

# **IMPACTO ECONÔMICO DA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM FRIGORÍFICO DE AVES**

C. BOHN<sup>1</sup>, D. SCHIAVON MAIA<sup>2</sup>, R. R. NIKLEVICZ<sup>3</sup>, N. C. PEREIRA<sup>2</sup>, M. L. GIMENES<sup>2</sup>,  
L. M. FRARE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, COENGE

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Maringá, PEQ/DEQ

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGTAMB

E-mail para contato: laercio@utfpr.edu.br

**RESUMO** – O aproveitamento do biogás como fonte de energia pode resultar na redução de custos industriais devido ao seu uso como combustível em geradores. Para que esses motores possam gerar energia, por um tempo suficiente que viabilize economicamente o processo, é necessária a remoção do Sulfeto de Hidrogênio ( $H_2S$ ), que causa danos ao sistema. Para avaliar este impacto econômico, foi instalado um sistema de purificação de biogás, utilizando uma solução de Fe-EDTA, em um frigorífico de aves. A metodologia utilizada foi a anualização dos custos de investimento, fazendo um comparativo entre os processos de geração de energia com biogás purificado e não purificado. Os resultados obtidos permitem concluir que a inclusão da etapa de purificação acrescentou 5,1% ao custo do biogás e 1,8% ao custo da energia elétrica. Apesar dos acréscimos nos custos unitários dos produtos, o cenário de análise do biogás purificado apresentou TIR e payback time sensivelmente melhor do que o biogás não purificado.

## **1. INTRODUÇÃO**

O crescente aumento da demanda energética e a dificuldade para o seu suprimento, faz necessário o investimento em novas fontes energéticas alternativas para auxiliar no desenvolvimento sustentável.

Na região Oeste do Paraná, onde se destaca a produção agroindustrial, os dejetos provenientes de frigoríficos podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de biogás, uma alternativa energética renovável, que possibilita a criação de fontes de suprimentos descentralizadas e em pequena escala em indústrias que busquem desenvolvimento sustentável e apostem em novas tecnologias para o suprimento de sua demanda de energia. Porém, para que o biogás possa ser utilizado em todo seu potencial e entrar na matriz energética brasileira de forma efetiva, é necessário sua purificação, antes de sua conversão em energia, retirando dele o Sulfeto de Hidrogênio, danoso

para a saúde e para o sistema de geração de energia (tubulações, motogeradores e demais equipamentos) ao qual pode trazer muitas avarias, acarretando em custos que podem desmotivar as indústrias a se utilizarem desta fonte energética.

Cervi *et al.*, (2010), analisaram a viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. O biodigestor analisado foi um modelo tubular contínuo, com calha de água em alvenaria e com uma manta plástica como gasômetro, onde eram depositados diariamente os dejetos de 2.300 suínos em fase de terminação. O investimento inicial para implantação foi estimado em R\$ 51.537,17, e os custos anuais do sistema foram de R\$ 5.708,20 com manutenção, R\$ 4.390,40 com depreciação e R\$ 1.366,77 com juros. Concluiu-se que o sistema de produção de biogás é viável do ponto de vista econômico, se o consumo de energia elétrica for de 35 kWh por dia, em média, sendo o Valor Presente Líquido (VLP) de R\$ 9.494,90, e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 9,34% ao ano.

O objetivo da realização deste trabalho foi verificar a viabilidade econômica da implementação de uma estação de purificação de biogás que utiliza o mecanismo de remoção de Sulfeto de Hidrogênio por absorção com reação química em solução contendo ferro quelado com EDTA (Ácido Etilenodiaminotetraacético) em um frigorífico de aves localizado na Região Oeste do Paraná.

## **2. MÉTODO**

### **2.1. Os Problemas do Sulfeto de Hidrogênio e o Sistema de Remoção**

O  $H_2S$  é um gás incolor, de cheiro desagradável característico, extremamente tóxico e mais denso do que o ar. Sob condições anaeróbias é altamente reativo, corrosivo e tóxico (Souza *et al.*, 2005). Devido a sua toxidez, o  $H_2S$  pode causar vários danos à saúde humana, podendo ser leves ou graves, dependendo de sua concentração, indo de uma leve irritação nos olhos ou até à morte (Mainier e Rocha, 2003). Além disso, apresenta grande potencial destrutivo quando em contato com estruturas de concreto e metal (construções, cercas e equipamentos como motores, tubulações, etc.). Na geração de energia elétrica, a partir do biogás, o maior problema está na corrosão causada pelo  $H_2S$  na compressão do biogás. A sua combustão junto com o biogás também causa severos problemas ambientais, como a chuva ácida, devido à produção de Dióxido de Enxofre ( $SO_2$ ).

