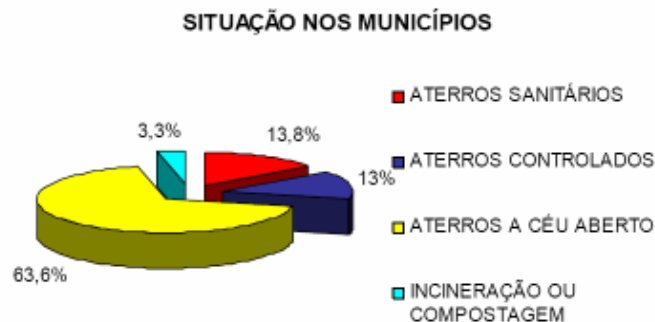
Caso aplicado um processo de depuração para a separação do metano existente em 55% a 75% no biogás conforme a tabela 2, é possível obter um poder energético maior podendo superar o gás natural, gasolina e diesel. Um metro cúbico (1 m<sup>3</sup>) de biogás equivale energeticamente a:

- 1,5 m<sup>3</sup> de gás de cozinha;
- 0,52 a 0,6 litros de gasolina;
- 0,9 litros de álcool;
- 1,43 kWh de eletricidade;
- 2,7 kg de lenha (madeira queimada).

### 3.3 Aterros Sanitários

Os processos de destino de resíduos em aterros sanitários e os processos de tratamento de esgotos domésticos se responsabilizam por 15% das emissões de metano, sendo sua gestão e tratamento atribuições dos municípios. Segundo Leite e Monteiro (2005), a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, inviabiliza o aproveitamento do biogás por sua produção irregular e pela falta de condições de se estabelecer um sistema de drenagem e transporte do gás do aterro até os locais para seu processamento. Considerando-se que o aterro sanitário é atualmente o método de destinação do lixo mais adequado para grande parte dos municípios brasileiros a figura 2 ilustra a condição dos mesmos.

**Figura 2** – Tratamento e ou disposição final dos resíduos sólidos no Brasil (Fonte: PSNB 2000)



Verifica-se segundo a figura 2, a existência de um potencial conservador de 77,4% de captura de biogás nos aterros existentes nos municípios, considerando-se que os aterros controlados possuem infra-estrutura adequada e capacidade de captação.

### 3.4 Estações de Tratamento de Esgoto

Segundo Martins, Guardabassi e da Costa (2006), são definidos como esgotos todos os efluentes líquidos de origem doméstica ou com características similares. O esgoto doméstico é composto de uma série de constituintes podendo ser classificada com: sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos.

As estações de tratamento de esgoto sanitário utilizam uma série de processos visando a redução das impurezas presentes nos efluentes para que os produtos resultantes atinjam características que permitam sua reutilização ou devolução ao meio ambiente sem causar impacto ao mesmo. Conforme Haandel e Lettinga (1994) o principal objetivo do tratamento do esgoto corrigindo suas características indesejáveis de maneira que os resíduos finais possam ser dispostos seguindo as regras e os critérios definidos pelas autoridades pertinentes.

O processo de tratamento se inicia na retenção do material de maior proporção que são arrastados durante o processo. Isto se dá através da utilização de malhas de diferentes aberturas. Na seqüência o esgoto passa pelo processo de separação em caixas de areia que retém o material sólido granulado e em seguida nos decantadores primários as partículas sólidas se sedimentam no fundo de um tanque. Em função da pequena dimensão de algumas

partículas que não se sedimentam se faz necessário a adição de uma substância responsável pela união das mesmas garantindo seu aumento de tamanho e posterior precipitação.

Segundo Martins, Guardabassi e da Costa (2006), quando as partículas aglutinadas se solidificam no fundo do decantador recebem a denominação de “lodo” e são posteriormente removidas do fundo do tanque e encaminhadas para adensadores e digestores anaeróbios. Nos digestores, os microorganismos anaeróbios consomem a matéria orgânica liberando o biogás que é basicamente constituído de metano. A tabela 5 apresenta os principais componentes do biogás proveniente da decomposição da matéria orgânica de processos de tratamento de esgotos.

