



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

## **AValiação TéCNica e EconôMica da Conversão de BIOMETANO EM ETENO**

Filipe Ferreira Chaves<sup>1</sup>; Suênia Fernandes de Vasconcelos<sup>2</sup>; José Nilton Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Química – [felipejosefch@gmail.com](mailto:felipejosefch@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Química – [sueniaafernandes@gmail.com](mailto:sueniaafernandes@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Química – [nilton@eq.ufcg.edu.br](mailto:nilton@eq.ufcg.edu.br)

### **RESUMO**

O etileno é um hidrocarboneto de alto valor agregado, sua produção comercial é tradicionalmente obtida pelo craqueamento da nafta. Um dos maiores problemas dessa rota convencional é a quantidade de gases poluentes que são liberados na atmosfera. Dessa forma, a pesquisa propõe um processo alternativo para produção do etileno a partir do biogás baseado no processo de Acoplamento Oxidativo do Metano (AOM). A planta proposta foi simulada no Aspen plus® e dividida em duas partes integradas, a reacional e a de separação. A etapa reacional consiste da conversão do biometano em etileno, enquanto a etapa de separação retira e purifica o dióxido de carbono, recuperando o metano não convertido. A avaliação econômica demonstrou que a planta proposta apresenta uma perspectiva da taxa de retorno de investimento de 20% ao ano. Assim, o processo analisado é classificado como uma inovação tecnológica por produzir etileno a partir do lixo orgânico, como também a geração de créditos de carbono.

### **1. INTRODUÇÃO**

A ciência química é responsável por obter produtos a partir de fontes naturais ou artificiais, processar a matéria prima e então transformá-la em um bem de consumo. Na etapa de processamento, pode haver geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Para solucionar o problema, acredita-se ser necessário encontrar novas formas de atuação que priorizem o consumo responsável e ecoeficiente de operações e produtos. Dessa forma, promove-se a redução dos impactos ambientais e de consumo de recursos naturais através do desenvolvimento da Economia Verde, resultando na geração de bens e serviços sustentáveis a preços competitivos

satisfazendo as necessidades humanas [SACHS, 2009].

Nesse contexto, pesquisas recentes como a de Ros [2012] vêm desenvolvendo os chamados produtos verdes, tendo como exemplo o etileno verde que é produzido a partir do eteno obtido do etanol da cana de açúcar. A grande diferença dessa rota de produção para a convencional é a quantidade de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera. Seguindo essa perspectiva, o presente projeto tem o objetivo propor um processo alternativo para produção do eteno a partir do metano do biogás.

O biogás é um gás constituído basicamente de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S),

**[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)**  
**.br**

**(83) 3322.3222**

**[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)**

hidrogênio ( $H_2$ ), sendo uma fonte de energia renovável, oriundo de diversos tipos de resíduos, tais como: agrícolas, industriais e urbanos. O mesmo é produzido pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica realizada por microrganismos em condições favoráveis de pH e temperatura [HEROUT et al, 2011].

Embora o biogás seja um emissor de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o seu aproveitamento proporciona a redução do potencial de agressão ao meio ambiente, uma vez que o  $CO_2$  é cerca de 21 vezes menos poluente do que o gás metano ( $CH_4$ ) [MOHAJAN, 2012]. Isto é explicado pelo fato do  $CH_4$  ser muito mais efetivo que o  $CO_2$  na absorção da radiação solar na superfície da terra.

A utilização do metano como matéria prima para transformação em derivados da indústria petroquímica de alto valor agregado tem se mostrado promissora. Neste processo o biometano é convertido diretamente em etileno através do acoplamento oxidativo do metano (AOM), o qual foi analisado a fim de obter um processamento econômico e ambiental mais atrativo do que outras rotas de produção.