O mecanismo de remoção de  $H_2S$  para a purificação do biogás, utilizado neste trabalho, é o de absorção com reação química em solução contendo ferro quelado com EDTA (Fe-EDTA). No processo o  $H_2S$  é transferido da fase gasosa para fase líquida, reage com o quelato de ferro e é levado a enxofre elementar. A solução é oxidada e regenerada, podendo ser novamente utilizada no processo (Horikawa, 2004). Este método apresenta elevada eficiência e seletividade na remoção de  $H_2S$ , evita gastos desnecessário de reagentes, as condições ambientes são favoráveis ao processo, a solução catalítica de Fe-EDTA é facilmente regenerada, a absorção química do  $H_2S$  trás, como produto final, enxofre elementar que é produto estável, de fácil comercialização e que pode ser disposto em aterro industrial com menor potencial poluente (Horikawa, 2004). O sistema de remoção de  $H_2S$  implantado foi baseado nos estudos de Frare (2006) e está descrito na Figura 1.

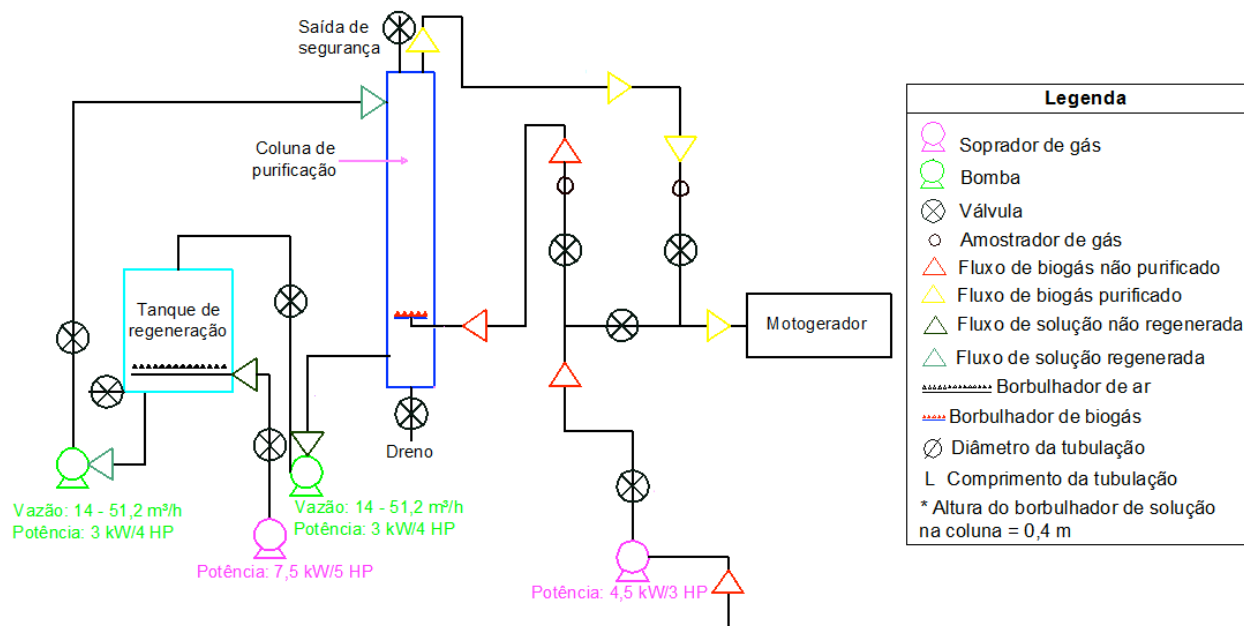


Figura 1 – Sistema de purificação de biogás implantado no frigorífico de aves

O biogás entra em contato com a solução purificadora em contracorrente, alimentada na parte superior da coluna. Para garantir uma distribuição homogênea do biogás na fase líquida, na base da coluna, onde acontece a entrada do biogás, há um borbulhador de gás (tubo de PVC, com orifícios de borbulhamento de aproximadamente 2 mm). A coluna de tratamento é de aço inox, para resistir à corrosão. O biogás purificado deixa o sistema por uma tubulação acoplada na parte superior da coluna de purificação e é enviado para o motogerador. A solução purificadora proveniente da coluna de tratamento é enviada ao tanque de regeneração de solução por meio de uma bomba. No tanque de regeneração é injetado ar atmosférico em sua base, por meio de um compressor de ar. A solução regenerada segue para a coluna de purificação por meio de outra bomba. Durante o contato em contracorrente do biogás e da solução, na coluna de purificação é produzido enxofre devido às reações químicas com o  $H_2S$  absorvido (Bohn *et al.*, 2012).