**Tabela 5** – Composição do biogás do tratamento de esgoto sanitário. (Fonte IPT 2001)

Componente da mistura gasosa	Percentual
Metano (CH <sub>4</sub> )	62,5
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	31,0
Oxigênio (O <sub>2</sub> ) + Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	6,5

O lodo produzido é então desidratado e encaminhado para filtros-prensa visando a redução de seu volume e otimizar o processo de distribuição para aterros sanitários ou sua utilização como fertilizante na agricultura.

### 3.5 Biofertilizante

A produção do biofertilizante ocorre pelo processo de digestão anaeróbica de resíduos orgânicos. Pelo fato de ser rico em material orgânico com elevado poder de fertilidade e por conter elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas tais como fósforo, nitrogênio e potássio, possui uma aplicabilidade elevada na agricultura.

Segundo Matos (2003), as águas provenientes das residências são ricas em macronutrientes como zinco, cobre, manganês e ferro podendo ser disponibilizado para os vegetais. O biofertilizante possui entre noventa a noventa e cinco por cento de água, isto é, de cinco a dez por cento da fração seca do líquido. Nessa base seca, o teor de nitrogênio dependendo do material que lhe deu origem - fica entre um e meio a quatro por cento de nitrogênio (N), um a cinco por cento de fosfato (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e meio a três por cento de potássio (K<sub>2</sub>O).

Conforme Kiehl (1985), o processo de digestão anaeróbia retém uma quantidade superior de nitrogênio se comparada com o processo aeróbio que utiliza maior quantidade deste elemento para sintetizar proteínas, sendo o resultado da adubação do fertilizante de origem anaeróbica equivalente ao de outro substrato.

A utilização de resíduos de origem em atividades produtivas tem sido de elevado interesse por se tratar de uma alternativa técnica e ambientalmente correta para a adubação. Segundo Caseiro (2003) e Nogueira (1992), tal utilização auxilia a recomposição da matéria orgânica e de nutrientes no solo visando aumento da fertilidade, bem como contribui para a redução na exploração dos recursos naturais utilizados na fabricação de fertilizantes minimizando o impacto ambiental causado.

Uma das principais limitações para o aproveitamento agrícola dos resíduos domiciliares e industriais são sua composição e a tolerância de algumas culturas. Todavia caso o biofertilizante for aplicado de forma controlada e associado juntamente a componentes necessários pode-se potencializar os resultados obtidos no processo de adubação e correção das características do solo.

Através do processo anaeróbio de degradação do material orgânico além da geração de metano como resultado das reações ocorre a produção de “lodo”, segundo Van Haandel (1994) na proporção de cerca de trinta por cento contra noventa e sete por cento dos processos aeróbios onde a produtividade de “lodo” é maior.



### 3.6 Créditos de Carbono

Após a criação do IPCC, *Intergovernmental Panel about Climate Changes*, em 1988 se intensificaram as discussões sobre a influência humana nas alterações climáticas do planeta e futuramente a Eco 92 contou com a aderência de cento e setenta e cinco países visando reduzir a níveis seguros a concentração de gases causadores do efeito estufa.

Já em 1997 o protocolo de Kyoto previa para os países industrializados a redução das emissões gasosas causadoras do efeito estufa em cerca de 5% entre os períodos de 2008 a 2012. Todavia alguns países dentre os Estados Unidos não aderiram ao tratado o que não permitiu sua vigência imediata, visto que no mínimo cinquenta e cinco por cento das emissões globais deveriam ser contempladas pelos países assinantes do tratado. Em 2005 com a entrada a Rússia o Tratado passou a vigorar.

