
Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani

Trabalho de Graduação

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA”

FACULDADE NILO DE STÉFANI DE JABOTICABAL - SP (Fatec-JB)

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE VINHAÇA, SUBPRODUTO DO
PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

DAVID MACEDO MENDES

PROFA ORIENTADORA: DRA. ROSE MARIA DUDA

JABOTICABAL, S.P.

2023

DAVID MACEDO MENDES

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE VINHAÇA, SUBPRODUTO DO
PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo ou em **Biocombstíveis**.

Orientadora: Profa. **Dra. Rose Maria Duda**

JABOTICABAL, S.P.

2023

www.fatecjaboticabal.edu.br

Av. Eduardo Zambianchi, 31 • CEP: 14.883-130 • Jaboticabal/SP • Tel.: (16) 3202-7327 • 3202-6519

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Mendes, David Macedo

Produção de biogás a partir de vinhaça, subproduto do processamento da cana-de-açúcar/ David Macedo Mendes.— Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, 2023.

39p.

Orientador: Dra. Rose Maria Duda

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani - Jaboticabal, 2023.

1. Biogás. 2. Vinhaça. 3 Sustentabilidade. I. Duda, R.M. II. Doutora.

DAVID MACEDO MENDES

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE VINHAÇA, SUBPRODUTO DO
PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em **Biocombustível**.

Orientador: Profa. **Dra. Rose Maria Duda**

Data da apresentação e aprovação: 24/11/2023.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA

Presidente e Orientador: Profa. **Dra. Rose Maria Duda**

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Segundo membro da banca examinadora: Profa. **Me. Rita de Cassia Vieira**

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Terceiro membro da banca examinadora: Karen Cristina Rocha de Oliveira

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária - Unesp Jaboticabal

Local: Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Jaboticabal – SP – Brasil

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de Graduação à minha fonte inesgotável de inspiração, meu namorado, à minha mãe e irmã, cujo apoio incansável e encorajamento foram a força motriz por trás desta jornada acadêmica. Agradeço também aos amigos e professores que compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo para o meu crescimento. Este trabalho é dedicado a todos que tornaram possível a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha orientadora, cuja orientação dedicada e expertise foram fundamentais para a realização deste Trabalho de Graduação. Suas valiosas contribuições, insights e constante apoio foram elementos-chave que moldaram este trabalho. Agradeço ao meu companheiro Diogo por todo o apoio e incentivo a não desistir, sendo um dos pilares mais importante para a conclusão de mais um ciclo da minha vida.

Além disso, dedico um especial agradecimento à minha mãe Dirlete, minha irmã Sidlene e minhas amigas Karla, Larissa e Natacha, que estiveram ao meu lado durante todo o processo. O apoio emocional e encorajamento constante de vocês foram a âncora que me manteve focado e motivado. Este trabalho não seria possível sem a rede de apoio incrível que tenho ao meu redor. A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, meu sincero reconhecimento e apreço.

E à Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) pela oportunidade e pelos recursos disponibilizados, que enriqueceram minha jornada acadêmica.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original. ”

- Albert Einstein

MENDES, David Macedo. **Produção De Biogás A Partir De Vinhaça, Subproduto Do Processamento Da Cana-de-Açúcar**. Trabalho de Graduação. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. 39 p. 2023.

RESUMO

O processo de produção de biogás a partir da vinhaça, subproduto da indústria de processamento da cana-de-açúcar, tem ganhado destaque devido à sua relevância ambiental e econômica. A vinhaça, rica em matéria orgânica, é submetida à biodigestão anaeróbia, onde microrganismos decompõem os resíduos, gerando biogás composto principalmente por metano e dióxido de carbono. Essa produção tem se mostrado uma alternativa sustentável para a geração de energia, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa, aproveitando um resíduo industrial e diminuindo a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, a biofertilização do resíduo resultante da digestão anaeróbica traz benefícios agrícolas, atuando como um fertilizante orgânico rico em nutrientes. Este processo promissor pode contribuir significativamente para a produção de energia limpa e para a gestão da sustentabilidade de resíduos na indústria sucroenergética.

Palavras-chave: Biogás. Energia. Sustentabilidade. Vinhaça. Biofertilização. Biodigestão

MENDES, David Macedo. **Produção De Biogás A Partir De Vinhaça, Subproduto Do Processamento Da Cana-de-Açúcar**. Trabalho de Graduação. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. 39 p. 2023.

ABSTRACT

The process of producing biogas from vinasse, a by-product of the sugarcane processing industry, has gained prominence due to its environmental and economic relevance. The vinasse, rich in organic matter, is subjected to anaerobic biodigestion, where microorganisms decompose the waste, generating biogas composed mainly of methane and carbon dioxide. This production has proven to be a sustainable alternative for energy generation, reducing greenhouse gas emissions, taking advantage of industrial waste and reducing dependence on fossil fuels. Furthermore, biofertilization of the residue resulting from anaerobic digestion brings agricultural benefits, acting as an organic fertilizer rich in nutrients. This promising process can significantly contribute to the production of clean energy and the management of waste sustainability in the sugar-energy industry.

