

Avaliação técnica do processo de síntese de biogás a partir de substratos rurais

Technical evaluation of biogás synthesis process from rural substrates

Evaluación técnica de proceso de síntesis de biogás a partir de sustratos rurales

Recebido: 24/10/2021 | Revisado: 04/11/2021 | Aceito: 11/11/2021 | Publicado: 21/11/2021

Fernanda Fajardo Nacif Petraglia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0337-7113>

Universidade de Vassouras, Brasil

E-mail: fernandafajardo14@hotmail.com

Gabriel Alves de Souza Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7000-3990>

Universidade de Vassouras, Brasil

E-mail: gabriel_asg@outlook.com

Adriana Lau da Silva Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0851-5522>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: adralmartins@hotmail.com

Ana Lucia Barbosa de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-4840>

SENAI CIMATEC, Brasil

E-mail: souza.analu3@gmail.com

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3667-3875>

SENAI CIMATEC, Brasil

E-mail: fernando.pessoa@fieb.org.br

Cristiane de Souza Siqueira Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3325-8369>

Universidade de Vassouras, Brasil

E-mail: cristiane.pereira@universidadedevassouras.edu.br

Resumo

A região do Vale do Café, no estado do Rio de Janeiro, apresenta grande parte do solo voltado à agropecuária e o Município de Vassouras, como uma das cidades que a compõem, possui aproximadamente 62% da área destinada a esta prática. O grande volume de dejetos de animais e palhas de vegetais nestas regiões rurais apresentam potencial como matéria prima para geração de energia e podem contribuir também para a produção de fertilizantes orgânicos. Os resíduos rurais convertidos em gases e/ou fertilizantes orgânicos podem ser designados ao uso da própria agricultura local, colaborando para o desenvolvimento sustentável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da produção de biometano utilizando como matéria prima substratos rurais. Para esta análise foi utilizado o simulador de processos (SuperPro Designer®). Na simulação considerou-se um digestor anaeróbico com capacidade de 6 toneladas e alimentação de 112,5 kg/d de material orgânico, sendo 90 kg de esterco seco e 22,5 kg de palha de vegetal. Os dados das reações enzimáticas que ocorrem no processo de digestão anaeróbia foram ajustados no simulador e corresponderam as etapas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Após a simulação realizada verificou-se a viabilidade técnica da produção de biogás, sendo gerado aproximadamente 90 m³ de biogás por dia.

Palavras-chave: Biometano; Simulação de processos; SuperPro Designer®; Bioprocessos.

Abstract

The region of Coffee Valley, in the state of Rio de Janeiro, has a large part of the land devoted to agriculture and the municipality of Vassouras, as one of the cities that comprise it, has approximately 62% of the area devoted to this practice. The large volume of animal waste and vegetable straw in these rural regions has potential as a raw material for energy generation and can also contribute to the production of organic fertilizers. Rural residues converted into gases and/or organic fertilizers can be used by local agriculture itself, contributing to sustainable development. This work aimed to evaluate the technical feasibility of biomethane production using rural substrates as raw material. For this analysis, the process simulator (SuperPro Designer®) was used. The simulation considered an anaerobic digester with a capacity of 6 tons and feeding 112.5 kg/d of organic material, with 90 kg of dry manure and 22.5 kg of vegetable straw. Data from enzymatic reactions that occur in the anaerobic digestion process were adjusted in the simulator and corresponded to the steps of hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis. After the

simulation performed, the technical feasibility of biogas production was verified, with approximately 90 m³ of biogas being generated per day.

Keywords: Biomethane; Process simulation; SuperPro Designer®; Bioprocesses.

Resumen

La región de Vale do Café, en el estado de Río de Janeiro, tiene una gran parte de la tierra dedicada a la agricultura y el municipio de Vassouras, como una de las ciudades que lo componen, tiene aproximadamente el 62% del área dedicada a esta práctica. El gran volumen de desechos animales y paja vegetal en estas regiones rurales tiene potencial como materia prima para la generación de energía y también puede contribuir a la producción de fertilizantes orgánicos. Los residuos rurales convertidos en gases y / o fertilizantes orgánicos pueden ser utilizados por la propia agricultura local, contribuyendo al desarrollo sostenible. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la viabilidad técnica de la producción de biometano utilizando sustratos rurales como materia prima. Para este análisis se utilizó el simulador de procesos (SuperPro Designer®). La simulación consideró un digestor anaeróbico con capacidad de 6 toneladas y alimentando 112,5 kg / d de materia orgánica, con 90 kg de estiércol seco y 22,5 kg de paja vegetal. Los datos de las reacciones enzimáticas que ocurren en el proceso de digestión anaeróbica se ajustaron en el simulador y correspondieron a los pasos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Luego de la simulación realizada, se verificó la factibilidad técnica de la producción de biogás, generando aproximadamente 90 m³ de biogás por día.

Palabras clave: Biometano; Simulación de procesos; SuperPro Designer®; Bioprocessos.

1. Introdução

Vassouras é um município que possui extensão territorial de 538,129 km² e está localizado a 122,3 km da capital do estado do Rio de Janeiro. A região onde é situada, conhecida como Vale do Paraíba Sul Fluminense, possui características rurais com grandes áreas de pastagem e é popularmente marcada pelas fazendas históricas. Por ser uma área predominantemente rural com ênfase em agropecuária, apresenta grande geração de substratos orgânicos como esterco e palha de leguminosas. Esses materiais são normalmente resíduos que não possuem valor comercial, mas que podem ser convertidos em energia renovável e fertilizantes orgânicos (Silva, 2013).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as energias renováveis são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas. Hídrica, solar, eólica e biomassa são exemplos de fonte de energia, sendo esta proveniente de resíduos rurais, alimentares e florestais para produção de biocombustíveis. Visto isso, a região do Vale do Paraíba apresenta potenciais para construção de usinas geradoras de energia, uma vez que aproximadamente 62% do solo é destinado a pasto. O aproveitamento destes materiais pode inibir a decomposição de dejetos animais, além de poder reduzir a contaminação dos solos com chorume e do ar com os gases do efeito estufa como descreve Junior, 2009.