Para alguns países desenvolvidos a redução das emissões gasosas envolve questões econômicas que inviabiliza tal necessidade. Segundo Leite e Monteiro (2005) a redução da emissão de carbono pode superar US\$ 500,00 a tonelada em países desenvolvidos, já em países em desenvolvimento por volta de US\$ 1,00 a US\$ 30,00 por tonelada capturada ou não emitida.

Em função deste desequilíbrio surgiu um mercado mundial para a comercialização de créditos de carbono. Segundo mencionado por Schmidt (1999), os países que não puderem reduzir suas emissões que causam efeito estufa podem adquirir créditos dos países que possuem uma quantidade de retirada destes gases superior a suas emissões. O valor comercializado internacionalmente para a retirada de uma tonelada de carbono e da ordem de US\$ 5,00. Dentre os gases contemplados no Protocolo de Kyoto estão o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre.

## 4 Análises

### 4.1 Análise da geração de biogás de aterros sanitários

Conforme estudos realizados pelo IBGE e CETESB validados por Alves e Viera (1998) para a geração de resíduos por habitantes tem-se a tabela 6.

**Tabela 6** – Geração média de resíduos por habitante ao dia. (Fonte IBGE 1996)

Habitantes	kg/habitante.dia
Até 100.000	0,4
De 100.001 a 500.000	0,5
De 500.001 a 1.000.000	0,6
Mais de 1.000.000	0,7

Considerando-se os dados médios de geração de resíduos da tabela 6 para uma cidade de duzentos mil habitantes tem-se:

*Geração de Resíduos = Geração média por habitante dia x dias de geração x quantidade de habitantes*

*Geração de Resíduos = 0,5 x 365 x 200.000*

*Geração de Resíduos = 36.500 ton/ano*

Conforme a metodologia simplificada proposta pelo IPCC, , para se determinar as emissões de metano de uma região a partir de resíduos sólidos, tem-se a seguinte equação:

*Emissão de Metano = Geração de Resíduos x Taxa de Geração de Metano por unidade de resíduo*

*Emissão de Metano = 36.500 x 0,06145*

*Emissão de Metano = 2.242,8 ton/ano*

Em função da geração de metano calculada anteriormente associado aos dados fornecidos pela tabela 2, elaborou-se a tabela 7 com o volume de biogás gerado.

**Tabela 7 – Volume de gases do biogás gerado.**

Substância	Percentual de volume molar – Caso conservador (%)	Volume - Ton
Metano (CH4)	55	2.242,8
Monóxido de Carbono (CO2)	42,2	1.720,8
Nitrogênio (N2)	1,5	61,2
Oxigênio (O2)	0,5	20,4
Sulfeto de Hidrogênio (H2S)	0,5	20,4
Amoníaco (NH3)	0,25	10,2
Monóxido de Carbono (CO)	0,05	2,0
Total de Biogás	100	4.077,8

Conforme os dados da CETESB (1999), a densidade do biogás levantada é de 0,72 kg/m<sup>3</sup> e considerando-se que 1 m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a 1m<sup>3</sup> de Gás natural veicular GNV tem-se:

$$\text{Volume de Biogás} = \text{massa de biogás gerada} / \text{densidade do biogás}$$

$$\text{Volume de Biogás} = 4.077,8 / 0,72$$

$$\text{Volume de Biogás} = 5.695 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Considerando-se o preço médio praticado no ano de 2008 expressos pela Agencia Nacional do Petróleo, tem-se um preço de R\$ 1,269 por m<sup>3</sup> de GNV no estado de São Paulo. Assim sendo têm-se a seguinte receita para o biogás:

$$\text{Receita de Biogás} = \text{Volume de Biogás} \times \text{Preço}$$

$$\text{Receita de Biogás} = 5.695 \times 1,269$$

$$\text{Receita de Biogás} = 7.227 \text{ R\$/ano}$$

#### **4.2 Análise da geração de biogás das estações de tratamento de esgoto**

Considerando-se a metodologia, proposta pelo IPCC (1996), de levantamento de metano do tratamento de esgotos sanitários tem-se:

$$\text{DBO} = \text{População} \times \text{Valor da DBO} \times (1 - \text{Percentual de matéria-orgânica removida como lodo})$$