## 2.2. Análise da Viabilidade Econômica

Para obter o custo de produção da energia elétrica a partir do biogás, utilizou-se a metodologia descrita por Souza *et al.* (2004), que define o custo como uma composição do capital investido na construção, da manutenção do biodigestor e do sistema do motogerador. Para o custo da produção de energia elétrica contendo a etapa de purificação de biogás, novos componentes foram adicionados (capital investido para a construção e manutenção do purificador de biogás).

A metodologia utilizada para a análise da viabilidade econômica foi a de anualização dos custos de investimento, fazendo um comparativo entre os cenários de geração de energia com biogás não purificado e purificado. Nas análises econômicas, a taxa de juros utilizada foi de 7% a.a., aplicada pela FINEP, que é a financiadora do projeto de geração de energia do frigorífico em questão. Considerou-se como 365 dias a disponibilidade da planta de geração de energia e 10 anos como o

tempo de amortização do investimento. Como receita, considerou-se apenas a produção de energia elétrica para autoconsumo industrial. O fluxograma apresentado na Figura 2 ilustra os passos para a análise de investimento utilizada nos dois cenários (geração de energia com biogás não purificado e purificado).

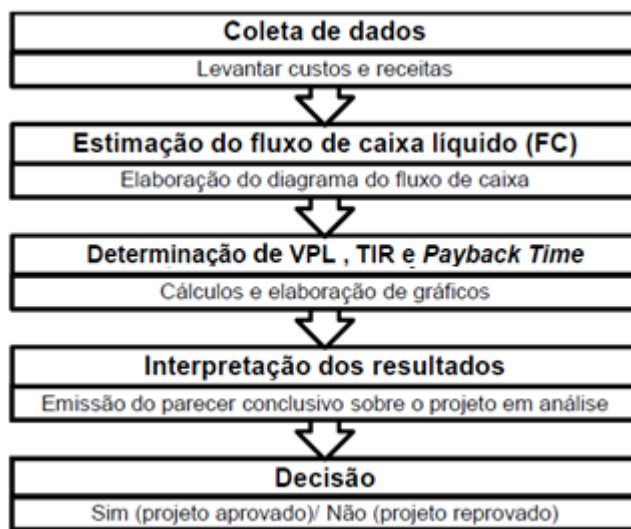


Figura 2 - Fluxograma da abordagem proposta para a análise de investimento.

Fonte: adaptado de Rasoto *et al.*, 2012.

Após a realização desta sequência de passos, foi possível mensurar o impacto econômico da purificação de biogás no processo de geração de energia e concluir sobre sua viabilidade econômica.

### 3. RESULTADOS

Na Tabela 1 apresenta-se os resultados obtidos para os dois cenários de análise. Sendo o Cenário 1 o que descreve os custos para o biogás não purificado e o Cenário 2 os custos para o biogás purificado.

Tabela 1 – Comparativo dos resultados da análise econômica para os Cenários 1 e 2

Variáveis	Cenário 1	Cenário 2
Custo anualizado do biodigestor (R\$)	123.860,41	123.860,41
Produção anual de biogás ( $\text{m}^3_{\text{biogás}} \cdot \text{ano}^{-1}$ )	788.400	788.400
Custo anualizado do purificador (R\$)	-	6.005,52
Custo do biogás (R\$)	0,157	0,165
Gasto anual com biogás (R\$)	123.860,41	129.865,93
Custo anualizado do sistema motogerador (R\$)	76.247,34	68.498,76
Produção de Eletricidade ( $\text{kW} \cdot \text{ano}^{-1}$ )	919.800	919.800
<b>Custo da energia elétrica (R\$.<math>\text{kW}^{-1}</math>)</b>	<b>0,218</b>	<b>0,222</b>