### **1.1. Unidade de Processamento do Biogás**

Partindo de uma visão conceitual, o biogás pode ser aplicado a uma planta integrada com o processo reacional e a cogeração de energia. Segundo Salkuyeh e Adams [2015], o gás que não reagiu pode ser reciclado e utilizado como combustível, dentre as várias opções para geração de energia, a utilização de uma turbina de combustão a gás clássico pode ser usada, no qual o combustível é queimado no ar para girar a turbina e produzir eletricidade.

Uma unidade de processamento do biogás vem sendo idealizada, como mostra a Figura 1. A matéria prima inicial dessa unidade é a biomassa processada em um biodigestor na forma líquida ou sólida no caso de aterros sanitários controlados, gerando assim o biogás e o biofertilizante. De acordo com o conceito de mecanismo de desenvolvimento limpo introduzido pelo Protocolo de Kyoto (1997), ou projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), toda unidade produtora que utiliza o metano gerado a partir do biogás pode ser quantificada quanto a sua capacidade de gerar créditos de carbonos. Por sua vez, o biogás pode ser utilizado em unidades de cogeração de energia e de produção de etano e eteno a partir do AOM. Nas duas subunidades o  $CO_2$  pode ser purificado e utilizado como matéria prima em outros processos.



O principal insumo necessário para a

O processo de acoplamento oxidativo

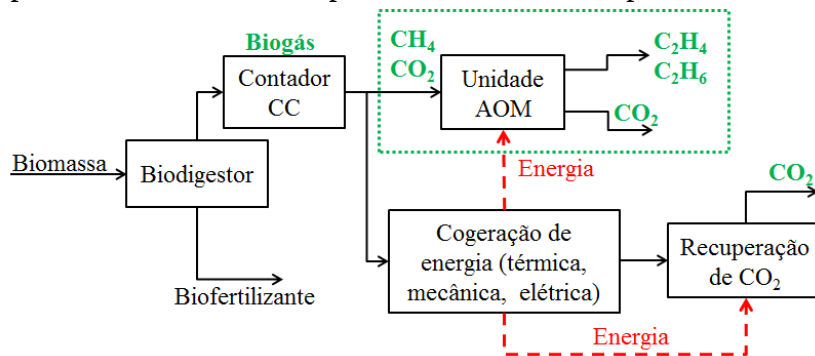


Figura 1: Fluxograma geral da aplicação do biogás em uma planta de geração de energia, recuperação de  $\text{CO}_2$  e geração de etileno.

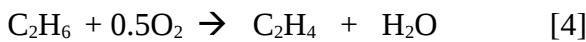
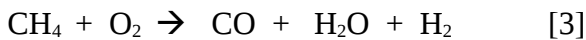
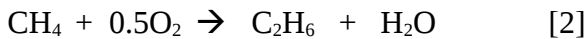
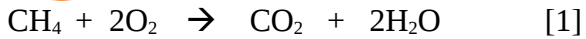
produção de etano/eteno é a eletricidade que por sua vez poderá ser gerada através do próprio biogás no sistema de cogeração. A integração entre as unidades de cogeração e a unidade reacional é feita a partir da geração de energia para as utilidades necessárias no processo. Dessa forma os custos envolvidos com utilidade podem ser compensados, uma vez que os créditos de carbono podem ser quantificados.

O biogás é, portanto, hoje visto como uma fonte de matéria-prima potencial e promissora para a produção de metano e em seguida para sua transformação em derivados da indústria química ou petroquímica de alto valor agregado, tornando possível a substituição àqueles provenientes do processamento do petróleo [MOYA, 2008].

## 2. METODOLOGIA

do metano, onde, o metano é convertido diretamente no etano e etileno vem apresentando melhorias significativas nas tecnologias de conversão. Algumas dessas melhorias observadas estão no desenvolvimento de catalisadores estáveis e seletivos [MLECZKO e BAERNS, 1995; BHATIA *et al.*, 2009; LANGFELD *et al.*, 2012].