Considerando-se o referencial teórico de Alves e Vieira (1998) tem-se o valor da DBO como sendo 18,25 kg de DBO / habitante.ano têm-se

$$\text{DBO} = 200.000 \times 18,25 \times (1-0)$$

$$\text{DBO} = 3.650 \text{ ton DBO/ano}$$

$$\text{Fator de emissão dos esgotos} = \text{Fração de esgoto tratada no sistema} \times \text{fração de conversão do metano} \times \text{capacidade máxima de produção de metano}$$

Considerando-se o referencial teórico de Alves e Vieira (1998) tem-se o valor do Fator de conversão de metano como sendo 80% e a capacidade máxima de produção de metano 0,6 kg de metano / kg de DBO tem-se:

$$\text{Fator de emissão dos esgotos} = 100 \times 80 \times 0,6$$

$$\text{Fator de emissão dos esgotos} = 0,48 \text{ kg de metano / kg de DBO}$$

$$\text{Emissão de Metano} = \text{DBO} \times \text{Fator de emissão dos esgotos}$$

$$\text{Emissão de Metano} = 3.650 \times 0,48$$

$$\text{Emissão de Metano} = 1.752 \text{ ton de metano/ano}$$

Visando adotar uma geração mais conservadora de metano, utilizou-se as concentrações percentuais de biogás dadas pela tabela 2 ao invés das concentrações contidas

na tabela 8. Em função da geração de metano calculada anteriormente associado aos dados fornecidos pela tabela 2, elaborou-se a tabela 6 com o volume de biogás gerado.

**Tabela 9** – Volume de gases do biogás gerado.

Substância	Percentual de volume molar – Caso conservador (%)	Volume - Ton
Metano (CH4)	55	1.752,0
Monóxido de Carbono (CO2)	42,2	1.344,3
Nitrogênio (N2)	1,5	47,8
Oxigênio (O2)	0,5	15,9
Sulfeto de Hidrogênio (H2S)	0,5	15,9
Amoníaco (NH3)	0,25	8,0
Monóxido de Carbono (CO)	0,05	1,6
Total de Biogás	100	3.185,5

Conforme os dados da CETESB (1999), a densidade do biogás levantada é de 0,72 kg/m<sup>3</sup> e considerando-se que 1 m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a 1m<sup>3</sup> de Gás natural veicular GNV tem-se:

$$\text{Volume de Biogás} = \text{massa de biogás gerada} / \text{densidade do biogás}$$

$$\text{Volume de Biogás} = 3.185,5 / 0,72$$

$$\text{Volume de Biogás} = 4.424 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Considerando-se o preço médio praticado no ano de 2008 expressos pela Agencia Nacional do Petróleo, tem-se um preço de R\$ 1,269 por m<sup>3</sup> de GNV no estado de São Paulo. Assim sendo têm-se a seguinte receita para o biogás:

$$\text{Receita de Biogás} = \text{Volume de Biogás} \times \text{Preço}$$

$$\text{Receita de Biogás} = 4.424 \times 1,269$$

$$\text{Receita de Biogás} = 5.614 \text{ R\$/ano}$$

#### 4.3 Análise da geração de biofertilizante

A produção de biofertilizante representa um total de 80% a 90% de toda a matéria orgânica utilizada durante o processo de obtenção do biogás. Para esta estimativa será utilizado o valor de 80% visando obter uma versão conservadora da avaliação.

