

# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

<sup>1</sup>Abramo José Franco; <sup>1</sup> abramo.franco@unoesc.edu.br; <sup>1</sup>UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina;  
<sup>2</sup>João Henrique Bagetti; <sup>2</sup>joao.bagetti@unoesc.edu.br 1; <sup>2</sup>UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina 1;

**RESUMO:** *Projetos de eficiência energética tem crescido dentro das organizações a fim de diminuir o consumo de energia e reduzir os impactos ambientais, a prática gera mais competitividade e produtividade. A produção de biogás por meio da digestão anaeróbia em tratamentos de efluentes industriais oferece uma grande oportunidade na geração de energia. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo analisar economicamente duas soluções para aproveitamento de biogás, sendo para geração de energia elétrica e térmica. Para ambas as soluções um sistema de tratamento de biogás foi contemplado para dessulfurização de sulfeto de hidrogênio, pressurização e secagem do biogás. Para geração de energia elétrica estimou-se um investimento de R\$ 1.096.219,96 com um custo operacional de R\$ 61.150,00 para geração de 868,32MWh/ano, evitando um custo de R\$ 251.766,48 por ano de energia elétrica adquirida da concessionária. Esta solução apresentou VPL de R\$ 1.058.769,86, TIR de 22% e um payback descontado de 6 anos. Para geração de energia térmica através da queima do biogás em caldeira para produção de vapor estimou-se um investimento de R\$ 858.102,50 com um custo operacional de R\$ 35.600 para geração de aproximadamente 7.516 ton/ano de vapor, evitando um custo de R\$ 996.016,00 por ano de economia de gás natural, atual combustível. Esta solução apresentou VPL de R\$ 7.667.275,22, TIR de 116% e um payback descontado de 0,4 anos. Concluiu-se que o aproveitamento para geração de energia térmica é a solução mais viável do ponto de vista econômico.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Anaeróbio; Biogás; Energia; Viabilidade Econômica.*

**ABSTRACT:** *Energy efficiency projects have grown within organizations in order to lower energy consumption and reduce environmental impacts, the practice generates more competitiveness and productivity. Biogas production through anaerobic digestion in industrial effluent treatment offers a great opportunity for power generation. Given this, the present work aimed to economically analyze two solutions for the use of biogas, being for the generation of electric and thermal energy. For both solutions, a biogas treatment system was contemplated to desulfurize hydrogen sulfide, pressurization and drying of the biogas. For electricity generation, an investment of R\$ 1.096.219,96 was estimated with an operating cost of R\$ 61.150,00 for generation of 868.32MWh / year, avoiding a cost (profit) of R\$ 251.766,48 per year of electricity purchased from the utility. This solution had NPV of R\$ 1.058.769,86, IRR of 22% and a discounted payback of 6 years. For thermal energy generation through the burning of biogas in a steam boiler, an investment of R\$ 858.102,50 was estimated with an operating cost of R\$ 35.600,00 to generate approximately 7,516 tons / year of steam, avoiding a cost (profit) of R\$ 996.016,00 per year of natural gas economy, current fuel. This solution had a NPV of R\$ 7.667.275, 22, an IRR of 116% and a discounted payback of 0, 4 years. It was concluded that the use for thermal energy generation is the most economically viable solution.*

**KEYWORDS:** *Anaerobic. Biogas. Energy. Economic feasibility.*

## 1. Introdução

Na busca contínua por competitividade, muitas empresas investem no aproveitamento sustentável de recursos, a fim de otimizar seus processos produtivos, diminuir custos e, conseqüentemente, melhorar suas receitas. Dentre outros, os projetos de eficiência energética vêm ganhando cada vez mais importância dentro das organizações. Segundo Ismail, *et al* (2015, p.19), “uma organização exponencial é aquela cujo impacto (ou resultado) é

desproporcionalmente grande, pelo menos dez vezes maior, comparado com seus pares, devido ao uso de novas técnicas organizacionais que alavancam as tecnologias aceleradas.”

Em se tratando do objeto de estudo, os sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes industriais, utilizando, dentre outras tecnologias, o reator anaeróbio de leito granular expandido (EGSB) oferecem uma oportunidade de geração de energia, elétrica e/ou térmica, proveniente da produção de biogás.