Nesse trabalho um processo foi proposto no intuito de avaliar a produção de etano/etileno a partir do metano gerado na fermentação anaeróbica, tendo como origem o biogás. Para síntese do fluxograma do processo, como mostra a Figura 2, foram consideradas as informações de conversões, seletividades e rendimentos da pesquisa realizada por Godine *et al.* [2013]. Porém, uma simplificação do modelo reacional foi proposto em 4 principais reações, de acordo com as equações abaixo.

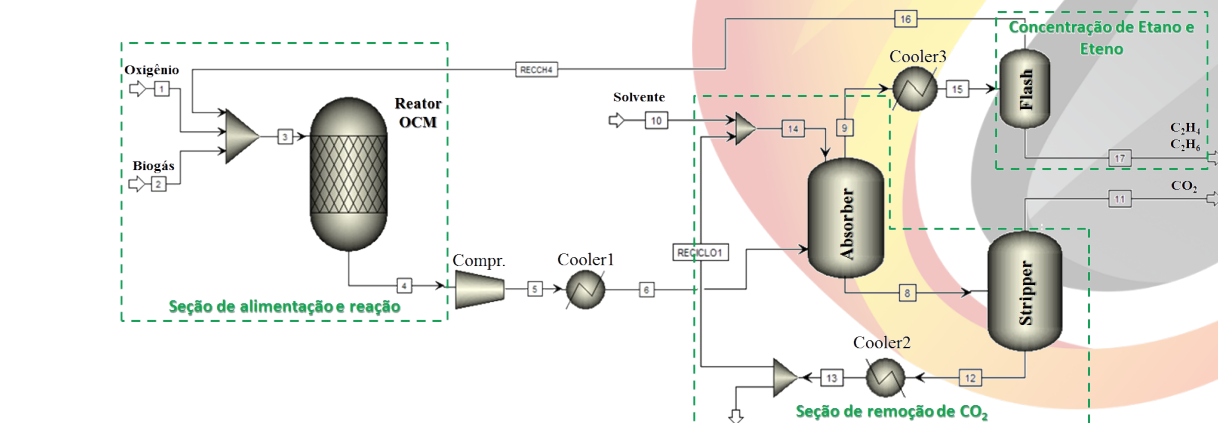


Para avaliar o potencial de produção de etileno, um diagrama com as principais etapas do processo foi proposto na Figura 3. Por sua

Figura 3: Fluxograma proposto para produção de Etano e etano a partir da reação oxidativa acoplada do metano oriundo do Biogás.

vez, as etapas consideradas são: reação e separação com recuperação de  $\text{CO}_2$  e de  $\text{CH}_4$ . A separação de  $\text{CO}_2$  foi proposta com a utilização de aminas como agente separador, enquanto a recuperação do  $\text{CH}_4$  foi proposta a partir da separação criogênica.

Figura 2: Diagrama simplificado do



processo de produção de etano/eteno verde.

A estrutura proposta para o processo considera critérios de projeto conceitual gerais com uma maior integração, segundo a Figura 3. O reator é alimentado com o biogás, uma corrente de oxigênio e uma corrente de reciclo da etapa de recuperação de metano. Em seguida o teor de água da corrente de gás de saída do reator é continuamente reduzido

através do emprego de um compressor multifase, enquanto fornece a pressão de operação para as etapas seguintes.

O  $\text{CO}_2$  presente na alimentação é gerado na reação e separado por um absorvedor de amina. O restante da corrente é introduzido em um desmetanador onde os gases leves são separados a partir do etano e etileno sob alta pressão (40 bar) e temperaturas muito baixas ( $-122\text{ }^\circ\text{C}$ ) fornecidas por utilidades criogênicas.