Keywords: Biogas. Energy. Sustainability. Vinasse. Biofertilization. Biodigestion.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 - O uso de energias não renováveis e os impactos ambientais causados por essa prática.	26
2.2 – Biogás como fonte de energia renovável	27
2.3 – Uso da vinhaça na produção de biogás	29
2.3.1 - Redução de resíduos e poluição ambiental	30
2.3.2 - Geração de energia renovável.....	31
2.3.3 - Recuperação de nutrientes	31
2.3.4 - Benefícios econômicos.....	31
2.3.5 - Redução de odor.....	32
2.4 – Modelo de reator mais utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça	32
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	34
4 DISCUSSÃO	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE	41

1 INTRODUÇÃO

As necessidades de energia estão em constante expansão devido ao crescimento populacional global, ao progresso econômico e ao aumento do consumo individual. No entanto, é cada vez mais crucial buscar soluções sustentáveis e realizar a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis, a fim de enfrentar essas crescentes demandas e reduzir os impactos ambientais prejudiciais associados ao uso de combustíveis fósseis (IEA, 2021).

Encontrar um equilíbrio entre as demandas de energia e a preservação do meio ambiente é essencial, e isso pode ser alcançado por meio da promoção da eficiência energética, da adoção de tecnologias limpas e do investimento em fontes de energia renovável, e um dos principais candidatos para substituição dos combustíveis fósseis é o etanol (SILVERIO, 2017).

Contudo, a produção do etanol através da cana-de-açúcar, que ocorre em maior escala no Brasil, gera resíduos e a vinhaça é um resíduo significativo, sendo gerada durante o processo de destilação do vinho. Na busca por finalidades mais racionais, a composição da vinhaça permite que ela não seja, necessariamente, tratada como efluente, mas sim como potencial fonte de nutrientes para outros processos. (ROCHA 2012, PINTO, 1999).

Estudos dessa tecnologia no tratamento da vinhaça já foram realizados, especialmente no caso da digestão anaeróbica para produção de biogás. A utilização de resíduos agroindustriais na geração de bioenergia já é um setor expressivo em outros países. Nesse sentido, por meio da vinhaça, o setor sucroenergético tem a oportunidade de expandir sua importância como ator no cenário da energia renovável. (SILVERIO, 2017).

A geração de biogás a partir da digestão anaeróbia em reatores de alto desempenho, como o UASB, foi descoberta como uma nova maneira de utilizar a vinhaça. O gás produzido pode ser aproveitado para a geração de energia elétrica por meio de sua queima, acionando turbinas de gás (PASSOS, 2002, PINTO, 1999).

Outro subproduto desse processo que podemos aproveitar é a vinhaça biodigerida, por meio da fertirrigação, que consiste na aplicação como fertilizante nas áreas agrícolas de cana-de-açúcar. O uso sustentável desse produto no solo não apenas contribui para a fertilização, mas também ajuda a melhorar a qualidade do solo e reduzir a contaminação ambiental (CHRISTOFOLETTI et al, 2013).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi a revisão de literatura sobre a produção de biogás da vinhaça de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O uso de energias não renováveis e os impactos ambientais causados por essa prática.

O uso de energias não renováveis ao longo da história tem sido uma prática amplamente disseminada em todo o mundo, impulsionando o desenvolvimento industrial e econômico. No entanto, esse uso indiscriminado de fontes de energia não renováveis, como o petróleo, o carvão e o gás natural, trouxe consigo uma série de consequências prejudiciais ao meio ambiente, que persistem até os dias de hoje (GLOBAL ENERGY ASSESSMENT, 2012).

Um dos principais impactos negativos do uso de energias não renováveis é a emissão de gases de efeito estufa. A queima desses combustíveis fósseis libera dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes atmosféricos, contribuindo diretamente para o aumento do aquecimento global e das mudanças climáticas. O resultado disso é o aumento da temperatura média da Terra (figura 1), derretimento das calotas polares, elevação do nível do mar e ocorrência de eventos climáticos extremos, como furacões e secas mais intensas (HARTMANN et al, 2013).