Segundo Chernicharo (1997), sistemas anaeróbios de alta taxa, tem a característica básica de reter grandes quantidades de biomassa de elevada atividade, mesmo com baixos tempos de retenção hidráulica (TRH).

Desta maneira, apresentam-se neste trabalho um estudo de viabilidade econômica do aproveitamento do biogás que será produzido em uma ETE de uma fábrica de papel. O estudo partiu do seguinte questionamento: O que é melhor? Gerar energia elétrica com sistemas de combustão ou produzir energia térmica (produção de vapor). A partir disso, desenvolveu-se a análise comparando as duas opções, afim de identificar mais vantajosa para a empresa.

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1. Tratamento anaeróbio de efluentes**

As tecnologias adequadas e de baixo custo são essenciais para o tratamento de efluentes. Os processos anaeróbios oferecem grande potencial para esse tratamento, mostrando sucesso na aplicação para grande número de efluentes. Elas são alternativas adequadas e preenchem os seguintes requisitos: simplicidade de projeto, uso de equipamentos e instalações simples, baixo consumo de energia e alta eficiência de tratamento (KATO *et al.*, 1997).

O reator conhecido como EGSB (expanded granular sludge bed) foi concebido a partir da necessidade de se aperfeiçoar o UASB (upflow anaerobic sludge bed), devido a ocorrência neste reator, na prática, de problemas como fluxos preferenciais, curto-circuitos hidráulicos e zonas mortas.

### **2.2. Biogás**

O biogás é uma mistura de gases formados durante o processo de digestão anaeróbica pelas bactérias, sendo composto majoritariamente por metano e gás carbônico. O metano é um

hidrocarboneto de cadeia simples e possui alto poder calorífico, devido a isso, o biogás pode ser utilizado como combustível alternativo (HIRANO, 2014).

O potencial energético do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás que determina o seu poder calorífico. O teor de metano varia de 40 a 75% dependendo da fonte geradora. A quantidade de biogás produto da biodigestão corresponde somente a 2,0 a 4,0% do peso da matéria orgânica utilizada no processo (CASTANÓN, 2002).

### 2.3. Viabilidade econômica

Segundo Keelling (2002), o estudo de viabilidade é um dos passos mais importantes para o sucesso no desenvolvimento do projeto, pois é no estudo de viabilidade, que o administrador financeiro baseará a avaliação de risco do projeto.

Para análise de viabilidade econômica do estudo em questão, foram adotados os seguintes métodos: VPL, TIR e *Payback* Descontado.

De acordo com Ross *et al.* (1995), o Valor Presente Líquido (VPL) de um investimento é um critério para que se decida se um projeto deve ser executado ou não. Se o VPL for positivo, o investimento é viável, se for negativo, o investimento poderia ser rejeitado. O VPL é calculado por:

$$VPL = -C_0 + \frac{R_1 - C_1}{1+r} + \frac{R_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_T - C_T}{(1+r)^T} \quad (1)$$

Em que:

$C_0$  – investimento inicial, R\$;

$R_T$  – receita anual, R\$;

$C_T$  – custo anual, R\$;

$r$  – taxa de juros anual, %;

$T$  – horizonte de planejamento do projeto, anos.

Através do cálculo do VPL também pode-se obter o *Payback* Descontado, que é determinado pelo período em que o VPL se torna positivo, levando-se em conta o desconto dos juros nos fluxos nominais previstos.

Segundo Motta e Calôba (2002), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, necessitando para isso, que haja receitas envolvidas, assim como investimentos. A TIR é calculada por:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} - I_0 = 0 \quad (2)$$

Em que:

FC – fluxos de caixa, R\$;

n – período final do investimento, anos;

i – período de cada investimento, ano;

$I_0$  – investimento inicial, R\$.

### 3. Metodologia

Esta é uma pesquisa com abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza aplicada, pois refere-se à solução de um problema, na qual foram utilizadas busca e interpretação de dados, análise técnica e econômica de processos e pesquisa bibliográfica e expõe-se no modelo de pesquisa descritiva.

O objetivo deste trabalho é comparar economicamente soluções para aproveitamento do biogás gerado em uma estação de tratamento de efluentes industriais que se encontra em fase de construção, com prazo estimado para início de operação em julho de 2020.