A análise técnica e econômica deste trabalho assumiu como base de cálculo a

produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e uma média de geração per capita brasileira de 1.151 kg/dia [FERNANDES, 2009]. Para uma cidade a partir de 146 mil habitantes o potencial de produção de biogás é de 34 km<sup>3</sup> por dia. Foram considerados os três elementos principais para o cálculo do custo de produção de etileno verde a partir do biometano: o custo de capital da planta, a energia necessária para executá-la e os custos de operação e manutenção.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito que cada variável tem no processo, suas correlações e os vários outros fatores locais devem ser analisados conjuntamente através de uma abordagem de engenharia simultânea a fim de examinar o desempenho de todas as operações da unidade. Desta forma, as potencialidades e deficiências de cada seção do processo são destacadas e os seus efeitos indiretos no âmbito de todo o desempenho do processo são analisados.

Assim como observado por Salkuyeh e Adams [2015] a propriedade mais importante que afeta a seletividade e a conversão no reator é a razão de entrada entre o metano e o oxigênio. Aumentando a proporção de CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> aumenta a seletividade da reação em favor de produção de etileno, mas reduz a taxa de

conversão, bem como a produção de CO<sub>2</sub>. Como resultado, a energia consumida para a separação do CO<sub>2</sub> reduz.

Em um processo de AOM eficiente a produção de CO<sub>2</sub> indesejado é minimizada e quantidades mais elevadas de etano e de etileno (C<sub>2</sub>) são produzidos na seção do reator. Além disso, uma energia de remoção de CO<sub>2</sub> eficiente e seletiva deve ser utilizada. Estes aspectos devem ser tecnicamente avaliados, não apenas no contexto do desempenho de uma única unidade de operação, mas também na economia de todo o processo. A simulação tomando como base a alimentação adotada resultou no balanço de massa que se encontra na Tabela 1.

O custo capital de investimento para o processo foi determinado utilizando o *Aspen Process Economy Analyser*® e os respectivos equipamentos necessários para a realização das operações estão especificados na Tabela 2.

Já o custo operacional e de manutenção assumido para o funcionamento do processo pode ser considerado como sendo no máximo 95 % do custo capital, resultando em \$ 4.820.300,00/ano.

Em comparação com a rota convencional, a rota proposta baseada em um processo ecoeficiente e no desenvolvimento de um produto verde contribui consideravelmente para redução da emissão de gás carbônico na atmosfera, além de

apresentar grande potencial de retorno econômico.

Tabela 3: Custo médio dos insumos e produtos.

Tabela 1: Balanço de massa para o processo.

| Comp.                         | Alim.<br>(kg/s) | Saída do Reator<br>(kg/s) | Recuperação<br>(kg/s) | Materia Prima:<br>O <sub>2</sub> | Separador de C <sub>2</sub><br>(kg/s) | \$            |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| CH <sub>4</sub>               | 0,171322        | 0,094227                  | 0,094227              | Produtos                         | 0,003925                              | -             |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | -               | 0,005811                  | 0,005811              | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>    | 0,000000                              | 0,005746      |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | -               | 0,106658                  | 0,106658              | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>    | 0,002213                              | 0,104458      |
| CO <sub>2</sub>               | 0,315208        | 0,720636                  | -                     | Crédito de Carbono               | 6026,307870                           | 4.738,12      |
| O <sub>2</sub>                | 0,227852        | -                         | -                     |                                  |                                       |               |
| <b>Total (kg/s)</b>           | <b>0,714380</b> | <b>0,927333</b>           | <b>0,206697</b>       | <b>0,720636</b>                  | <b>0,006197</b>                       | <b>0,1102</b> |

Tabela 2: Custo médio dos equipamentos.

| Equipamentos                    | 10 <sup>3</sup> (\$) |
|---------------------------------|----------------------|
| Mix                             | 58.000,00            |
| Reator                          | 756.000,00           |
| Compressor                      | 558.000,00           |
| 3 Cooler                        | 805.000,00           |
| Sistema Absorber                | 1.256.000,00         |
| Sistema Stripper                | 986.000,00           |
| Flash                           | 573.000,00           |
| Spliter                         | 82.000,00            |
| <b>Custo Capital do projeto</b> | <b>5.074.000,00</b>  |

O lucro obtido é gerado em detrimento da produção de etano/etileno e dos créditos de carbono, totalizando \$ 5.859.798,29/ano. Os valores detalhados para os insumos e produtos estão descritos na Tabela 3. Além disso, uma unidade de separação de ar pode ser acoplada a planta visando à obtenção do oxigênio a um custo inferior quando comparado ao oxigênio comprado, podendo tornar o processo economicamente ainda mais atrativo.

