



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

Luana Pereira de Souza(*), Lígia Gomes Oliveira, Helton Jose Alves

*Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, UFPR-Setor Palotina

RESUMO

A indústria sucroenergética apresenta na sua cadeia produtiva, etapas do processo que, se não adequadamente gerenciadas podem desencadear no meio ambiente impactos indesejáveis, principalmente associados ao solo e à água. A vinhaça, por exemplo é o principal resíduo gerado do processo destilatório do etanol hidratado, estima-se que para cada litro de etanol produzido são gerados entre 10 a 13 litros de vinhaça. Assim, o seu aproveitamento para uso energético se torna relevante ambientalmente por evitar o lançamento inadequado no meio ambiente e por promover um destino mais nobre para esse resíduo. Utilizando modelagem computacional foi possível estimar a quantidade de vinhaça produzida em uma usina sucroenergética do Norte do Paraná, e, posteriormente, estimar a produção diária de biogás produzido de acordo com dados de operação da usina. Os resultados demonstraram uma produção diária de vinhaça em 5.749,09 de biogás em 256,27m³/dia, e gás metano em 153,76m³/dia, com tempo de detenção hidráulica de 30 dias, nos reatores UASB.

PALAVRAS-CHAVE: biogás, vinhaça, modelagem computacional.

ABSTRACT

The sugarcane industry presents in production chain, stages of the process that, if not properly managed, can cause undesirable impacts in the environment, mainly associated with soil and water. Vinasse, for example, is the main residue generated from the distillation process of hydrated ethanol, it is estimated that for each liter of ethanol produced between 10 and 13 liters of vinasse is generated. Thus, its use for energy use becomes environmentally relevant by avoiding the inadequate release into the environment and by promoting a nobler destination for this waste. Using computational modeling, it was possible to estimate the amount of vinasse produced in a sugarcane plant in the north of Paraná, and then to estimate the daily production of biogas produced according to the plant's operating data. The results showed a daily production of vinasse at 5.749,09 biogas at 256.27m³ / day, and methane gas at 153.76m³ / day, with hydraulic detention time of 30 days, in the UASB reactors.

KEY WORD: biogas, vinasse, computational modeling.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética, juntamente com a eventual redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, estão impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia, que sejam menos poluentes, renováveis e que reduzam o impacto ambiental.

O etanol é considerado um combustível limpo, por sua emissão de dióxido de carbono durante o processo ser compensado pela fixação desse gás (CO₂) no vegetal (cana-de-açúcar) por meio da fotossíntese. Entretanto, para alcançar a sustentabilidade em sua produção, são necessários conceitos além do marketing aplicado a este biocombustível, sendo necessário implantar projetos que visem o tratamento, descarte e reaproveitamento de resíduos da cadeia produtiva, como é o caso da vinhaça.

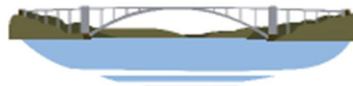
O biogás tem sido uma opção, por ser um gás originado pela decomposição da matéria orgânica, composto principalmente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e uma mistura de outros gases em menores proporções como, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico e monóxido de carbono.

A liberação do biogás no meio ambiente, contribui para o aumento de temperatura da terra, pois cerca de 60% desse gás é composto por metano, que é 21 vezes mais poluente que o CO₂, além de ser um dos principais causadores do efeito estufa. Contudo, se o biogás for direcionado para outros fins, como para a produção de energia, por meio de sua queima, o mesmo é oxidado a gás carbônico, reduzindo assim, seu potencial de aquecimento global.

O biogás após purificado, possui um grande potencial de uso como alternativa aos combustíveis fósseis, por sua praticidade em ser aplicado diretamente em caldeiras ou aquecedores para a geração de energia térmica na cogeração, produzindo eletricidade.

A implantação da digestão anaeróbia da vinhaça no setor sucroenergético, é uma alternativa que vai de encontro ao que se chama de “tecnologia limpa”, contribuindo diretamente para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do etanol. Desse modo, através do aproveitamento energético do biogás é possível alcançar a valorização do resíduo e a mitigação do efeito estufa, evitando custos correspondentes ao uso de fontes convencionas de energia elétrica.

OBJETIVO DO TRABALHO



O presente trabalho objetiva simular o processo de produção de etanol hidratado a fim de quantificar a produção total da vinhaça gerada em 24 horas de operação da usina sucroenergética e posterior estimar a produção de biogás em reator UASB.