Para o resíduo dos aterros tem-se:

$$\text{Geração de Resíduos} = 36.500 \text{ ton/ano}$$

$$\text{Geração de Biofertilizante} = \text{Geração de Resíduos} \times 80\%$$

$$\text{Geração de Resíduos} = 36.500 \times 80\%$$

$$\text{Geração de Resíduos} = 29.200 \text{ ton/ano}$$

**Tabela 10** – Resultado da geração de biogás e biofertilizante dos resíduos de aterro.

Material	Massa (ton)	Percentual
Biofertilizante	29.200	80%
Biogás	4.078	11%
Perdas	3.222	9%
Total	36.500	100%

Para o resíduo das estações de tratamento de esgoto tem-se:

$$\text{Geração de Resíduos} = 3.650 \text{ ton/ano}$$

$$\text{Geração de Biofertilizante} = \text{Geração de Resíduos} \times 80\%$$

*Geração de Resíduos = 3.650 x 80%*

*Geração de Resíduos = 1.962 ton/ano*

**Tabela 11** – Resultado da geração de biogás e biofertilizante da estação de tratamento de esgotos.

Material	Massa (ton)	Percentual
Biofertilizante	23.167	80%
Biogás	3.185	11%
Perdas	2.606	9%
Total	28.959	100%

Considerando-se os dados de geração de biofertilizante gerados pelas tabelas 10 e 11 e uma receita médio unitária para a comercialização do mesmo sendo de R\$ 30/ton, obtém-se a tabela 12.

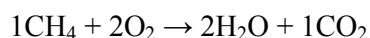
**Tabela 12** – Geração de Receita a partir do biofertilizante

Massa de Biogás (kg)	23.167
Massa de Biogás (kg)	29.200
Total (kg)	52.367
Receita (R\$)	1.571.010

#### 4.4 Análise da geração de créditos de carbono pela captura do metano

Considerando-se as massas de metano CH<sub>4</sub> listadas nas tabelas 7 e 9, tem-se um total de 3.395 toneladas deste gás.

Como premissa será considerada a combustão completa dos 3.995 ton de metano que será convertido em dióxido de carbono, conforme a equação abaixo:



Conforme descrito por Leite e Monteiro (2005) a proporção em créditos de carbono pela remoção de metano é vinte e uma do que a de dióxido de carbono. Portanto a remoção de metano através da combustão gerará vinte créditos de carbono por tonelada deste gás capturado. Sendo assim tem-se:

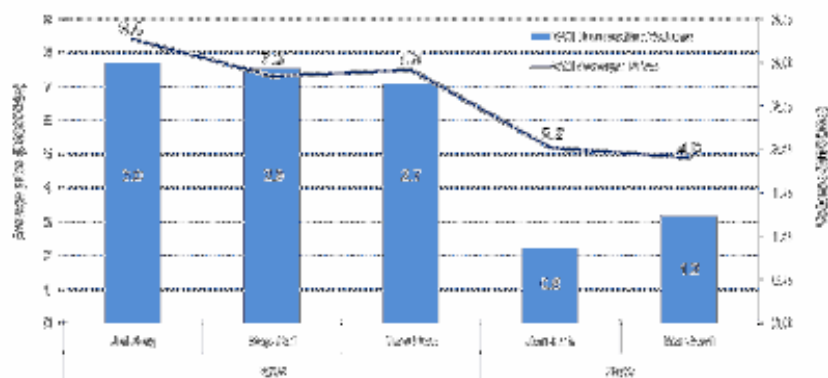
*Créditos de Carbono = Massa de Metano x 20*

*Créditos de Carbono = 3.995 ton x 20 créditos de carbono*

*Créditos de Carbono = 79.896 créditos de carbono/ano*

Baseando-se no histórico do preço de mercado de créditos de carbono utilizou-se a referencia de US\$ 5,00 sendo o valor médio do primeiro trimestre de 2009 e um valor médio para o dólar de 1,95 R\$/US\$ :

**Figura 4** - Índice VCI de carbono, volumes de mercado e (fonte New Carbon Finance 2009).



Desta forma tem-se uma receita de créditos de carbono igual a R\$ 719.060/ano.