A geração de biogás a partir de resíduos rurais possui grandes vantagens, devido ao baixo teor de enxofre, que é matéria prima do sulfeto de hidrogênio, indesejado no produto final. A síntese deste biocombustível envolve um processo enzimático anaeróbico, em que microrganismos interagem para a formação do biometano. Este combustível renovável possui grande apelo ambiental, devido à destinação dos subprodutos formados na própria agricultura local por meio de fertilizantes orgânicos (Rebellatto, 2013). Além disso, auxilia na conservação do meio ambiente, promovendo o desenvolvimento econômico sustentável da região.

O simulador de processos (SuperPro Designer®) é um software de código fechado, que permite planejar, programar e eliminar gargalos de produção, assim como análise de custos (Intelligen, 2020). Através desta ferramenta, é possível criar rotas, testar componentes, além de auxiliar nos estudos acadêmicos na síntese e otimização de processos. Este software foi utilizado para simular a produção de biogás tendo como base as fazendas do Vale do Paraíba. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da produção de biogás a partir de substrato rural.

2. Metodologia

2.1 Inserção das matérias primas e cadastro de novos componentes no banco de dados do simulador

Para a simulação da síntese de biogás, a descrição da matéria prima é de suma importância. A composição do substrato apresentada na Tabela 1 foi determinada de acordo com o trabalho publicado por Yu et al. (2013) em que os autores apresentam as composições dos resíduos comuns usados na digestão anaeróbia.

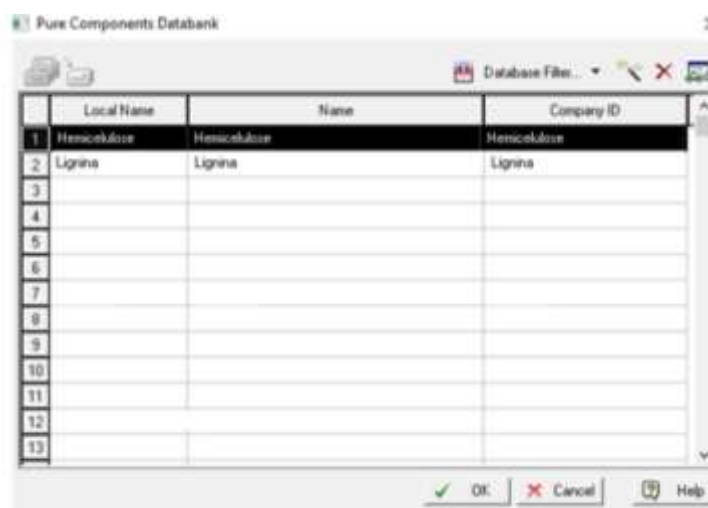
Tabela 1. Composição típica para substratos comuns usados na digestão anaeróbia.

Composição	Esterco Seco	Palha de trigo
Celulose	310	359,7
Hemicelulose (mg/m MS)	120	239,5
Lignina (mg/m MS)	122 – 190	193,3
Proteína (mg/m MS)	125 – 297	6,5
Lipídios (mg/m MS)	23,8 – 46,4	1,5
Carboidratos (mg/m MS)	125	853,1

MS = Massa Seca. Fonte: Adaptado (Yu, et. al., 2013).

A região sudeste do Brasil possui um número significativo de rebanho confinado, bovino e suíno, tendo em média diária de 15 kg/dia e 2,35 kg/dia, respectivamente, de esterco (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2014). A hemicelulose ($C_5H_8O_4$) e a lignina ($C_9H_{10}O_2$) não estavam presentes no bando de dados, por isso foram criadas como componentes puros e o carboidrato foi adaptado para melhor se ajustar ao processo de produção. A Figura 1 ilustra a aba do banco de dados do simulador, onde são inseridos os novos compostos.

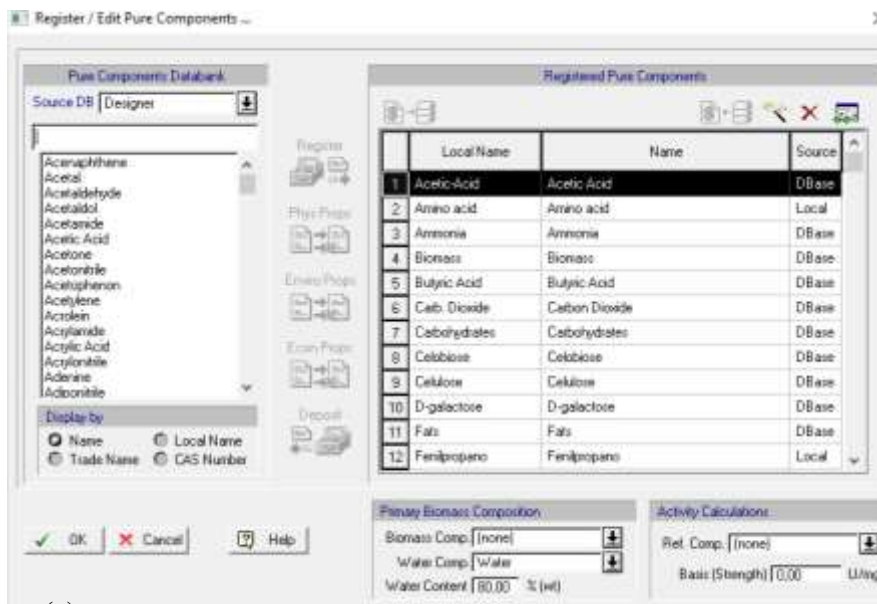
Figura 1. Aba de registro de componente puro.