Nota-se que, para o Cenário 2, tem-se a adição do custo anualizado do purificador. Porém, em contrapartida, diminui-se o custo anualizado do motogerador, pois há uma redução no custo da manutenção do sistema de geração de energia (motogeradores), decorrente da purificação que elimina quase completamente o  $H_2S$  presente no biogás (purificação esperada: 96-98%), extinguindo seu potencial corrosivo quando em contato com estruturas de concreto e metal (construções, cercas e equipamentos como motores, tubulações, etc.). A redução nos custos de manutenção do sistema motogerador foi considerada em 50%, uma redução conservadora, porém, como o sistema de purificação não encontra-se em funcionamento tempo suficiente para a análise desta variável, foi o valor mais indicado.

### 3.1. Fluxos de Caixa dos Dois Cenários

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, foi possível gerar o fluxo de caixa de cada cenário. Na Figura 3 apresenta-se um comparativo dos fluxos de caixa acumulados.

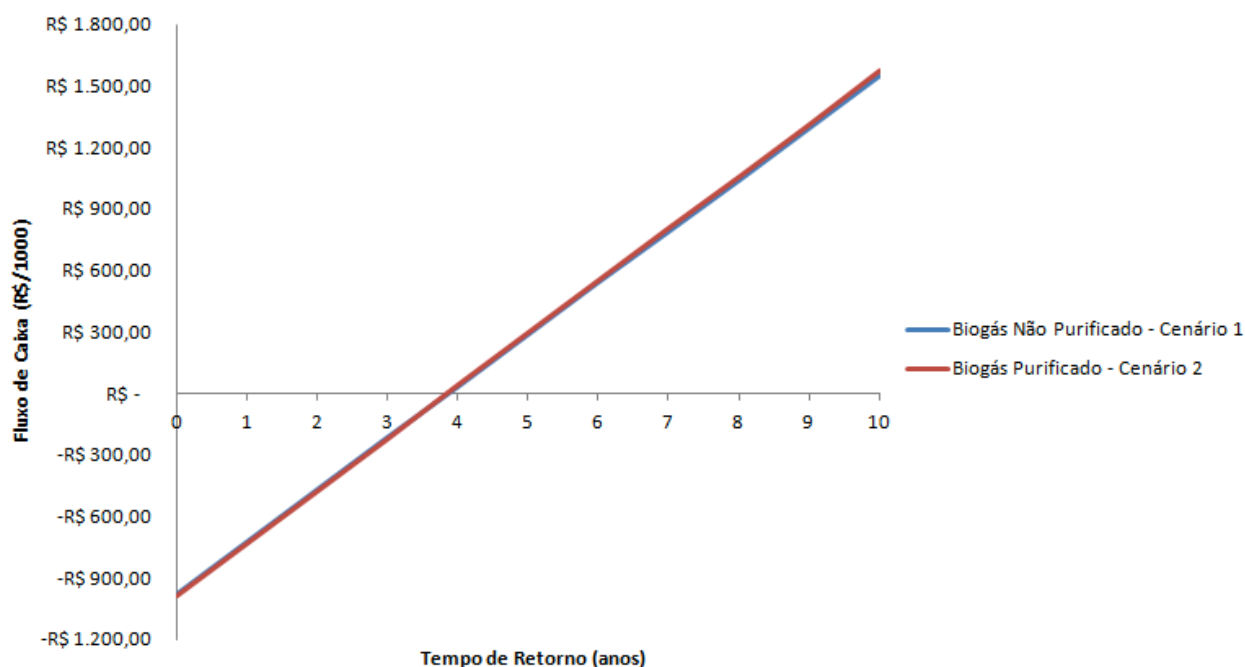


Figura 3 – Gráfico comparativo dos fluxos de caixa

Observa-se que a diferença entre os fluxos de caixa dos dois cenários é pequena, e que, apesar do processo com purificação aumentar o custo do biogás e da energia elétrica gerada, ele ainda apresenta uma mínima vantagem no tempo de retorno e na lucratividade do projeto. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do comparativo entre os indicadores econômicos dos dois cenários.