## 5 Descrição dos resultados

### 5.1 VPL

O método do VPL é definido como a soma do valor presente das receitas menos à soma do valor presente dos custos, atualizada a taxa ou taxas adequadas de desconto (CONTADOR, 1981).

$$VPL = \sum_{t=0}^h \left[ \frac{Rt}{(1+i)^t} \right] - \sum_{t=0}^h \left[ \frac{Ct}{(1+i)^t} \right]$$

Onde:

$R$  = receitas;

$C$  = custos;

$h$  = período de investimentos;

$t$  = ano em que ocorre o custo ou a renda;

$i$  = taxa de desconto;

Se o VPL for negativo, a taxa de retorno do capital investido será menor que a taxa mínima de atratividade. Por outro lado, se o VPL for positivo, o retorno do investimento será suficiente para repor o capital investido, a uma determinada taxa de juro.

### 5.2 TIR

Segundo MISHAN (1976), a taxa interna de retorno TIR, é a taxa de desconto que torna o valor presente dos benefícios exatamente igual ao valor presente dos custos. Em outras palavras, a taxa interna de retorno é a taxa de desconto que torna o valor presente de todo o fluxo – benefícios e custos – exatamente igual a zero. Ela representa o valor do retorno intrínseco do projeto, portanto é independente das taxas de juros do mercado.

$$\left[ \sum_{t=0}^r \frac{Rt}{(1+i)^{r-t}} \right] - \left[ \sum_{t=0}^r \frac{Ct}{(1+i)^{r-t}} \right] = 0$$

Onde:

$C$  = custos;

$R$  = receitas;

$i$  = TIR;

$r$  = rotação ou vida do projeto;

$t$  = tempo (ano onde os custos e receitas ocorrem).

### 5.3 Payback

Consiste em verificar qual projeto apresenta o menor tempo de retorno do capital, ou seja, é o tempo necessário para que o somatório das receitas se iguale ao somatório dos custos.

$$\sum_{i=0}^n Ri = \sum_{i=0}^n Ct$$

Onde:

$Ri$  = receitas;

$Ct$  = custos;

$i, t$  = período em que o custo ou receita ocorrem;

$n$  = número máximo de períodos.

Conforme a tabela 13 pode-se observar que o total de receitas do sistema de geração de biogás é da ordem de R\$ 2.302.911,00.

**Tabela 13** - Receitas em R\$ do biogás, biofertilizante e créditos de carbono.

Origem da Receita	Receita (R\$)
Biogás de aterros sanitários	7.227,00
Biogás de estações de tratamento de esgoto	5.614,00
Biofertilizante	1.571.010,00
Créditos de Carbono	719.060,00
<b>Total</b>	<b>2.302.911,00</b>

Considerando-se como premissa um investimento inicial necessário da ordem de R\$ 60.000.000,00 a um custo de oportunidade de 15% ao ano, custos de energia elétrica de 1% do valor investido, e custos de 2,5% de materiais de consumo e despesas com frete de 2,5% cada do valor do investimento realizou-se a análise de viabilidade econômica e financeira do modelo.

**Figura 5:** Análise de viabilidade econômica e financeira

FLUXO DE CAIXA DO PROJETO - (Impactos incrementais ou seja, situação proposta - situação atual)														
Valores em R\$ Mil	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Fluxo cte de 2022 a Infinito
Receita Total	-	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303
Receita Líquida Incremental	-	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303
Energia Elétrica (CV)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Materiais de Consumo	-	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Despesas com Frete (CV)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(-) Custos Variáveis Incrementais	-	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
(=) EBITDA	-	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553
Despesas com Depreciação	-	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)	(830)
Imposto de Renda	-	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)	(586)
(=) Lucro Líquido	-	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137	1.137
Depreciação	-	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
Investimentos	(10.000)													
Recuperação de Impostos		425	425	425	425									
(=) Fluxo de Caixa Livre	(10.000)	2.268	2.268	2.268	2.268	1.843	1.843	1.843	1.843	1.843	1.843	1.843	1.843	1.843

INDICADORES DE RETORNO FINANCEIRO	
Indicador	Valor
VPL (R\$ Mil)	6.646,1
TIR Modificada (%)	13,99%
Spread sobre WACC ( $TIR_M - WACC$ ) (%)	2,0%
Payback desc., a partir do start-up (anos)	7,7

## **6 Conclusões**

Mantendo-se as premissas propostas nos cálculos para as receitas a partir da comercialização do biogás, comercialização de créditos de carbono e comercialização de biofertilizante é possível gerar anualmente R\$ 2.302.911,00.