Fonte: SuperPro Designer®.

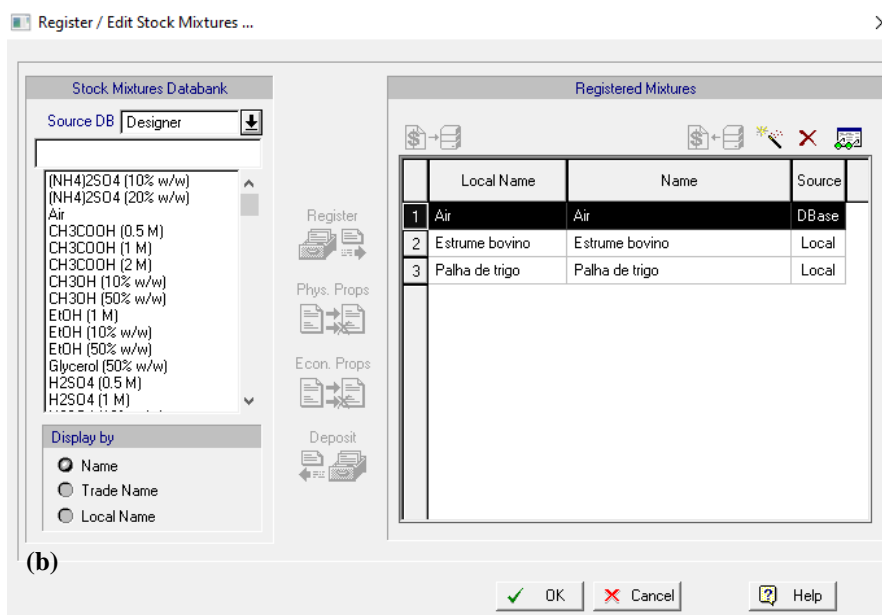
Ao iniciar a simulação todos os compostos que serão utilizados no processo são registrados na aba *Tasks*, nas janelas *Pure Components* e *Stock Mistures*, as substâncias puras e misturas, respectivamente, como mostrado na Figura 2 (a) e 2(b).

Figura 2. (a) Janela de registro de componentes (a) substâncias simples



(a)

Figura 2.(b) Janela de registro de componentes (b) misturas.

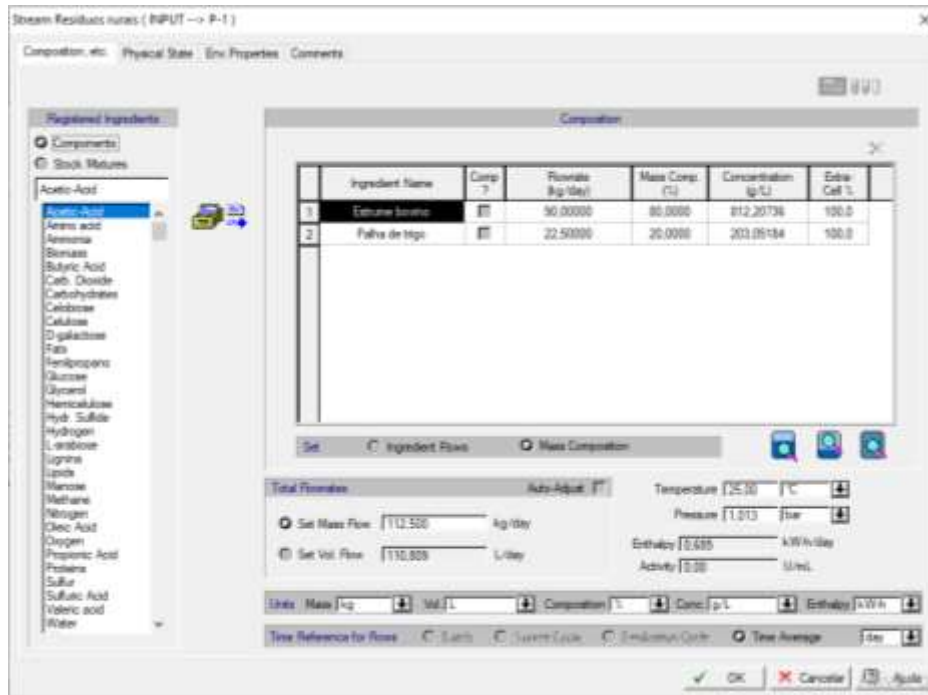


(b)

Fonte: SuperPro Designer®.

O esterco seco e a palha de trigo foram inseridos em uma proporção 4:1, vide Figura 3 e em menor proporção devido à dificuldade da quebra da lignina em ferulpropanóides por conta dos diferentes tipos de ligações (Sabila et al., 2001).

Figura 3. Janela de adição de componentes.