METODOLOGIA

Para estimar a quantidade de vinhaça gerada no processo, é necessário, modelar e simular todo o processo de produção de etanol hidratado da usina. Assim, foram criados modelos no ambiente de simulação do Aspen Plus. A modelagem de um sistema no Aspen Plus foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consiste na especificação das propriedades e a segunda etapa constitui na especificação da simulação.

O primeiro passo baseia-se na especificação dos componentes químicos que fazem parte do sistema. Na Tabela 1 são apresentados os componentes químicos utilizados nesse trabalho, são os que compõe o vinho delevudado, fornecido pela Usina do Norte do Paraná.

Tabela 1 - Composição média do vinho delevudado da usina do Norte do Paraná.

Composto	Unidade	Quantidade
Etanol	% (m/m)	8,055
Teor de água	% (m/m)	91,94
Glicerol	% (m/m)	0,17
ART	%	0,05

Tabela 2 - Especificação da corrente de alimentação VINHO.

Temperatura (°C)	97,97
Pressão (kPa)	136
Vazão Mássica (m ³ /h)	122,05

Tabela 3 - Composição da corrente de alimentação VINHO

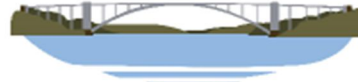
Componente	Fração mássica
Etanol	0,0805
Água	0,9173
Glicerol	0,0017
Dextrose	0,0005

Tabela 4 - Especificação da corrente de alimentação VAPOR-A e VAPOR-B

Temperatura (°C)	108,42
Pressão (kg/cm ²)	1,60
Vazão Mássica (m ³ /h)	139,95

Tabela 5 - Condições operacionais das colunas de destilação do sistema 1.

Coluna A	
Número de pratos	20
Pressão no topo (MCA)	0,350
Pressão no fundo (MCA)	0,600
Posição de retirada de vapor de flegma	2
Coluna D	
Número de pratos	10
Pressão no topo (kPa)	49,45
Pressão no fundo (kPa)	52,45
Razão de Refluxo (kg/kg)	99
Coluna B	
Número de pratos	42
Pressão no topo (MCA)	0,75
Pressão no fundo (MCA)	0,400
Posição de alimentação de vapor de flegma	25



Posição de alimentação de flegma líquida	25
Posição de retirada de óleo fúsel	21 e 43
Razão de Refluxo (kg/kg)	6
Vazão de óleo fúsel1 (kg/h)	88
Vazão de óleo fúsel2 (kg/h)	30

Especificação da simulação

Esta etapa consiste, inicialmente, em construir o fluxograma do sistema estudado (Figura 1) representa o processo de destilação para obtenção do etanol hidratado, onde o aquecimento das colunas de destilação é realizado, por vapor de forma indireta. As colunas A e D representam o conjunto de destilação e a coluna B representa o conjunto de retificação.

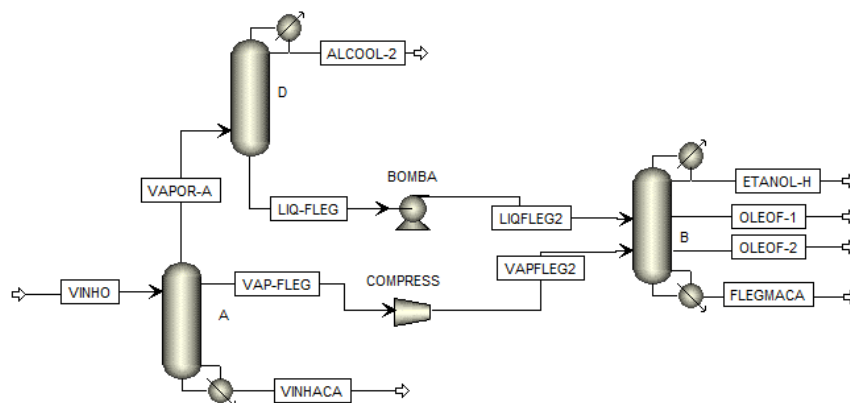


Figura 1-fluxograma do processo de produção de etanol hidratado. Fonte: Autor do Trabalho.

Após modelado o processo de produção de etanol, foi modelado o processo de produção de biogás a partir do resultado gerado vinhaça.