O rendimento anual obtido gira em torno de \$ 1 milhão, e a taxa interna de retorno é cerca de 20%.

Os resultados mostram que o processo proposto apresenta uma viabilidade econômica satisfatória com custos relativamente baixos e um possível retorno sobre o investimento programado para 5 anos, argumento suficientemente consistente para as instalações industriais atuais.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o processo de produção de etano e eteno via biometano obtido a partir do biogás gerado de resíduos sólidos urbanos. A utilização do RSU como matéria prima para a geração do biometano, caracteriza o processo como inovador e o configura como um agente construtor da

sustentabilidade, visto que, utiliza uma matéria prima residual agregando valor a um produto de interesse comercial. A busca por produtos verdes que ofereçam uma alternativa para a redução dos impactos ambientais, ganha força crescente e expansiva no mercado atual.

O processo foi avaliado, sobretudo, pela métrica de sustentabilidade e quantificado em relação ao seu potencial de gerar créditos de carbono. Os resultados apresentados identificam a viabilidade do processo e sustentam a sua continuidade.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) pelo suporte fornecido.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHATIA, S.; THIEN, C.; MOHAMED, A. *Oxidative coupling of methane (OCM) in a catalytic membrane reactor and comparison of its performance with other catalytic reactors*. Chemical Engineering Journal, v. 148, p. 525–532, 2009.

FERNANDES, J. G. *Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário*

*Experimental*. 2009. 101p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos -, Belo Horizonte.

GODINI, H.; Xiao, S.; Jašo, S.; Stünkel, S.; Salerno, D.; Son, N.; Song, S.; WOZNY, G. *Techno-economic analysis of integrating the methane oxidative coupling and methane reforming processes*. J. Fuel Processing Technology: Elsevier, p. 106, 684-694, 2013.

HEROUT, M.; MALAŤÁK, J.; KUČERA, L.; DLABA, T. *Biogas composition depending on the type of plant biomass used*. J. Res. Agr. Eng., v. 57, p. 137–143, 2011.

LANGFEL, D.; FRANK, K.; STREMPER, B.; BERGER-KARIN, C.; WEINBERG, G.; KONDRATENKO E.; SCHOMÄCKER, R. *Comparison of oxidizing agents for the oxidative coupling of methane over state-of-the-art catalysts*. Applied Catalysis A: General, v. 417, p. 145–152, 2012.

MLECZKO, L.; BAERNS, M.; *Catalytic oxidative coupling of methane: reaction engineering aspects and process schemes*. J. Fuel Processing Technology: Elsevier, p. 217-248, 1995.

MOHAJAN, H. K. *Dangerous Effects of Methane Gas in Atmosphere*. International Journal of Economic and Political Integration, p. 3–10, 2012.

MOYA, S. F. *Estudo da ativação e acoplamento não oxidativo do metano em catalisadores metálicos suportados: efeito do método de síntese sobre propriedades estruturais e atividade catalítica*. 2008. 169p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Rio de Janeiro – RJ.

ROS, S. *Produção de Eteno a partir de etanol utilizando aluminas*. 2012.

Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós Graduação em Engenharia Processos. Rio Grande do Sul – RS.

SACHS, I. *A Terceira margem em busca do desenvolvimento*. Companhia das Letras, 2009.

SALKUYEH, Y.; ADAMS T. *A novel polygeneration process to co-produce ethylene and electricity from shale gas with zero CO<sub>2</sub> emissions via methane oxidative coupling*. Journal Energy Conversion and Management, v. 92, p. 406–420, 2015