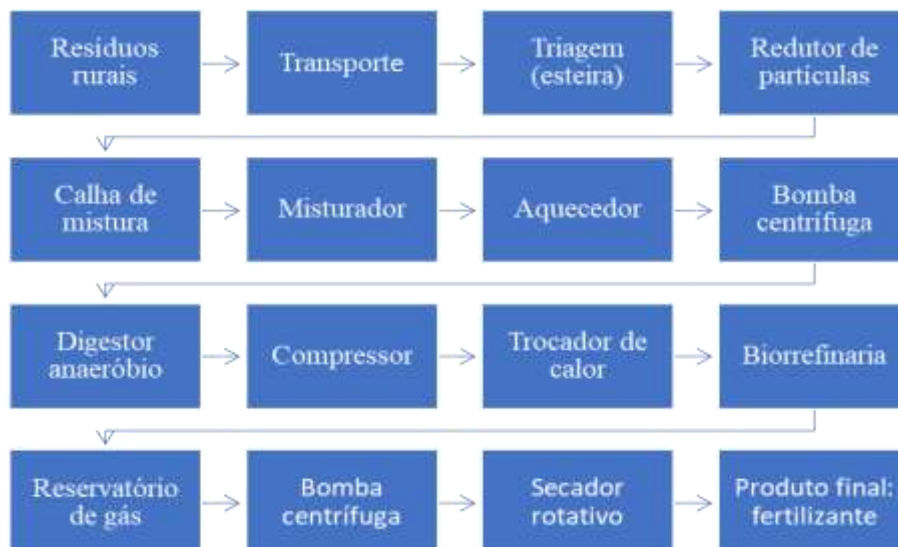


Fonte: SuperPro Designer®.

2.2 Desenvolvimento do Fluxograma de Processo

As etapas a seguir detalham a simulação desenvolvida para estudo da viabilidade técnica da síntese de biogás. A rota de produção utilizada para produção do biogás foi adaptada de Rique (2021), conforme ilustrado no Fluxograma 1.

Fluxograma 1. Etapas de produção do biogás e de fertilizante desenvolvidas no Simulador SuperPro Designer®.



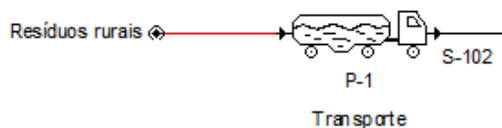
Fonte: Autores (2021).

Transporte:

Para o transporte dos resíduos rurais, considerou-se um caminhão, representado na Figura 4, uma vez que a matéria prima pode ser proveniente de várias localidades da área estudada. O objetivo dessa operação consiste em estimar custos

relativos ao deslocamento, analisando futuramente a viabilidade econômica em relação à distância entre as propriedades da região. Na Figura 4, a corrente “resíduos rurais” é constituída por 112,5 kg/dia de resíduo.

Figura 4. Transporte de resíduos (Truck).



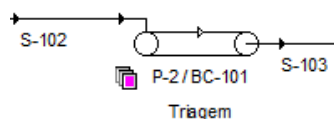
Fonte: SuperPro Designer ®.

A corrente de alimentação S-102, segue para a etapa de triagem, conforme explicado a seguir.

Triagem (esteira):

Mesmo se tratando de substratos rurais, a etapa de triagem é muito importante para o processo. A Figura 5 ilustra uma esteira, para representação da coleta de elementos indesejáveis ao processo, sendo os resíduos resultantes do transporte até corrente de entrada desta operação.

Figura 5. Seleção de material (*Belt Conveying*) realizada por uma esteira móvel.



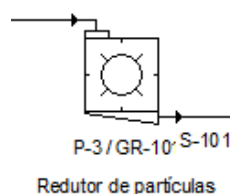
Fonte: SuperPro Designer®.

A corrente de saída da triagem “S-103” é direcionada para um redutor de partículas com a finalidade de padronizar o tamanho das partículas.

Redutor de partículas:

A operação unitária *Size Reduction*, representada na Figura 6, ilustra o processo de trituração da matéria prima para aumento da área de contato (De Souza, 1984).

Figura 6. Triturador (*Grinding*) de matéria orgânica.

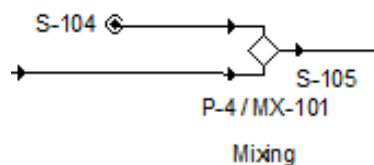


Fonte: SuperPro Designer®.

Calha de mistura:

O mixing, ilustrado na Figura 7, representa a etapa de adição de água ao processo.

Figura 7. Etapa de mistura.



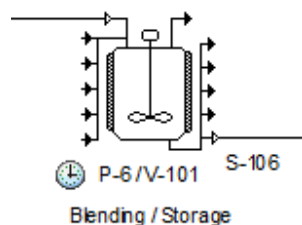
Fonte: SuperPro Designer®.

A corrente “S-104” é constituída por água (112,5 kg/dia) e a corrente de alimentação proveniente do triturador, que também contribui com 112,5 kg/dia de sólidos totais e ambas formam uma única corrente de saída “S-105”, na qual alimenta uma caixa de mistura.

Misturador:

Após a adição da água aos resíduos rurais, o substrato formado segue para a etapa de homogeneização (Figura 8), por um período de agitação de 30 minutos, considerando pressão e temperatura ambiente.

Figura 8. Etapa de homogeneização de substrato.



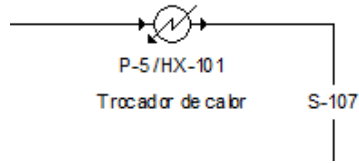
Fonte: SuperPro Designer®.

Após a etapa de mistura, a corrente “S-106” com uma vazão de 225 kg/dia é encaminhada ao aquecedor.