A empresa objeto deste estudo é uma das principais indústrias nacionais dos segmentos de papel para embalagens e embalagens de papelão ondulado, situando-se na região metropolitana de Belo Horizonte. Em 2019, com investimento aproximado de R\$ 10 milhões de reais, iniciou a implantação de uma estação de tratamento de efluentes em um modelo de tratamento biológico anaeróbico com pós tratamento aeróbico.

Nesse modelo, todo o efluente oriundo do processo produtivo, após passar por um sistema primário de tratamento existente, será enviado para conversão biológica no reator anaeróbico de circulação interna (IC), onde 75-85% da quantidade total de DQO afluente (6.000kg/dia) será transformado em biogás. A matéria orgânica que não irá ser retirada no processo anaeróbico (~10-15%) será encaminhada ao pós-tratamento aeróbico, processo de lodos ativados com aeração prolongada.

As características do biogás gerado no reator (Tabela 1) foram apresentadas pela empresa

responsável pelo projeto da ETE e dimensionados através das propriedades físico-químicas dos efluentes industriais que serão tratados.

TABELA 1 - Características do biogás

Parâmetro	Unidade	Valor
Vazão de biogás	Nm <sup>3</sup> /h	80
Metano (CH <sub>4</sub> )	%v	70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	%v	30
Água (H <sub>2</sub> O)	-	Saturado
Pressão de gás	Mbarg	20-30
Temperatura de gás	°C	30
Carga S <sup>0</sup>	kg/dia	12
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	Ppmv	4000
PCI	Kcal/Nm <sup>3</sup>	6800

Fonte: os autores.

O período de coleta dos dados de fornecedores das soluções propostas ocorreu entre julho a outubro de 2019, através de uma solicitação padrão aos proponentes encontrados através de pesquisa online. Alguns custos como montagens, fretes e sobressalentes foram estimados baseados em projetos anteriores.

Com base nas informações adquiridas, foram criados dois cenários com soluções distintas. Apresenta-se uma solução para geração de energia elétrica e outra para geração de energia térmica através da queima do biogás em caldeira para geração de vapor. Para ambas as soluções o tratamento do biogás se faz necessário com sistemas de dessulfurização de sulfeto de hidrogênio, pressurização e secagem, para melhorar a qualidade e rendimento do gás.

O sistema dessulfurizador para redução de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) é necessário por razões de saúde, segurança, meio ambiente e principalmente para evitar a corrosão dos equipamentos. O sistema reduz de 4000ppmv para <100ppmv de H<sub>2</sub>S, índice aceito pelos fabricantes dos equipamentos (caldeira e conjunto gerador). O sistema pressurizador é do tipo soprador centrífugo, utilizado para estabilização da pressão e vazão de biogás, sem este equipamento falhas de combustão podem acontecer, comprometendo por completo o desempenho e a garantia dos equipamentos.

Para aumentar o poder calorífico inferior (PCI) do biogás o sistema de secagem é fundamental. O conjunto de secagem é composto por um tanque separador de partículas de

água, um trocador de calor em aço inoxidável para retirada da umidade por condensação, um *chiller* para resfriamento da água que passará pelo trocador e um dreno automático que fará a retirada da água acumulada.

Atualmente toda energia elétrica consumida pela unidade fabril é adquirida da concessionária. A Tabela 2 apresenta o histórico de consumo de energia e o custo médio de aquisição de energia (não foram liberados os dados estratificados pela empresa) dos meses de abril a setembro de 2019.

TABELA 2 - Histórico de consumo de energia elétrica e custos

Período	Consumo MWh	Preço (R\$/MWh)
abr/19	1967,405	339,21
mai/19	2015,215	350,28
jun/19	1913,977	335,31
jul/19	1993,363	364,64
ago/19	1931,697	397,91
set/19	1644,138	374,89
Média	1910,966	360,37

Fonte: os autores.

Para geração de energia elétrica para autoconsumo, o projeto será enquadrado como mini geração distribuída compensada e deverá atender as seguintes normas técnicas: NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão; NBR 14039 – Instalações elétricas de média tensão; NR10 – Instalações e serviços em eletricidade.