Modelagem matemática da produção de biogás a partir da vinhaça em reatores UASB

Os parâmetros informados, são referentes a característica da vinhaça e o modelo matemático adotado no simulador Maple 18, foi selecionado de acordo com Souza,(2017), utilizou as seguintes variáveis:

A primeira etapa da simulação consistiu em fornecer os parâmetros da vinhaça e das constantes pela interface do simulador. Abaixo são listados os nomes, as variáveis e as equações utilizadas no simulador conforme, Chernicharo (2016):

- $Q_{méd}$ – Vazão afluyente média (m³/dia);
- DQO_{SO} – DQO afluyente inicial (mg/L);
- DBO_{SO} – DBO5 afluyente inicial (mg/L);
- T – Temperatura do afluyente (oC);
- TDH – Tempo de retenção hidráulica (d)

a) Dimensionamento do reator UASB

Para dimensionar o reator, foi realizado um cálculo da carga média de DQO e do valor do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), expressa o tempo que o afluyente deve permanecer dentro do reator, obtido pela equação (1).

$$V_{REATOR\ TOTAL} = Q_{méd} \cdot TDH \quad (1)$$

Onde tem-se os seguintes parâmetros:

$V_{REATOR\ TOTAL}$ – Volume total do reator (m³);
 $Q_{méd}$ – Vazão afluyente média (m³/dia);
 TDH – Tempo de retenção hidráulico (dia)



b) Cálculo da eficiência de remoção de DQO

A estimativa da eficiência de remoção de DQO pode ser obtida através da

Equação (2), conforme com Chernicharo (2016):

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot TDH e^{-0,35}) \quad (2)$$

Nessa equação tem-se os seguintes termos:

E_{DQO} – Eficiência do reator UASB em termos de remoção de DQO (%);

TDH – Tempo de retenção hidráulica (d);

0,68: Constantes empíricas;

0,35: Constantes empíricas.

Para uma estimativa da concentração de DQO no efluente final pode-se usar a Equação(3):

$$S = S_0 - \frac{E \cdot S_0}{100} \quad (3)$$

Onde os termos são:

S – Concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/L);

S_0 – Concentração de DBO ou DQO do afluente (mg/L);

E – Eficiência de remoção de DQO ou de DBO (%).

d) Cálculo da produção de biogás

A Equação (4), conforme descrita por Chernicharo (2016), pode ser usada para calcular a conversão de DQO em gás metano:

$$DQO_{CH_4} = Q_{med}(S_0 - S) - Y \cdot Q_{med} S_0 \quad (4)$$

Onde os termos que aparecem são:

DQO_{CH_4} – Carga média de DQO em (mg/L);

Q_{med} – Vazão média do afluente (m³/dia);

S_0 – Concentração de DQO do afluente inicial (mg/L);

S – Concentração de DQO do efluente (mg/L);

Y = Coeficiente de Produção de Sólidos no sistema (mg/L).

A conversão da massa de metano (kgDQOCH₄ /dia) em produção volumétrica de metano (m³CH₄/dia) pode ser feita através do uso das Equações (5) e (6), sugerida em Chernicharo (2016):

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)} \quad (5)$$

$$K(t) = \frac{P \cdot \beta}{R \cdot (273 + t)} \quad (6)$$

Nessas equações os termos são:

Q_{CH_4} - Produção volumétrica de metano (m³/dia);

K (t) - Fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m³);

P - Pressão atmosférica (1 atm);

β - DQO correspondente a um mol de CH₄ (0,064 kgDQO/mol);

R - Constante dos gases (0,08206 atm. L/mol. K);

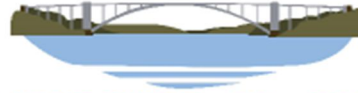
T - Temperatura operacional do reator (K).

A partir da produção volumétrica de QCH₄, pode-se estimar a produção total de biogás, com o teor de metano em 60% (7).

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad (7)$$

Onde os termos que aparecem são:

$Q_{biogás}$ - Produção volumétrica biogás (m³/dia);



Q_{CH_4} – Produção volume de metano (m³/dia);
 C_{CH_4} – Concentração de metano (60%).