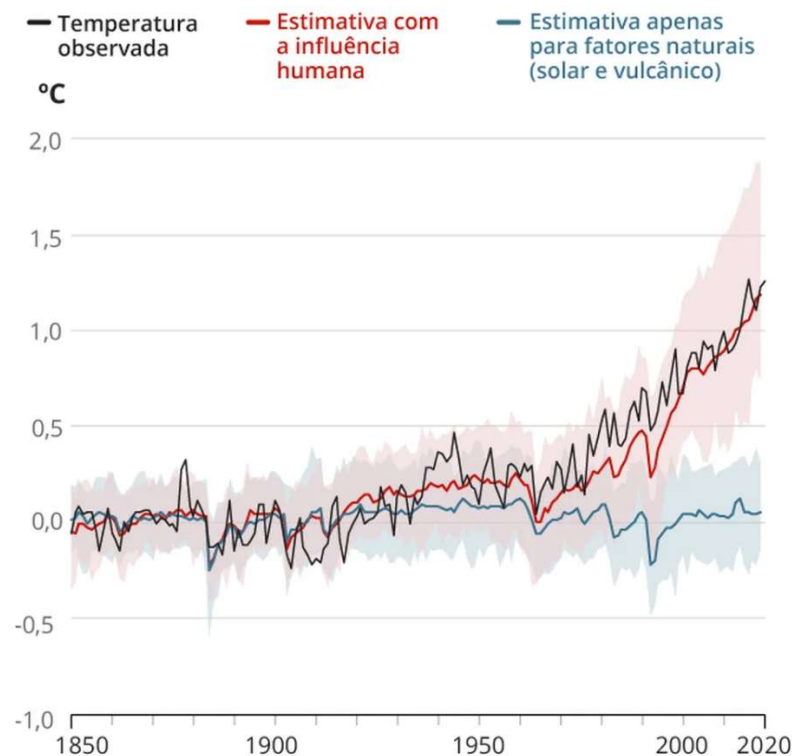
Além disso, a extração de petróleo e gás natural frequentemente resulta em vazamentos e derramamentos de óleo no meio ambiente, causando sérios danos à fauna marinha e aos ecossistemas costeiros. A mineração de carvão, por sua vez, degrada o solo, contamina rios e libera substâncias tóxicas que afetam a saúde humana e a biodiversidade local (PINTO, 2008).

Outro aspecto prejudicial é a redução dos recursos naturais não renováveis. À medida que as reservas de petróleo, carvão e gás natural se esgotam, a busca por novas fontes de energia se torna mais intensa, muitas vezes resultando na exploração de áreas protegidas e ecossistemas frágeis, causando uma perda irreparável de biodiversidade. Além disso, as comunidades próximas a locais de extração de recursos não renováveis frequentemente sofrem com a degradação de seu ambiente, a contaminação da água potável e a perda de meios de subsistência tradicionais. (LA ROVERE, 2007)

Diante desses prejuízos significativos ao meio ambiente e à sociedade, a transição para fontes de energia renovável, como a solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica, entre outras, tornou-se uma necessidade urgente. Essas fontes de energia são mais limpas, sustentáveis e têm menor impacto ambiental em comparação com os combustíveis fósseis.

Investir em energias renováveis não apenas reduzirá a emissão de gases de efeito estufa, mas também ajudará a preservar ecossistemas valiosos, proteger a biodiversidade e promover a saúde pública (BHATTACHARYYA, 2009).

Figura 1 - Aumento da temperatura global - Cenários estimados e variação verificada desde 1850 até 2020 em graus Celsius.