Através de uma captação de recursos da ordem de R\$ 10.000,00 a uma taxa de 12% ao ano é possível obter um spread sobre o investimento de 2,0%, uma TIR de 13,99% e um payback de 7,7 anos. Tais resultados alcançados, se consistentes durante os anos permitem a perpetuidade e viabilidade econômica do investimento.

Verificam-se também a existência de contribuições adicionais que beneficiam o meio ambiente como a redução das emissões de metano nocivas ao efeito estufa, redução da possibilidade de contaminações de lençóis freáticos devido a incorreta disposição de resíduos urbanos e utilização de fertilizantes orgânicos.

Desta forma conclui-se que investimentos em projetos baseados em recuperações de metano, biofertilizante e créditos de carbono são viáveis do ponto de vista ambiental e econômico.

## 7 Bibliografia

- ANDERSSON, F. A. T., et al. 2004, "Occurrence and abatement of volatile sulfur compounds during biogas production" Journal of the air & waste management association 54 n°07 855-61 jl.
- AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP: Pesquisa de Mercado Disponível em : <http://anp.gov.br> (2009)
- ALVES, J. W. S., VIEIRA S. M. M., **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo manejo de resíduos - 1990 a 1994**. CETESB, 1998.
- AZEVEDO, M. H., **Características, Produção e Utilização do Biogás Produzido a partir de Resíduos Orgânicos**. 2000. Tese (Mestrado, Promec), Porto Alegre 2000.
- BISHOP, J., 2004. "Digester gas unpopular as power fuel" Water Environment & Technology 16 n° 07 24-6 jl
- BRAZ, J. A., SILVA, C. L., **Avaliação do Potencial Energético do Biogás de Aterro Sanitário Gerado pelos Resíduos Sólidos Domésticos do Município de Rio Claro**. 21 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. João Pessoa 2001.
- CONTADOR, C.R. **Avaliação Social de Projetos**. São Paulo: Atlas, 1998.
- INOUE, Keles R. A.,. **Produção de Biogás, Caracterização e Aproveitamento Agrícola do Biofertilizante Obtido na Digestão da Manipueira**, 2008. Tese (Mestrado Universidade Federal de Viçosa), Viçosa, 2008.
- IPCC, 2001. **Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis**. [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm) (2007)
- LEITE, Luiz E. C., MAHLER Cláudio F., FILHO Luiz F. B. **Avaliação do Potencial de Receitas Derivadas do Biogás de Aterros**, 23 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2004.
- LEITE, L.E.C., MONTEIRO, J.H.P., **Aterros Sanitários e Créditos de Carbono: oportunidades para ajudar a resolver o problema ambiental**. IBAM. Municípios – Revista de Administração Municipal, jan., Rio de Janeiro: 2005.
- LELIEVELD, J., et al.,: *Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmosphere methane*. Tellus, 1998.
- MISHAN, E.J. **Análises de Custos-Benefícios**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.
- NOGUEIRA, L. A. H., **Biodigestão a Alternativa Energética**. Nobel. São Paulo 1992
- PIEROBON, Luiz R. P., **Sistema de Geração de Baixo Custo Utilizando Biogás Proveniente de Aterro Sanitário**, 2007 Tese (Doutorado Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre.
- SCHMIDT, F., 1999. *Valoración del biogás en un relleno sanitario*. Seminário Internacional Gestión Integral de Resíduos Sólidos y Peligrosos, SIGLO XXI. Medellín, noviembre.