Aquecedor:

Por ser um processo enzimático, a temperatura ótima do processo de síntese do biogás deve ser controlada para que as bactérias alcancem a máxima eficiência na conversão do biometano. Um trocador de calor conforme ilustrado na Figura 9, foi utilizado para representar esta etapa. O substrato é aquecido a 37°C, temperatura ótima para zona mesofílica, em que se obtém os melhores resultados (Gonçalves, 2018). Utilizou-se água como agente de aquecimento.

Figura 9. Trocador de calor.

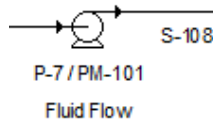


Fonte: SuperPro Designer®

Bomba centrífuga:

Uma bomba foi utilizada para transporte de substrato ao biodigestor conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10. Bomba centrífuga.

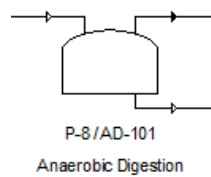


Fonte: SuperPro Designer®.

Digestor anaeróbio:

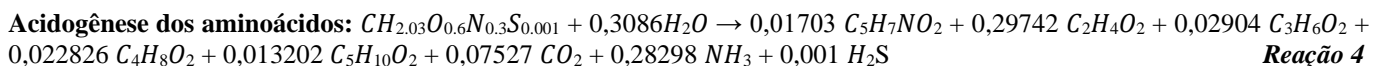
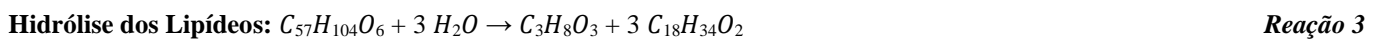
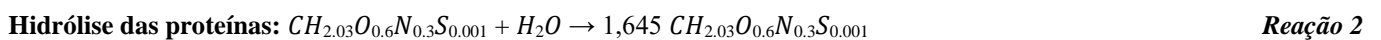
Na etapa de reação há entrada de corrente de substrato, na proporção 1:1 em massa de resíduos rurais e água para formação do biogás, fertilizante orgânico e demais subprodutos. O equipamento utilizado foi um digestor anaeróbio encontrado na aba *Environmental Reaction* como pode ser observado na Figura 11, ele conta com uma entrada de alimentação e duas saídas de produtos formados, a superior gasosa e a inferior líquida/sólida.

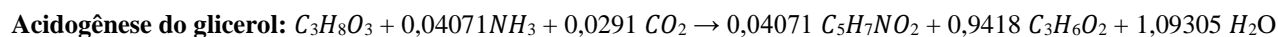
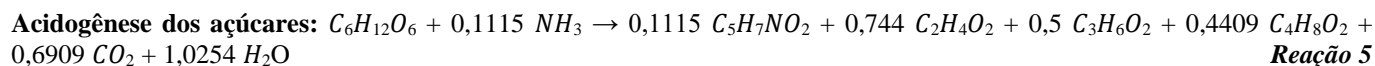
Figura 11. Digestor enzimático de conversão.



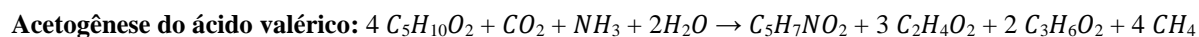
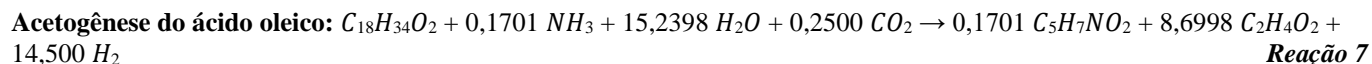
Fonte: SuperPro Designer®.

O processo enzimático é subdividido em etapas heterogênea (hidrólise) e homogênea (acidogênese, acetogênese e metanogênese). As reações são detalhadas a seguir conforme publicado pelos autores Angelidaki et. al. (1993).

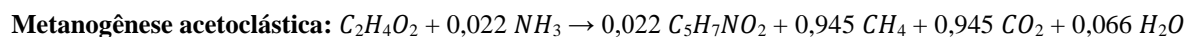
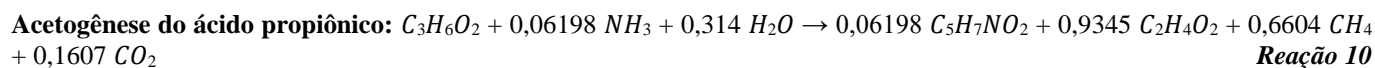
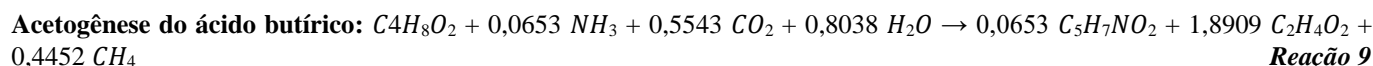




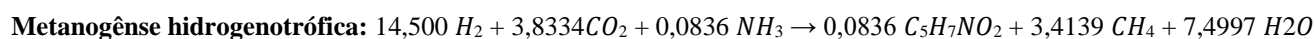
Reação 6



Reação 8



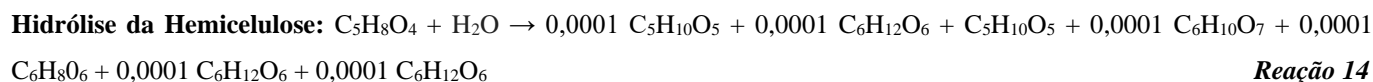
Reação 11



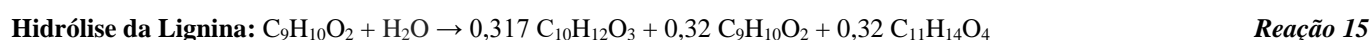
Reação 12

Além das reações apresentadas, (Ogeda, et al., 2010), ocorre também a hidrólise da celulose e da hemicelulose, que apresentam uma taxa de conversão inferior as citadas acima. A celulose por ser extremamente insolúvel em água, necessário para sua função como sustentação estrutural nas paredes celulares vegetais e a hemicelulose por ter necessidade de um pré-tratamento com ácido, o que seria inviável ao processo de produção de biogás.