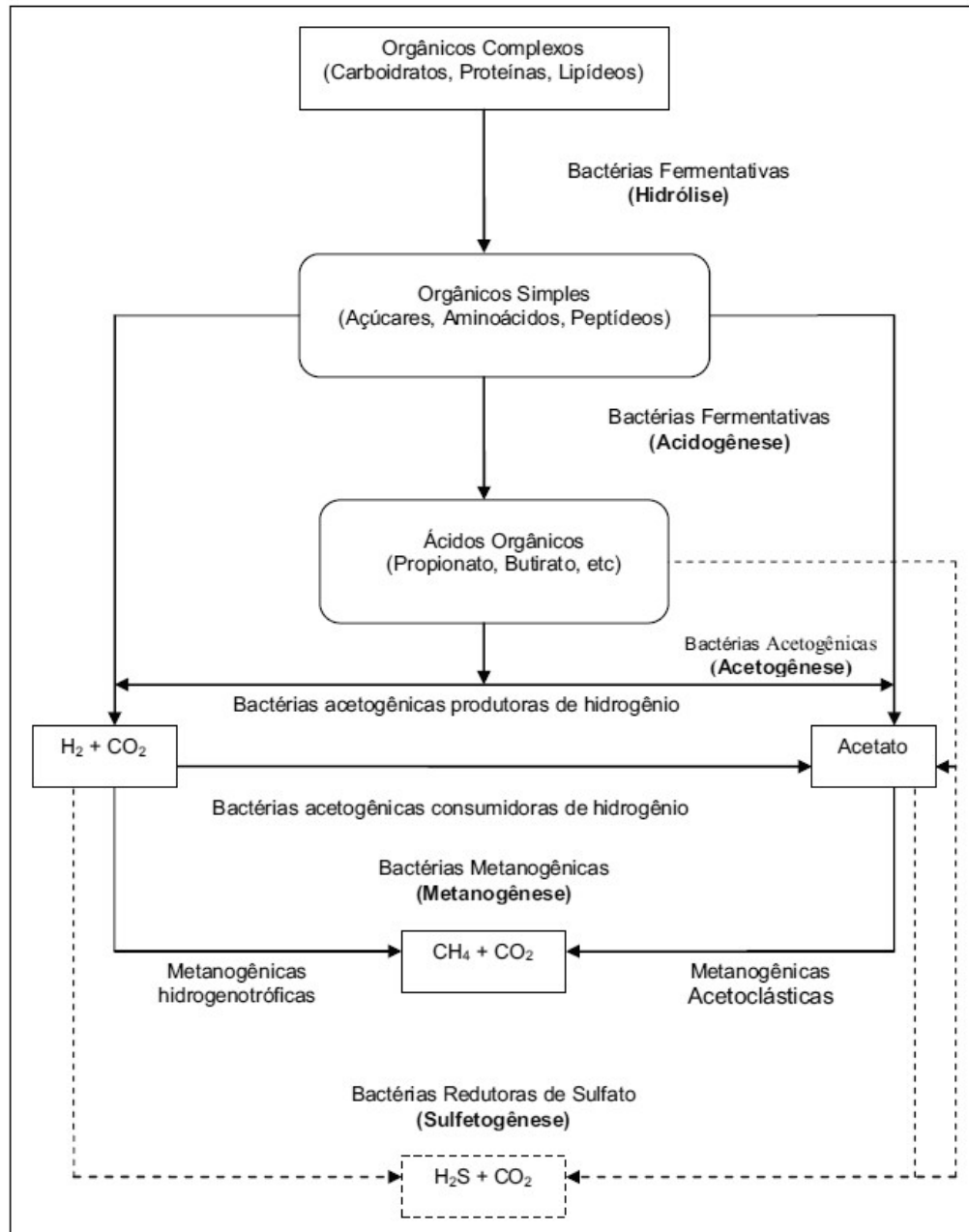
Fonte: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2021)

2.2 – Biogás como fonte de energia renovável

O biogás tem se destacado como uma alternativa promissora e ambientalmente amigável na substituição do uso de energia não renovável. Trata-se de uma fonte de energia produzida a partir da decomposição de matéria orgânica, como resíduos de alimentos, esterco animal e resíduos agrícolas, em condições anaeróbicas, ou seja, na ausência de oxigênio (figura 2). Essa tecnologia oferece uma série de benefícios significativos, tanto para o meio ambiente

quanto para a sociedade, contribuindo para uma transição energética mais sustentável (ROSEN, 2014).

Figura 2 - Representação esquemática das etapas do processo de biodigestão anaeróbica.



Fonte: CHERNICHARO (1997).

Uma das principais vantagens do biogás é a sua capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Enquanto os combustíveis fósseis liberam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera quando queimados, o biogás produzido

a partir de resíduos orgânicos emite principalmente metano (CH_4) durante o processo de decomposição. No entanto, quando capturado e utilizado como fonte de energia, o metano é queimado e convertido em CO_2 , que é um gás de efeito estufa menos potente, resultando em um impacto climático líquido menor (LIEBETRAU, 2010).

Além disso, o uso do biogás ajuda a gerenciar de forma eficaz os resíduos orgânicos, evitando a contaminação do solo e da água, assim reduzindo a produção de gases poluentes, como o metano, em aterros sanitários. Isso contribui para a preservação da qualidade do solo e da água, bem como para a prevenção de odores desagradáveis associados ao descarte inadequado de resíduos (WEILAND, 2010).

O biogás também é uma fonte de energia versátil, que pode ser utilizada para geração de eletricidade, aquecimento e até como combustível para veículos. Sua aplicação abrange desde pequenas instalações agrícolas e comunitárias até usinas de biogás de grande escala. Além disso, sua produção descentralizada ajuda a promover a segurança energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis importados (JOHNSON e SEEBALUCK, 2018).

Outro ponto positivo é que o biogás pode ser uma fonte de renda adicional para agricultores e proprietários rurais, incentivando a produção de matéria orgânica e a criação de gado. Além disso, o resíduo sólido resultante do processo de digestão anaeróbica, conhecido como biofertilizante, pode ser utilizado como um fertilizante natural rico em nutrientes, melhorando a qualidade do solo e a produtividade agrícola (JOHNSON e SEEBALUCK, 2018).

2.3 – Uso da vinhaça na produção de biogás

A vinhaça, um subproduto da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, tem ganhado destaque como uma matéria-prima valiosa na produção de biogás. A utilização da vinhaça como fonte de energia renovável apresenta uma série de benefícios, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, e contribui para a sustentabilidade da indústria sucroalcooleira (ARAUJO, 2017).