Tabela 2 – Indicadores econômicos dos dois cenários

Indicador	Cenário 1	Cenário 2
VPL	R\$ 2.748.230,44	R\$ 2.786.323,76
TIR	22,42%	22,50%
Payback Time	4 anos	3 anos e 11 meses

### 3.2. Influência das Variáveis Número de Trocas de Solução e Concentração da Solução no Cenário 2.

Na análise econômica do biogás purificado, definiu-se o número ideal de trocas da solução purificadora igual a 4 (quatro) e uma concentração ótima de 0,12 mol/L da solução para purificação. Sendo a solução purificadora o fator que mais interfere no custo de manutenção do purificador, avaliou-se a influência da alteração destas variáveis no custo do biogás e da eletricidade produzida. A influência da variação do número de trocas de solução no custo do biogás e da eletricidade, mantendo constante a concentração da solução em 0,12 M é apresentada na Figura 4.

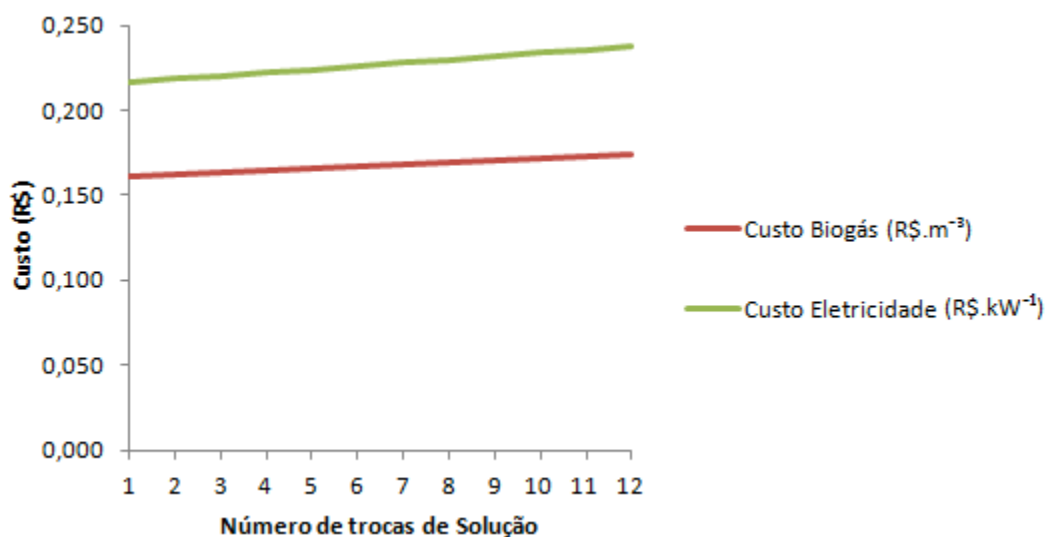


Figura 4 – Influência do Número de Trocas da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade

Na Figura 5 apresenta-se o gráfico da influência da alteração da concentração da solução purificadora nos custos do biogás e da eletricidade, mantendo constante o número de quatro trocas anuais de solução.

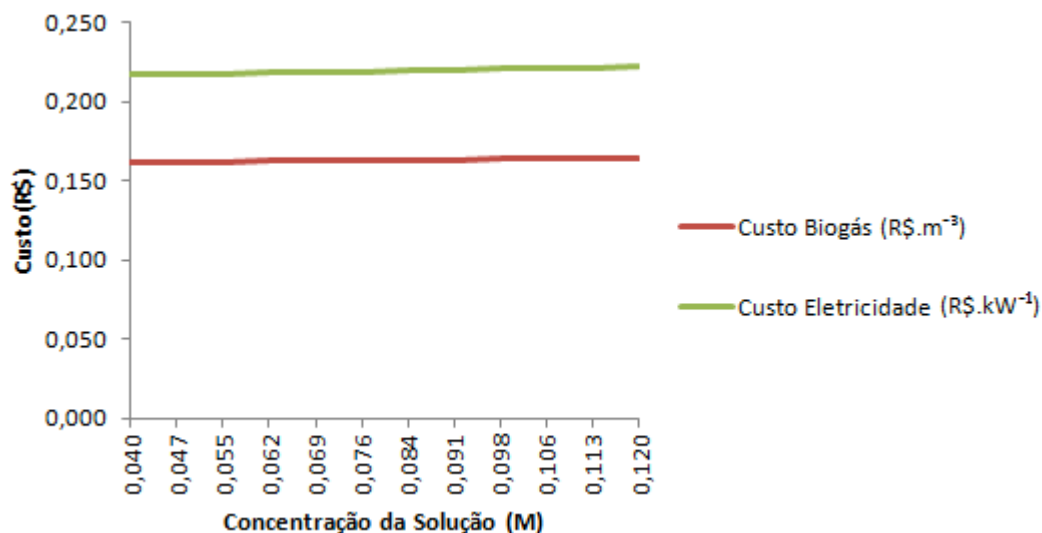


Figura 5 – Influência da Concentração da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade

Percebe-se que a alteração do número de trocas da solução apresenta uma influência mais efetiva sobre os custos do biogás e da eletricidade produzida. Sendo assim, este fator apresenta-se como um ponto que deve ser rigorosamente controlado no processo de operação do equipamento de purificação, devendo haver muito cuidado na sua armazenagem e também no controle de possíveis vazamentos no purificador, bem como o acompanhamento constante da eficiência de purificação por meio de testes.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise econômica dos dois cenários mostrou que a inclusão da etapa de purificação no processo de produção de energia alterou o custo do biogás de 0,157 para 0,165 R\$.m<sup>-3</sup>, e o custo da energia elétrica de 0,218 para 0,222 R\$.kW<sup>-1</sup>. Apesar deste acréscimo nos valores finais, o cenário de análise do biogás purificado apresentou um tempo de retorno minimamente menor que o cenário do biogás não purificado. Enquanto a TIR obtida para o cenário de biogás não purificado foi de 22,42%, a TIR encontrada para o cenário do biogás purificado foi de 22,5%. Sendo o objetivo do sistema proposto a eliminação dos problemas de corrosão causados pelo H<sub>2</sub>S no processo de geração de energia elétrica, assim que o sistema estiver operando a um tempo considerável para realização de análises sobre a redução dos custos de manutenção do sistema de motogeração, é muito provável que a inclusão da etapa de purificação se torne ainda mais viável economicamente, pois estima-se que a redução destes custos seja consideravelmente maior que 50%, valor utilizado nas análises do trabalho.

Constata-se que a implantação da etapa de purificação é viável, visto que o sistema ainda permanece lucrativo depois que o purificador foi instalado. O purificador apresentado é uma alternativa de fácil implantação em outras plantas de geração de energia a partir de biogás, por tratar-se de um equipamento compacto, de baixo custo quando comparado ao custo total do sistema de geração de energia, e, além disto, não são necessárias grandes modificações no sistema já existente para a sua implantação.



## 5. REFERÊNCIAS

- BOHN, C.; FRARE, L. M.; ARIOLI, R.; EYNG, E. BITTENCOURT, P. R. S.; SCHIAVON MAIA, D.; PEREIRA, N. C. Implementação de um Sistema para Remoção de  $H_2S$  de Biogás Proveniente do Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Aves. *XVII SICITE – Sem. de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR*, Curitiba, 2012.
- CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. Viabilidade Econômica da Utilização do Biogás Produzido em Granja Suinícola para Geração de Energia Elétrica. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010.
- FRARE, L. M. *Estudos para a Implementação de uma Planta para Remoção de Ácido Sulfídrico de Processos de Produção de Biogás*. 2006. 162 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2006.
- HORIKAWA, M. S.; ROSSI, F.; GIMENES, M. L.; COSTA, C. M. M.; SILVA, M. G. C. Chemical Absorption of  $H_2S$  for Biogas Purification. *Brazilian Journal of Chem. Eng.*, v. 21, v. 03, pp. 415 - 422, July - September 2004.
- MAINIER, F. B.; ROCHA, A. A.  $H_2S$ : Novas Rotas de Remoção Química e Recuperação de Enxofre. *Anais do 2º Cong. Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro, Junho, 2003.
- RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G. de; ROSA, C. F. da; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A. de; LIMA, I. A. de; LIMA, J. D. de; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. *Gestão Financeira: enfoque em inovação*. Curitiba: Aymará Educação, 2012.
- SOUZA, H. P.; ROCHA, S. M. S.; SÉRVULO, E. F. C.; CAMMAROTA, M. C.; CARDOSO, V.L. Redução da Produção de  $H_2S$  em Sistemas Anaeróbios. *VI COBEQ – Cong. Brasileiro de Eng. Quím. em Iniciação Científica*, Campinas, 2005.
- SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto de Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. *Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v. 26. no. 2. p. 127-133, 2004.