TABELA 3 - Características do conjunto gerador

Potência Emergência	120kVA - 96kW
Potência Contínuo	84kVA - 67kW
Tensão	440/380V
Motor	MWM 6.12T (146 CV)
	Tipo: Turbinado, 4T, 6C
	Consumo: 49m <sup>3</sup> /h
Gerador (Alternador)	WEG, síncrono, trifásico
	Sistema Excitação Brushless
	Polos: 4 (1800 RPM)
	Regulador tensão eletrônico
Transferência	Automático
Grau de Proteção	IP-21

Fonte: os autores.

A escolha do modelo do conjunto gerador com as características descritas na Tabela 3, foi devido a sua fabricação ser específica para esse combustível, não sendo um modelo adaptado.

Também favorece sua escolha o fato dos equipamentos serem de procedência nacional. O escopo contempla o Quadro de Transferência Automática (QTA) com contatores intertravados mecanicamente, eletricamente e eletronicamente para não haver nenhum tipo de paralelismo entre rede e geradores.

Para otimizar os resultados e aproveitar todo o biogás gerado optou-se por utilizar dois conjuntos geradores. A quantidade de tempo de funcionamento dos geradores, a produção de energia elétrica e o custo evitado com a geração para autoconsumo foram estimados, respectivamente, através das equações 3, 4 e 5:

$$t = \frac{Q_{bio}}{C_G \times N} \times N_{dias/ano} \quad (3)$$

Em que:

$t$  – tempo de funcionamento em h/ano;

$Q_{bio}$  – vazão de biogás em m<sup>3</sup>/h;

$C_G$  – Consumo do gerador em m<sup>3</sup>/h;

$N$  – Número de geradores;

$N_{dias/ano}$  – Número de dias de funcionamento por ano.

$$G_{EE} = \frac{P_G \times N \times t}{1000} \quad (4)$$

Em que:

$G_{EE}$  – geração de energia elétrica em MWh/ano;

$P_G$  – Potência do gerador em kW.

$$C = G_{EE} \times V_{EE} \quad (5)$$

Em que:

$C$  – custo evitado com a geração de energia elétrica em R\$/ano;

$V_{EE}$  – preço médio de energia elétrica em R\$/MWh.

Para geração de energia térmica, o biogás será utilizado como combustível complementar ao gás natural na combustão em caldeira para produção de vapor para processos industriais. A Tabela 4 apresenta um histórico de produção de vapor e seus respectivos custos dos meses de abril a setembro de 2019. A empresa analisada possui uma caldeira flamotubular com as características apresentadas na Tabela 5.

TABELA 4 - Histórico de produção de vapor, consumo e custo de gás natural

Período	Prod. Vapor (ton)	Consumo GN (m <sup>3</sup> )	Preço GN (R\$/m <sup>3</sup> )
abr/19	8.334,89	578.998,48	1,88
mai/19	9.045,30	623.939,17	2,02
jun/19	8.292,03	585.199,58	1,99
jul/19	8.717,53	598.458,95	2,01
ago/19	8.603,60	582.131,63	2,00
set/19	7.199,90	487.580,10	2,03
Média	8.365,54	576.051,32	1,99

Fonte: os autores.

TABELA 5 - Características da caldeira

Tipo	Flamotubular Horizontal
Marca	Alfa Laval Aalborg
Modelo	M3P-15G
Queimador	My-Jet
Ano	2017
Vazão	15.000 kg/h
Pressão	15 kgf/cm <sup>2</sup>

Fonte: os autores.

Como o volume de biogás não atende por completo a demanda de combustível para produção atual de vapor, faz-se necessário a substituição do sistema de combustão para um sistema com opção de dualidade de matriz energética, ou seja, gás natural e biogás.

O modelo escolhido foi do tipo múltiplos tubos, que prevê o aproveitamento do sistema de ar de combustão existente. Com queimador tipo “*Plenum*”, em conjunto com um dispositivo de mistura, propiciará excelentes condições operacionais e atenderá rigorosamente a norma ABNT 12.313 (sistema de combustão, controle e segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura) edição 09/00.