É um líquido rico em matéria orgânica, nutrientes e açúcares residuais, resultante do processo de destilação do caldo de cana para a obtenção de etanol. Historicamente, a disposição inadequada da vinhaça em cursos d'água ou sua aplicação direta no solo causou

problemas ambientais, como a contaminação de corpos d'água e a degradação do solo devido à sua alta carga orgânica e teor de sólidos (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

A vinhaça produzida no Brasil tem sido utilizada diretamente nos campos para substituir parcialmente os fertilizantes minerais durante o cultivo da cana de açúcar (JANKE et al., 2016), sendo aplicada no solo utilizando as especificações da Norma Técnica P 4.231\2015 (CETESB, 2015). A aplicação inadequada da vinhaça poderá causar graves poluições da água e do solo, como lixiviação de metais para águas subterrâneas, mudanças na qualidade do solo, aumento da fitotoxicidade e odor desagradável (CHRISTOFOLETTI et al., 2013; DIAS et al., 2016; MORAES et al., 2017).

No entanto, a transformação da vinhaça em biogás por meio de processos de digestão anaeróbica tem se mostrado uma solução eficaz para mitigar esses problemas ambientais. Durante a digestão anaeróbica, microorganismos degradam a matéria orgânica presente na vinhaça, produzindo biogás como resultado (SIQUEIRA, 2008).

É importante notar que a produção de energia a partir da vinhaça não apenas contribui para a geração de eletricidade e calor, mas também contribui com as questões ambientais enfrentadas pela indústria sucroalcooleira, ao tratar adequadamente um subproduto que, se descartado de forma inadequada, pode causar impactos ambientais negativos. A produção de energia a partir da vinhaça representa uma solução sustentável para o setor sucroalcooleiro, valorizando um subproduto rico em matéria orgânica. Essa abordagem não apenas contribui para a geração de energia renovável, mas também promove a gestão ambientalmente responsável dos resíduos industriais, alinhando-se com os princípios da economia circular e da sustentabilidade (CHRISTOFOLETTI et al, 2013).

2.3.1 - Redução de resíduos e poluição ambiental

A geração de biogás a partir da vinhaça desempenha um papel fundamental na redução de resíduos e poluição ambiental. Ao converter esse subproduto da produção de etanol em uma valiosa fonte de energia e fertilizante, o processo não apenas evita o descarte inadequado da vinhaça, que tradicionalmente representava um desafio ambiental, mas também minimiza a contaminação do solo e da água, contribuindo significativamente para uma gestão mais sustentável dos resíduos e para a preservação do meio ambiente (ARAUJO, 2017).

2.3.2 - Geração de energia renovável

A geração de energia renovável a partir do biogás gerado com vinhaça é uma solução ecoamigável que combina eficientemente o aproveitamento de resíduos com a produção de eletricidade e calor. Esse processo transforma a vinhaça em uma valiosa fonte de gás metano, que pode ser usada como combustível. Ao queimar o biogás, é possível gerar eletricidade limpa e calor, contribuindo para a diversificação da matriz energética e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. Essa abordagem exemplifica a transição para um futuro mais sustentável, onde os resíduos se tornam recursos, e a produção de energia se torna mais ambientalmente responsável (COSTA, 2014).

2.3.3 - Recuperação de nutrientes

A recuperação de nutrientes é uma faceta valiosa da produção de biogás a partir da vinhaça. Durante o processo de digestão anaeróbica, além da geração de biogás, ocorre a transformação dos nutrientes presentes na vinhaça em um biofertilizante rico em nitrogênio e fósforo. Esse subproduto pode ser reaproveitado na agricultura, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Assim, essa abordagem não apenas contribui para a produção de energia renovável, mas também promove práticas agrícolas mais sustentáveis, encorajando a conservação de recursos naturais e a redução da poluição dos solos e águas (SIQUEIRA, 2008).

2.3.4 - Benefícios econômicos

A produção de biogás a partir da vinhaça oferece uma série de benefícios econômicos significativos. Para a indústria sucroalcooleira, essa abordagem representa uma fonte adicional de receita, diversificando suas fontes de renda. Além disso, ao aproveitar a vinhaça de maneira eficiente, as usinas podem reduzir custos relacionados ao tratamento e descarte desse subproduto. Além disso, a venda de eletricidade gerada a partir do biogás pode gerar renda adicional. Em suma, essa prática não apenas melhora a viabilidade econômica das usinas, mas também ajuda a tornar a produção de etanol mais sustentável, alinhando os objetivos financeiros com a responsabilidade ambiental (ARAÚJO, 2017).