Cálculo de carga hidráulica volumétrica (CHV) A Equação (8) permite o cálculo de acordo com Chernicharo (2016):

$$CHV = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

Onde tem-se que:

CHV – Carga hidráulica volumétrica (m³/m³.dia);
 Q – Vazão (m³/dia); V – Volume do reator (m³).

a) Cálculo de vazão normal de metano em metro cúbico, a seguir na equação (9)

Q_{CH_4} - Vazão normal de metano em metro cúbico (Nm³/h); (9)

$$Q_{CH_4} = V_1 * (P_1/P_2) * (T_2/T_1) * (Z_2/Z_1)$$

V1- Volume do gás em m³/h

P1- Pressão (1 atm)

P2- Pressão (1 atm)

T2- Temperatura padrão em kelvin (273,15 K = 0 °C);

T1- Temperatura real kelvin (273,15+ 23°C);

Z1- Fator de compressibilidade ideal (1);

Z2- Fator de compressibilidade do gás metano(0,98).

b) Cálculo de vazão normal de biogás em metro cúbico, a seguir na equação (10)

$$Q_{biogás} = V_1 * (P_1/P_2) * (T_2/T_1) * (Z_2/Z_1) \quad (10)$$

V1- Volume do gás em m³/h

P1- Pressão (1 atm)

P2- Pressão (1 atm)

T2- Temperatura padrão em kelvin (273,15 K = 0 °C);

T1- Temperatura real em kelvin (273,15+ 55°C);

Z2- Fator de compressibilidade ideal (1,0);

Z1- Fator de compressibilidade do biogás (1,0);

Especificação dos dados de entrada da modelagem matemática da produção de biogás a partir da vinhaça em reatores UASB

A primeira etapa da simulação consistiu na aplicação do modelo matemático descrito. A partir do resultado da modelagem da produção de etanol, foi estimado a vazão total da vinhaça nas 24hrs de operação da usina. Alguns parâmetros de entrada do simulador MAPLE, foram adotados de acordo com Moraes et al, (2014) como: T e CCH4.. Enquanto que a DQO da vinhaça mista, foi medida no laboratório LABCATPROBIO. A seguir na Tabela 6 apresenta os dados de entrada utilizados para modelagem da produção de biogás.

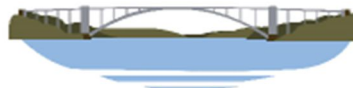


Tabela 6-Principais valores de entrada usados para modelagem da produção de biogás

Parâmetros	Valor	Unidade	Referência
DQO _{so} - DQO do afluente de entrada	105.133	mg/L	Autora
Q _{méd} - Vazão afluente média (vinhaça)	5749,09	m ³ /dia	Autora
TDH - Tempo de retenção hidráulico	30	dias	Autora
Y = Coeficiente de Produção de Sólidos no sistema (mg/L).	0,03	mgSSV/DQO	Haandel Lettinga (1994)
P - Pressão atmosférica	1	atm	
β - DQO correspondente a um mol de CH ₄	0,064	KgDQO/mol	
R - Constante dos gases	0,08206	atm. L/mol. K	
T - Temperatura operacional do reator	55	°C	Morais, et al (2014)
Z1- Fator de compressibilidade do gás metano	0,98	atm	Atkins, (2008)
Z2- Fator de compressibilidade ideal do gás metano	1	atm	Lopes, (2010)
T1- Temperatura real kelvin	296,15	k	
T2- Temperatura padrão em kelvin	273,15	k	
CCH ₄ - concentração de metano	60	%	Morais, et al (2014)

RESULTADOS

Os resultados expressam a vazão total da vinhaça no dia 26/09/2018 na usina do Norte do Paraná, considerando um regime de operação na destilaria em 24hrs. Os valores dos componentes da vinhaça se mostrou satisfatório, apresentando, baixa perda de etanol na vinhaça, e um baixo percentual de dextrose, o que indica uma eficiente fermentação.

A partir do resultado da vazão total da vinhaça, foi alimentado no simulador Maple 18, a fim de estimar a potencial produção de biogás a partir da vinhaça.

Tabela 7 - Resultados da vazão VINHAÇA do sistemas 1

Variáveis	Sistema 1
Vazão mássica total (L/dia)	5.749.090
Temperatura (°C)	99,28
Pressão (kPa)	16,89
Fração mássica	
Etanol	0,0442
Água	0,9534
Glicerol	0,0019
Dextrose	0,0005

A Tabela 8 mostra os resultados da modelagem matemática da produção de biogás a partir da vinhaça em reatores UASB.