Os cálculos de rendimento de gás natural, rendimento de biogás, produção anual de vapor com biogás e custo evitado com a utilização do biogás foram estimados, respectivamente, através das equações 6, 7, 8 e 9:

$$\eta_{GN} = \frac{P_{vapor}}{C_{GN}} \quad (6)$$

Em que:

$\eta_{GN}$  – rendimento do gás natural em kg<sub>vapor</sub>/m<sup>3</sup>GN;

$P_{vapor}$  – produção média de vapor em kg/mês;

$C_{GN}$  – consumo médio de gás natural em m<sup>3</sup>/mês.

$$\eta_{bio} = \frac{PCI_{bio} \times \eta_{GN}}{PCI_{GN}} \quad (7)$$

Em que:

$\eta_{bio}$  – rendimento do biogás em kg<sub>vapor</sub>/m<sup>3</sup><sub>bio</sub>;

$PCI_{bio}$  – poder calorífico inferior do biogás em kcal/m<sup>3</sup>;

$PCI_{GN}$  – poder calorífico inferior do gás natural em kcal/m<sup>3</sup>.

$$P_{vapor/bio} = Q_{bio} \times \eta_{bio} \times t \quad (8)$$

Em que:

$P_{vapor-bio}$  – produção de vapor com biogás em kg/ano;

$Q_{bio}$  – vazão de biogás em m<sup>3</sup>/dia;

$t$  – tempo de produção em dias/ano.

$$C = \frac{P_{vapor-bio} \times V_{GN}}{\eta_{GN}} \quad (9)$$

Em que:

C – custo evitado com a utilização do biogás em R\$/ano;

V – preço médio do gás natural em R\$/m<sup>3</sup>.

No projeto original, foi considerado um Gasômetro para pressurização do gás e um *Flare* para queima atmosférica. No estudo foi considerado manter essa configuração de equipamentos em paralelo às soluções propostas, para queima do gás excedente ou em uma eventual parada do sistema. No desenvolvimento da viabilidade econômica utilizou-se uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 8% ao ano (valor utilizado pela empresa para todos os seus projetos) e um fluxo de caixa de 15 anos, período de tempo considerado como a vida útil do projeto.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Geração de energia elétrica

Através da pesquisa por soluções de aproveitamento de biogás, notou-se que a solução mais comum é para geração de energia elétrica por meio de geradores de combustão interna. Para tal, todos os investimentos foram quantificados e apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 - Investimentos

INVESTIMENTOS	
Descrição	Valor (R\$)
Sistema de Dessulfurização H <sub>2</sub> S	488.102,50
Sistema de Pressurização	80.000,00
Sistema de Secagem	95.000,00
Conjuntos Geradores	295.117,46
Sobressalentes	50.000,00
Montagens Eletromecânicas	80.000,00
Construções Civas	5.000,00
Fretes	3.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.096.219,96</b>

Fonte: os autores.

Os custos totais com manutenção e consumíveis foram quantificados em R\$ 61.150,00. Para aproveitamento máximo da vazão de biogás, foi optado por utilizar dois conjuntos geradores, com um consumo total de 98m<sup>3</sup>/h de biogás, operando 18 horas por dia ou 6.480 horas por ano. Como cada grupo gerador entrega uma potência contínua de 67kW o sistema irá gerar um total de 868,32 MWh por ano que multiplicado a uma média (abril a setembro de 2019) de R\$ 360,37 MWh tem-se um custo evitado com a geração de energia elétrica de R\$ 312.916,48 por ano.

Para obter-se uma receita anual subtrai-se do custo evitado (lucro) os custos de operação encontrando um lucro líquido de R\$ 251.766,48 ao ano. Com os dados obtidos, foi elaborado um fluxo de caixa desta solução onde apresentou-se um resultado positivo em 6 anos e um VPL de R\$1.058.769,86 no ano 15.

#### 4.2 Geração de energia térmica

Para a solução de aproveitamento de biogás para geração de energia térmica através da queima em caldeira para produção de vapor, todos os investimentos foram quantificados e apresentados na Tabela 7.

Os custos totais com manutenção e consumíveis foram quantificados em R\$ 35.600,00. Através das médias de produção de vapor e consumo de gás natural encontra-se um rendimento de 14,5 kg de vapor por metro cúbico de gás natural. Para descobrir o rendimento do biogás fez-se um comparativo entre os PCI's do gás natural, 8500kcal/m<sup>3</sup>, e do biogás, 6800kcal/m<sup>3</sup> e obteve-se um rendimento de 11,6 kg de vapor por m<sup>3</sup> de biogás. Multiplicando

o rendimento do biogás com sua vazão e o tempo de produção chega-se a um total de 7.516.800,00 kg de vapor ao ano produzidos com biogás.