2.3.5 - Redução de odor

A digestão anaeróbica da vinhaça desempenha um papel crucial na mitigação do odor desagradável associado ao seu descarte inadequado. Ao converter a matéria orgânica da vinhaça em biogás de forma controlada, esse processo não apenas produz uma fonte valiosa de energia e fertilizante, como também destrói grande parte das substâncias que causam o odor característico do resíduo. Isso resulta em uma solução eficaz para reduzir o impacto negativo sobre o ambiente e as comunidades vizinhas, ao mesmo tempo em que valoriza um subproduto que, de outra forma, seria considerado um problema ambiental (SIQUEIRA, 2008).

2.4 – Modelo de reator mais utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça

O reator do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (figura 3), é uma tecnologia amplamente utilizada na produção de biogás a partir da vinhaça. Este modelo se destaca pela sua eficiência na conversão da vinhaça em biogás e é frequentemente aplicado em plantas de tratamento de efluentes da indústria de açúcar e álcool (CHERNICHARO, 2007).

Na Tabela 1 são apresentados alguns estudos utilizando o tratamento anaeróbio da vinhaça com o aumento gradual da COV.

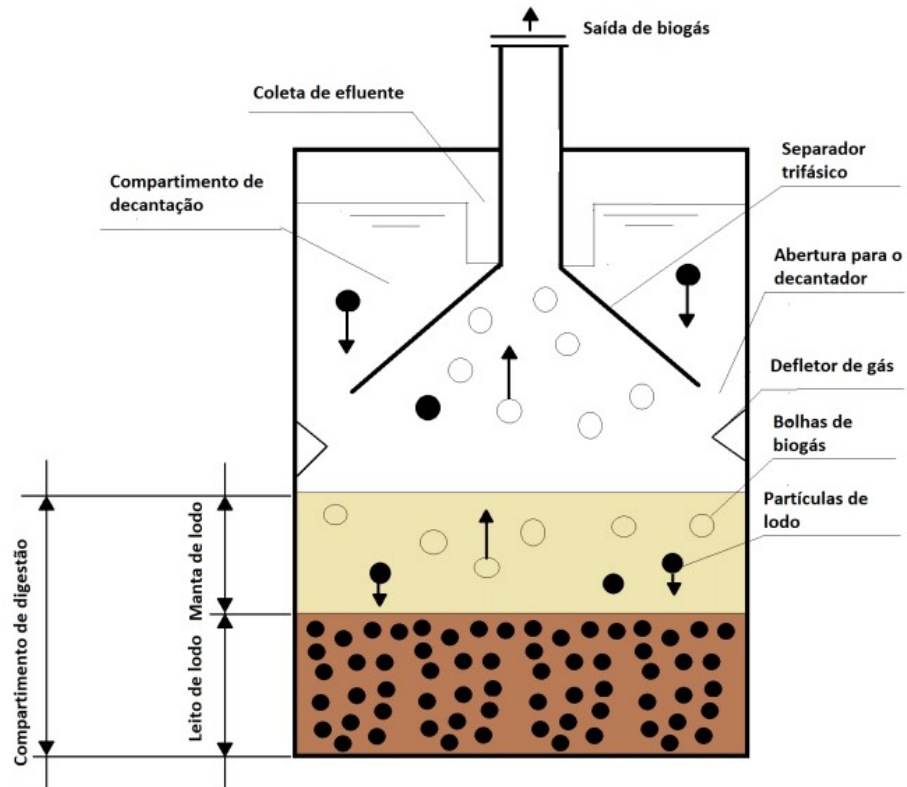
TABELA 1. Sistemas de tratamento anaeróbios em estágio único e em dois estágios, compostos por reatores UASB no tratamento da vinhaça de cana-de-açúcar para a produção de metano.

Referência	T. (°C)	Tipos de Reator	TDH	COV	Remoção de DQO (%)	^a Produção volumétrica de metano.	^b Produção específica de metano.
España-Gamboa et al. (2012)	30 °C	UASB modificado (3L)	6 a 15	7,3 a 22,2	69	-	0,263
Barros et al. (2016)	20 a 30 °C	UASB (21,5 L)	2,8 e 1,8	0,2 a 11,5	82	1,3	0,185
Janke et al. (2016)	40 °C	UASB (1,5 e 1,3 L)	2,5 a 16,3	1,4 a 9,6	-	2,5	0,239
Barros (2017)	24,9 °C	UASB em série: R1 (115L); R2 (215 L)	R1 – 1 R2 – 0,5	R1 - 33 R2 -40	60 (R1+R2)	R1 – 2,1 R2 – 1,2	R1 – 0,17 R2 – 0,19
*Leite et al., (2021)	38,0 °C	UASB (50 L)	1,0	-	64 a 70%	66 a 68 L biogás/dia	-

T- temperatura; COV- carga orgânica volumétrica (g DQO (L d)⁻¹); TDH- tempo de detenção hidráulica (dias); DQO – demanda química de oxigênio; a -unidade em L CH₄ (L d)⁻¹; b -unidade em L CH₄ (g DQO removida)⁻¹. *Aplicação de 0 a 1000 mg L⁻¹ de Fe(SO₄)⁻²

A estratégia adotada por España-gamboa et al. (2012) foi a avaliação de um reator UASB modificado para tratamento da vinhaça. Os autores avaliaram o aumento gradual da COV e observaram que a faixa de COV ideal foi de $17,1 \text{ g DQO}_{\text{total}} (\text{L d})^{-1}$ com produção específica de metano de $0,263 \text{ L CH}_4 (\text{g DQO removida})^{-1}$.