A Reação 13 apresenta a conversão de celulose em glicose (Poggi, 2014).

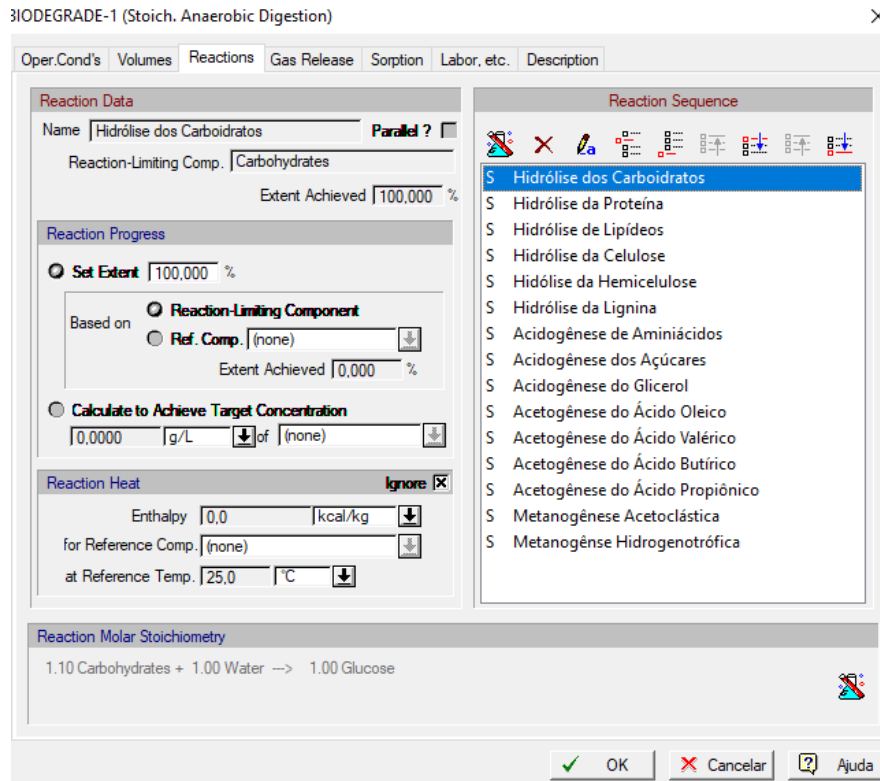


A Reação 15 representa a hidrólise da lignina, (Baas, 1985), em que há formação de três álcoois: p-cumarílico (p-hidroxifenila), coniferílico (guaiacila) e sinapílico (siringila).



A Figura 12, ilustra a aba no simulador, onde estão representadas as reações em ordem temporal.

Figura 12. Janela de ajustes estequiométricos das reações no biodigestor.



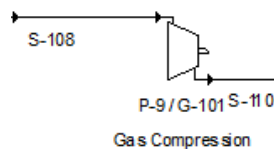
Fonte: SuperPro Designer®.

O biodigestor é constituído por duas saídas, uma superior que constituem os gases que são convertidos em biogás – metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio – e uma segunda com os subprodutos do processo.

Compressor:

O biogás bruto formado na etapa anterior é direcionado a um compressor, Figura 1. A etapa de compressão ocorreu na presença de um agente refrigerante – água a temperatura ambiente – e a pressão de 12 bar (Deublein; Steinhauser, 2008).

Figura 13. Compressor de biogás.

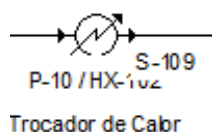


Fonte: SuperPro Designer®.

Trocador de calor:

O gás comprimido é destinado para um trocador de calor, representado pela Figura 14, em que a troca ocorreu com um fluido refrigerante antes de ser encaminhado para biorrefinaria de biogás.

Figura 14. Resfriamento de biogás com um trocador de calor.



Trocador de Cabr

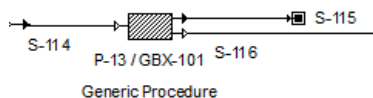
Fonte: SuperPro Designer®

Nessa etapa ocorreu a troca térmica entre a corrente e um fluido refrigerante, reduzindo ainda mais a temperatura de saída da corrente "S-109".

Biorrefinaria:

O biogás apresenta riscos químicos e físicos, uma vez que a mistura gasosa possui propriedades asfixiantes e o sulfeto de hidrogênio aspectos corrosivos e tóxicos (Kunz, 2019). Após a refrigeração do biogás, há a alimentação de oxigênio em excesso para a retirada de sulfeto de hidrogênio, indesejado ao produto final. A etapa de biorrefinaria foi simbolizada por uma caixa genérica, Figura 15, onde o H₂S reagiu com oxigênio em duas reações distintas formando os produtos a serem retirados, enxofre elementar e ácido sulfúrico (Rique, 2021).

Figura 15. Biorrefinaria do biogás bruto.



Fonte: SuperPro Designer®.

As reações de purificação do biogás serão apresentadas a seguir, em que a primeira obteve 75% de conversão e a segunda 25%:



Reação 16

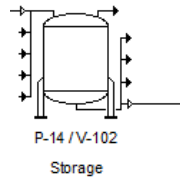


Reação 17

Reservatório:

A Figura 16 reproduz o armazenamento de biogás após a sua purificação. Desse reservatório, o biocombustível pode ser aproveitado de diferentes maneiras, como para refrigeração, geração de energia elétrica, iluminação (Junqueira, 2014).