Tabela 8-Resultado da modelagem matemática da produção de biogás a partir da vinhaça em reatores UASB

Parâmetro	Valor	Unidade
E= eficiência de remoção de DQO	79,32	%
S = concentração de DQO no efluente final	21,74	mg/L
DQO _{CH₄} - Carga média de DQO	0,4613	kgDQO _{CH₄} /dia
K (t) - Fator de correção para a temperatura operacional do reator	0,003	kgDQO/m ³
Q _{CH₄} - Produção volumétrica de metano	153,76	m ³ /dia
Q _{CH₄} - Produção volumétrica de metano	6,407	m ³ /h
Q _{CH₄} - Vazão normal de metano em metro cúbico	5,791	Nm ³ /h
Q _{biogás} -Produção volumétrica de biogás	256,27	m ³ /dia
Q _{biogás} -Produção volumétrica de biogás	10,678	m ³ /h



$Q_{\text{biogás}}$ -Vazão normal de biogás em metro cúbico	9,849	Nm ³ /h
CHV- Carga hidráulica volumétrica	0,0333	m ³ /m ³ /dia

O metano e o biogás, são gases compressíveis, ou seja, têm propriedade de variar volume em função da variação da temperatura e pressão. Portanto, enquanto que a vazão mássica permanece constante durante o escoamento permanente de um gás, a vazão volumétrica se altera conforme as condições de pressão e temperatura mudam. A fim de padronizar a vazão, foi realizada uma correção do volume de biogás para normal metro cúbico por hora (Nm³/h), em condições normais de temperatura e pressão de 1 atm a 23°C, no qual pelo fator de compressibilidade do biogás confinado apresenta o comportamento próximo ao gás ideal (LOPES, 2010).

De acordo com Elia Neto, (2016), 1m³ de vinhaça, pode chegar a produzir 114 Nm³ de biogás, com um teor de metano de 60%, e quando aplicado a um conjunto de moto gerador com eficiência de 40%, produz 230 kWh de energia elétrica.

CONCLUSÕES

A vinhaça, por exemplo, é o principal resíduo gerado do processo destilatório do etanol hidratado, em 2014 foram gerados cerca de 280 bilhões de litros de vinhaça, sendo que 97% de sua totalidade foram lançado no solo para práticas de fertirrigação para suprir necessidades de adubação potássica e contribuir com outros nutrientes essenciais. Toda essa vinhaça que é lançada no solo representa um desperdício de potenciais usos mais nobres deste resíduo, como exemplo, a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia

Nas 24hrs de operação da usina, foi gerado um total de 5.749.090 de vinhaça, aplicando a modelagem matemática foi possível estimar a produção total de biogás, correspondente a 256,27m³/dia, e gás metano em 153,76m³/dia, apresentando um tempo de detenção hidráulica de 30 dias, em reatores UASB, e uma eficiência de remoção de DQO em 79,32%. Os resultados, demonstram o grande potencial de aproveitamento da vinhaça para fins energéticos, tendo em vista, que a mesma é utilizada apenas para práticas de fertirrigação dos canaviais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da Companhia Paranaense de Energia - COPEL, por meio do projeto PD 2866-0470 / 2018, regulamentado pela ANEEL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbicos**. 2ª ed. ampliada e atualizada.
2. ELIA NETO, A. “**Estado da arte da vinhaça**”. Piracicaba, SP: UNICA. 2016
3. LOPES, Guido Nunes. “**Modelagem Não-linear da Produção Acumulada de Biogás em Rede de Biodigestores Anaeróbios**”. REVISTA AGRO@ MBIENTE ON-LINE, v. 1, n. 1, p. 37-40, 2010.
4. MORAES, B. S; JUNQUEIRA, T. L; PAVANELLO, L, G. CAVALETTA, O; Paulo E.Mantelatto; BONOMIA, A; ZAIATB, M.. “**Anaerobic Digestion of Vinasse from Sugarcane Biorefineries in Brazil from Energy, Environmental, and Economic Perspectives: Profit or Expense?**” Applied Energy, vol. 113, janeiro de 2014, p. 825–35. Crossref, doi:10.1016/j.apenergy.2013.07.018.
5. SOUSA, E. A. F; FERREIRA, D.C; SILVA, M. B; “**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA VINHAÇA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA REATOR UASB**”. Enciclopédia Biosfera, vol. 14, no 25, dezembro de 2017, p. 1406–18. Crossref, doi:10.18677/EnciBio_2017B118.