Figura 3 - Representação esquemática de um reator tipo UASB.



Fonte: Revista O Futuro da Energia (2016).

Os reatores UASB funcionam de forma eficiente em condições anaeróbicas, onde microrganismos degradam a matéria orgânica presente na vinhaça, resultando na produção de biogás, composto principalmente de metano (CH_4). O metano gerado pode ser aproveitado como uma valiosa fonte de energia, utilizada para geração de eletricidade, calor ou até mesmo como combustível (CHERNICHARO, 2007).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada consiste em realizar um levantamento bibliográfico abrangente, utilizando bases de dados científicas relevantes. A busca foi conduzida utilizando termos de busca adequados referentes ao tema. Após a triagem inicial com base nos títulos e resumos dos artigos encontrados, foi realizada uma leitura completa dos artigos selecionados para determinar sua relevância e qualidade.

As informações relevantes foram extraídas e analisadas, permitindo a síntese dos principais resultados e a identificação de padrões, tendências e lacunas de conhecimento. A discussão e interpretação dos resultados fornecem uma análise crítica do tema, e o trabalho foi organizado seguindo uma estrutura lógica e coerente.

4 DISCUSSÃO

A geração de biogás a partir da vinhaça apresenta uma série de benefícios significativos nos âmbitos ambiental, econômico e social. Esse processo representa uma solução inovadora e sustentável para lidar com resíduos da indústria de produção de etanol, ao mesmo tempo em que oferece uma fonte de energia renovável. Estudos científicos fundamentam essa conclusão, ressaltando os impactos positivos em cada esfera.

Do ponto de vista ambiental, a conversão da vinhaça em biogás desempenha um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa. Estudos demonstram que o aproveitamento da vinhaça por meio da produção de biogás contribui para mitigar a liberação de metano de forma descontrolada, um gás altamente prejudicial ao meio ambiente e 21 vezes mais prejudicial que o CO₂. Além disso, a decomposição anaeróbica da vinhaça para a produção de biogás oferece uma solução eficaz no tratamento de resíduos, minimizando impactos negativos no solo e na água.

No contexto econômico, a geração de biogás a partir desse líquido representa uma fonte de energia renovável economicamente viável. Dados evidenciam a viabilidade econômica desse processo, oferecendo uma alternativa energética sustentável. A valorização da vinhaça como um subproduto transformado em algo útil e rentável também é muito relevante.

Em termos sociais, essa geração pode ter um impacto significativo na geração de empregos e no desenvolvimento local, visto que as oportunidades de emprego e os efeitos positivos na comunidade local decorrentes da implementação desses sistemas ocorrem tempestivamente. Além disso, essa tecnologia contribui para a segurança energética, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e diversificando a matriz energética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o uso da vinhaça na produção de biogás representa uma abordagem sustentável para lidar com esse subproduto da indústria sucroalcooleira. Essa prática contribui para a redução de resíduos, a geração de energia renovável, a recuperação de nutrientes e a mitigação de problemas ambientais, alinhando-se com os esforços globais para uma economia mais circular e sustentável.

Porém, é importante destacar que a eficácia da produção de biogás a partir da vinhaça depende da qualidade e da concentração da matéria orgânica presente no resíduo, bem como das condições de operação da instalação de digestão anaeróbica. A geração de biogás a partir da vinhaça não só atende às demandas por sustentabilidade, mas também abre portas para um ciclo produtivo mais eficiente e ecologicamente responsável na indústria sucroenergética.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. J. F. **Análise Energética, Ambiental e Econômica de Biodigestores de Circulação Interna e Concentradores de Vinhaça para Geração de Eletricidade, Fertilizantes e Créditos de Carbono em Diferentes Cenários Econômicos.** Dissertação de Pós-Graduação (Administração). Ribeirão Preto: USP, 2017.

BARROS, V. G. DE; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. DE. Biomethane production from vinasse in UASB reactors inoculated with granular sludge. **Brazilian Journal of Microbiology**, p. 1–12, 2016.

BARROS, V. G. D. et al. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, 2017.

BHATTACHARYYA S. C. **Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Número 9, dezembro de 2009, pp. 2272-2282.

BORDONAL, R. DE O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, 2018.

CETESB. **Vinasse - Criteria and Procedures for Application to Agricultural Soil, Technical norm P4.231** Environmental Sanitation Technology Company (Companhia de Tecnologia Ambiental), de Saneamento. Brazil, 2014.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios. 1997. DESA, UFMG, Belo Horizonte.