Figura 16. Reservatório de biogás.



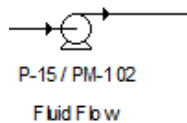
Fonte: SuperPro Designer®.

Como mencionado anteriormente, o biodigestor apresentou duas correntes de saída, a inferior com os subprodutos do processo, como a matéria prima não convertida, biomassa, água e produtos gerados nas reações (1 a 15). As etapas que compreendem o tratamento serão detalhadas a seguir:

Bomba centrífuga:

Os subprodutos da produção de biogás, digestato, foram encaminhados para um filtro prensa através de uma bomba centrífuga, Figura 17, a temperatura ambiente e a 0,1 atm.

Figura 17. Bomba centrífuga.



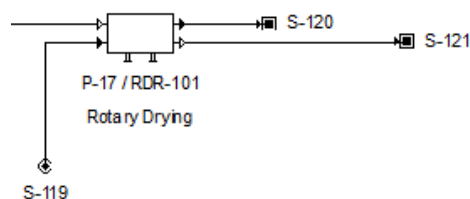
Fonte: SuperPro Designer®.

Secador:

O subproduto gerado, para ser usado como fertilizante orgânico, passou por um secador, com passagem de ar atmosférico, para retirada de umidade à temperatura de 70°C. O produto formado é isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas (Oliver, 2008).

A Figura 18 mostra a entrada do fertilizante com excesso de umidade, no entanto, com auxílio do ar atmosférico a uma temperatura estabelecida, a água foi removida em “P-17” na forma de vapor d’água. Na corrente inferior “S-121” ocorre a retirada de fertilizante orgânico que poderá ser destinado às propriedades rurais da região Sul Fluminense.

Figura 18. Secador rotativo para retirada de umidade do fertilizante orgânico.



Fonte: SuperPro Designer®.

3. Resultados e Discussão

O balanço de massa é fundamental para todos os processos, garantindo segurança no mapeamento do projeto e na averiguação de alteração nos resultados (Projeto e Pesquisa em Engenharia Química, 2021). A Tabela 2 apresenta o balanço de massa a partir da simulação.

Tabela 2. Balanço de massa obtido na simulação (em kg/dia).

Componentes	Alimentação	Biogás	Retirada de Enxofre	Fertilizante Orgânico
Carboidratos	23,36180	0	0	0
Celulose	34,04543	0	0	23,83180
Hemicelulose	14,58090	0	0	10,20663
Lignina	17,30003	0	0	12,11002
Lipídios	3.323410	0	0	0
Proteína	19,99945	0	0	0
Água	112,5000	0,01585	0	0
Ar				
Oxigênio	1,91779	0,56344	0	0
Nitrogênio	0,58221	1,91779	0	0
Enxofre	0	0	0,02821	0
Ácido Sulfúrico	0	0	0,00719	0
Sulfeto de Hidrogênio	0	0,007500	0	0
Metano	0	18,06422	0	0
Dióxido de Carbono	0	46,69582	0	0
Biomassa	0	0	0	9,98719
D-galactose	0	0	0	0,00060
L-arabiose	0	0	0	0,00050
Manose	0	0	0	0,00060
Xilose	0	0	0	4,97074
Ácido Glucorônico	0	0	0	0,00064
Ácido Manurônico	0	0	0	0,00058
Álcool Conifélico	0	0	0	1,97392
Álcool p-cumaríco	0	0	0	1,66077
Álcool Sinápílico	0	0	0	2,17958

Fonte: Autores.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 2, é possível verificar a quantidade total requerida para produção de biogás em um dia de operação, além de descrever as correntes de entrada e saída do processo. As colunas “biogás” e “fertilizante orgânico” representam os produtos formados na simulação, em que aquela contém grande quantidade de matéria orgânica proveniente do digestato.

A corrente inicial de substrato foi descrita a partir dos resíduos rurais provenientes da agropecuária da região do Vale do Paraíba Sul Fluminense, em que testes de proporção foram realizados no simulador, obtendo a taxa de 2:8 de esterco e palha como a de maior rendimento de biogás. O metano e o dióxido de carbono, componentes majoritários do gás combustível, correspondem a, aproximadamente, 27 e 69%, respectivamente, vide Figura 19.

A composição deste biocombustível depende do tipo e da concentração do material utilizado (Noyola et. al., 2006). Ou seja, a baixa taxa de conversão dos componentes lignocelulosicos – celulose, lignina e hemicelulose – influenciou

diretamente no produto final. A vazão diária de produção do biogás, a temperatura ambiente, foi de 67,265 kg e considerando a densidade do biogás, de acordo com o Portal do Biogás (2021), como 0,72 kg/m³, a simulação obteve um volume de 93 m³ de gás.

O fertilizante orgânico é gerado simultaneamente, mas em maiores proporções, por abranger produtos formados que não eram de interesse do produto final e material orgânico não convertido.

Conforme os resultados obtidos, verificou-se que a produção de biogás a partir de resíduos rurais foi viável no simulador com baixo teor de sulfeto de hidrogênio.

Figura 19. Corrente de saída do reservatório de biogás.

Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra Cell (%)
1 Carb. Dioxide	46.69582	69.4211	0.839598	100.00
2 Hydr. Sulfide	0.00790	0.0111	0.000135	100.00
3 Methane	18.06422	26.8555	0.324797	100.00
4 Nitrogen	1.91779	2.8511	0.034482	100.00
5 Oxygen	0.56344	0.8376	0.010131	100.00
6 Water	0.01585	0.0236	0.000285	100.00

Total Flowrates

Mass Flow [67.265] kg/day
Volumetric Flow [55516.301] L/day

Temperature [25.00] °C
Pressure [1.013] bar
Enthalpy [1.510] kWh/day
Activity [0.00] U/mL

Units: Mass [kg] Vol [L] Composition [%] Conc [g/L] Enthalpy [kWh]

Time Reference for Flows: [] Empty [] Volume Const [] Numerical Const [] Time Average [day]

Fonte: SuperPro Designer®.

Na Figura 19 foi exibida a corrente de biogás formada após o processo de produção, sendo metano e dióxido de carbono em maiores proporções e a água em estado de vapor. Na imagem acima pode ser observado a temperatura que o gás sai, assim como o fluxo diário.

4. Conclusão

O presente trabalho simulou a produção de fertilizante e biogás utilizando o simulador de processos SuperPro Designer® através de resíduos rurais. A utilização do SuperPro Designer® para a construção dos layouts das plantas e para as simulações dos processos fermentativos, permitiu visualizar no contexto industrial a performance dos processos e, com isso, auxiliar nas tomadas de decisão. Assim foi possível observar um potencial de geração de energia renovável na região do Vale do Café com os resíduos rurais, através da simulação obteve-se 93 m³ de metano com baixa concentração de sulfetos, podendo auxiliar no funcionamento dos automóveis dos produtores rurais e geração de energia, além da simulação também prever a geração de fertilizantes com vazão diária de aproximadamente 67 kg que poderá ter diversas finalidades além a utilização nas

plantações. Através do simulador de processos SuperPro Designer®, foi possível avaliar as condições ótimas do processo, analisar as alternativas viáveis para operações, substituir equipamentos operacionais para se obter uma melhor eficiência, além de testar diferentes composições para maior produção de biogás. A demais, vale ressaltar a importância do uso de softwares na engenharia, visto que através deles é possível prever condições operacionais, reduzir custos e agilizar processos.

Para pesquisas posteriores é interessante um estudo da viabilidade econômica do processo proposto nesse trabalho com simulador, com análise de custos fixo e variáveis, para uma possível validação de plantas a serem inseridas nas fazendas da região do Vale do Café.

Referências

- Angelidaki, I., Ellegaard, L. & Ahring, B. K. (1993). A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: focusing on ammonia inhibition. *Biotechnology and bioengineering*, 42(2), 159-166.
- Baas, P. (1985). Wood-Chemistry, ultrastructure, reactions. D. Fengel and G. Wegener, xiii+ 613 pp., 351 mus., 1984. Walter de Gruyter, Berlin, New York. Price: DM 245.00 (cloth). IAWA Journal. 6 (1).
- Biogás. Portal do Biogás. (2021). <https://www.portaldobiogas.com/biogas/>.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An introduction*. Weinheim: Wiley-VCH.
- De Souza, M. E. (1984). Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. *Revista DAE*. 44 (137), 88-94.
- Fontes de Energia. *Empresa de Pesquisa Energética*. (2021). <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>.
- Gonçalves, M.N. (2018). Os Efeitos da Temperatura na Produção de Biogás em Biodigestores. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Mg. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22175/3/EfeitosTemperaturaProdu%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Intelligen. SuperPro Designer Overview. Simulation, Designer, and Scheduling Tools for the Process Manufacturing Industries. 2020. <<https://www.intelligen.com/products/superpro-overview/>>.
- Junior, B.C. (2009). *Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. Foz do Iguaçu: FAO.
- Junqueira, S.L.C.D. (2014). *Geração de energia através de biogás proveniente de estercor bovino: estudo de caso na fazenda aterrado*. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em graduação Engenharia Mecânica) - Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Kunz, A, Steinmetz, R.L.R. & Do Amaral, A.C. (2019). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. *Embrapa Suínos e Aves – Livro científico*.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M. & Lópezherandez, J. E. (2006). Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, Dordrecht. 5(1), 93–114.
- Ogeda, T. L. & Petri, D. F. S. (2010). Hidrólise enzimática de biomassa. *Química nova*. 33, 1549-1558.
- Oliver, A.P.M. & Souza Neto, A. A., Quadros, D. G. (2008). *Manual de treinamento em biodigestão*. Salvador. Instituto Winrock Brasil, 23 p.
- Poggi, E.S. (2014). *Simulação de processos e rendimentos esperados para a produção de glicose a partir de diferentes híbridos de cana de açúcar*.
- Rebellatto, A. (2013). *Avaliação agrônoma de fertilizantes sólidos e fluidos a base de dejetos de suínos e aves*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo) -Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. 113p.
- Rique, V. H. A. (2021). *Projeto de uma planta de biogás a partir de resíduos alimentares utilizando o simulador SuperPro Designer®*. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Bioprocessos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- Saliba, E. O. S., Rodriguez, N. M., Morais, S. A. L. & Veloso, D. P. (2001). Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química. *Ciência rural*. 31, 917-928.
- Silva, C. A. (2013). *Gerenciamento de resíduos*. Instituto Federal do Paraná – Educação à Distância. Rede e-Tec
- Você sabe o que é balanço de massa e energia? Projeto e Pesquisa em Engenharia Química. (2021). <<https://propeq.com/balanco-de-massa-e-energia/>>.
- Yu, L., Wensel, P. C., Ma, J. & Chen, S. (2013). Mathematical modeling in anaerobic digestion (AD). *J Bioremed Biodeg S*. 4(2).