TABELA 7 - Investimentos

<b>INVESTIMENTOS</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Sistema de Dessulfurização H <sub>2</sub> S	488.102,50
Sistema de Pressurização	80.000,00
Sistema de Secagem	95.000,00
Sistema de Combustão	78.000,00
Sobressalentes	38.000,00
Montagens Eletromecânicas	68.000,00
Construções Civas	5.000,00
Frete	6.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>858.102,50</b>

Fonte: os autores.

Para encontrar o custo evitado (lucro) com o aproveitamento de biogás, multiplica-se a produção de vapor com biogás pela média do preço do gás natural e divide-se pelo seu rendimento e obtém-se um valor de R\$ 1.031.616,00 ao ano que quando se diminui dos custos operacionais tem-se uma receita líquida de R\$ 996.016,00 ao ano. Com os dados obtidos, foi elaborado um fluxo de caixa desta solução onde apresentou-se um resultado positivo em 0,4 anos e um VPL de R\$7.667.275,22 no ano 15.

#### 4.3 Comparativo das soluções

De acordo com os dados obtidos no estudo das duas soluções e cálculos de viabilidade econômica, foi elaborado a Tabela 8 para apresentação dos resultados encontrados.

TABELA 8 - Apresentação de resultados

	<b>Energia Elétrica</b>	<b>Energia Térmica</b>	
Investimento	1.096.219,96	858.102,50	R\$
Custo Operacional	61.150,00	35.600,00	R\$
Receita	251.766,48	996.016,00	R\$/ano
VPL	1.058.769,86	7.667.275,22	R\$
TIR	22	116	%
Payback	6	0,4	anos

Fonte: os autores.

Verifica-se, que a energia térmica se torna mais atrativa, por dois fatores preponderantes, custo operacional mais baixo e a receita quase 4 vezes maior do que a energia elétrica

## 6. Considerações finais

O estudo demonstrou que o aproveitamento de biogás gerado a partir da digestão anaeróbica de efluentes industriais em um reator de circulação interna, do tipo leito granular expandido (EGSB), é potencialmente viável do ponto de vista econômico para geração de energias elétrica e térmica.

Analisando os resultados obtidos pode-se observar que a solução de geração de energia elétrica demanda de investimento inicial e custo operacional mais elevados, sendo a solução de geração de energia térmica para produção de vapor a mais viável, visto que apresentou VPL de R\$ 7.667.275,22, TIR de 116% e um *Payback* descontado de 0,4 anos sendo considerado uma taxa mínima de atratividade de 8% e uma vida útil do projeto de 15 anos.

Um fator limitante na geração de energia térmica é uma possível diminuição na produção de vapor pois o rendimento do biogás é de 80% em relação ao gás natural, impacto esse que pode ser avaliado em estudos futuros. Salienta-se que novos estudos devem ser realizados com o sistema de tratamento de efluentes em operação e alcance de performance, para confirmação real dos dados de vazão e características do biogás gerado bem como a busca por outras formas de aproveitamento do mesmo, como por exemplo a utilização de microturbinas.

## Referências

CASTANÓN, N.J.B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al. Reactores anaeróbios. In: **Princípios de Tratamento Biológico de Aguas Residuárias**. UFMG, 1997.

HIRANO, Marcio Yukio; DA SILVA, Celso Luiz. Análise da viabilidade do uso de biogás gerado a partir de dejetos bovinos em microturbinas para fins de geração, cogeração e trigeração de energia. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 1, 2014.

ISMAIL, Salim. **Organizações Exponenciais: por que elas são 10 vezes melhores, mais rápidas e mais baratas que a sua (e o que fazer a respeito)**. Salim Ismail, Michael S. Malone, Yuri Van Guest; tradução de Gerson Yamagami. São Paulo: HSM Editora, p. 288, 2015.

KATO, M. T.; REBAC, S.; FIELD, J. A.; LETTINGA, G. Anaerobe tolerance to oxygen and potentials of anaerobic cocultures for wastewater treatment. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 14, n. 4. São Paulo, 1997.

KEELLING, Ralph. **Gestão de projetos: uma abordagem global**. São Paulo: Saraiva, p. 293, 2002.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

ROSS, S. A. *et al.* **Administração financeira**. Trad. De A. Z. Sanvicente. São Paulo: Atlas, 1995.