CHERNICHARO, C.A.L. (2007). "Methane Production in High-Rate Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Vinasse from Sugar-Ethanol Production." **Bioresource Technology**, 98(9), 1634-1640.

CHRISTOFOLETTI C. A., Escher J. P., Correia J. E., Marinho J. F., Fontanetti C. S. **Sugarcane vinasse: environmental implications of its use.** Waste Manag. 2013

COSTA, R. F. D. S. **Produção de biogás a partir de vinhaça**. Trabalho de Conclusão de Curso. FEMA. Assis. 2014.

DIAS, M. F. et al. Metagenomic analysis of a desulphurisation system used to treat biogas from vinasse methanisation. **Bioresource technology**, v. 205, p. 58–66, 2016.

ESPAÑA-GAMBOA, E. I. et al. Methane production by treating vinasses from hydrous ethanol using a modified UASB reactor. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 1, p. 82, 2012.

FUESS, L. T. et al. Thermophilic two-phase anaerobic digestion using an innovative fixed-bed reactor for enhanced organic matter removal and bioenergy recovery from sugarcane vinasse. **Applied Energy**, v. 189, p. 480–491, 2017.

HARTMANN D. L.; KLEIN TANK A. M.G.; RUSTICUCCI M. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis," Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Capítulo 2. Cambridge University Press, 2013. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Chapter02_FINAL.pdf> . Acesso em: 13 de setembro de 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2021. Paris: IEA. 2021.

JANKE, L. et al. Enhancing biogas production from vinasse in sugarcane biorefineries: Effects of urea and trace elements supplementation on process performance and stability. **Bioresource Technology**, v. 217, p. 10–20, 2016.

JOHNSON F. X. e SEEBALUCK V. **Bioenergy for Sustainable Development and International Competitiveness - The Role of Sugar Cane in Africa**. Routledge, 2012.

LA ROVERE, E. L. **Política ambiental e Planejamento Energético**. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. Revisado em Fev. de 2007.

LIEBETRAU, J., CLEMENS, J., CUHLS, C., HAUFERMANN, C., FRIEHE, J., WEILAND, P. AND DANIEL-GROMKE, J. **Methane emissions from biogas-producing facilities within the agricultural sector..** 2010. Eng. Life Sci, 10: 595-599.

MORAES, B. S. et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825–835, jan. 2014.

MORAES, B. S. et al. Reduction in greenhouse gas emissions from vinasse through anaerobic digestion. **Applied Energy**, v. 189, n. 2017, p. 21–30, 2017.

NADALETI, W. C. et al. National potential production of methane and electrical energy from sugarcane vinasse in Brazil: A thermo-economic analysis. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 103422, 2020.

PASSOS, Rafael Ramos Gonçalves. **Avaliação Energético-Econômica da Utilização da Vinhaça Via Biogás ou Evaporação Seguida de Incineração**. 47 p. 2002. Trabalho de Formatura – Universidade de São Paulo Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2002.

PINTO, Claudio Plaza. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 147 p. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 1999.

PINTO, T.A. **Gasolina, gás natural e etanol: comparação dos principais impactos ambientais da produção ao consumo final**. UNESP, Rio Claro, 2008.

REVISTA O FUTURO DA ENERGIA [Recurso eletrônico] / Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas/CEMIG. - Belo Horizonte, v.1, n.1, dez. (2016).

ROCHA, Vinícius Carvalho. **Processamento Anaeróbio de Vinhaça Pré-tratada com Biopolímero à Base de Cálcio**. 2012. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

ROSEN M.A. **Biogas as a Sustainable Energy Source for Developing Countries: Opportunities and Challenges**. *Energy*, Volume 33, Número 12, dezembro de 2008, pp. 1806-1813.

SILVERIO, M. S. **Digestão anaeróbia de vinhaça 2G para produção de biogás**. USP. Piracicaba. 2017.

SIQUEIRA, L.M. **Anaerobic Digestion of Vinasse from Sugarcane Ethanol Production in Brazil**. Tese de Mestrado. UFSCar. São Carlos. 2008.

WEILAND, P. **Biogas production: current state and perspectives**. Appl Microbiol Biotechnol 85, 849–860 (2010).

APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE

TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, David Macedo Mendes, RG 58.357.870-6, CPF 479.410.768-45, aluno(a) regularmente matriculado(a) no **Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado **Produção De Biogás A Partir De Vinhaça, Subproduto Do Processamento Da Cana-De-Açúcar** é **ORIGINAL**.

Declaro que recebi orientação sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tenho conhecimento sobre as Normas do Trabalho de Graduação da Fatec-JB e que fui orientado sobre a questão do plágio.

Portanto, estou ciente das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas de meu Trabalho de Graduação, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, 24 de novembro de 2023.

David Macedo Mendes