



**INSTITUTO
FEDERAL**
Alagoas

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA**

VANESSA GONZAGA SANTOS

**POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS NO SETOR
SUCROALCOOLEIRO: Uma revisão bibliográfica.**

**PENEDO, AL
2025**

VANESSA GONZAGA SANTOS

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS NO SETOR
SUCROALCOOLEIRO: Uma revisão bibliográfica.

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito final para a obtenção do grau de Técnico em Química

Orientadora: Prof.^a Dra. Georgia Nayane Silva Belo Gois.

PENEDO, AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

S237p

Santos, Vanessa Gonzaga.

Potencial energético dos resíduos gerados no setor sucroalcooleiro / Vanessa Gonzaga Santos. – 2025.

20f ; il.

Orientação: Prof.^a Georgia Nayane Silva Belo Gois.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2025.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Setor sucroalcooleiro. 2. Resíduos agroindustriais. 3. Tratamento de resíduos. I. Góis, Georgia Nayane Silva Belo . II. Título.

CDD:664.1

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

VANESSA GONZAGA SANTOS

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS NO SETOR
SUCROALCOOLEIRO: Uma revisão bibliográfica.

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito final para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO(A) EM: 14/05/2025

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Georgia Nayane Silva Belo Gois
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Amaury Franklin Benvindo Barbosa
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Felipe Thiago Caldeira de Souza
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

**TÍTULO: POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS NO SETOR
SUCROALCOOLEIRO: Uma revisão bibliográfica.**

**TITLE: ENERGY POTENTIAL OF WASTE GENERATED IN THE SUGAR AND
ALCOHOL SECTOR: A bibliographic review.**

**Vanessa Gonzaga Santos¹
Georgia Nayane Silva Belo Gois²**

RESUMO

O setor sucroalcooleiro, responsável pela produção de açúcar e etanol, gera grandes volumes de resíduos agroindustriais, como bagaço, melaço e vinhaça. Esses subprodutos, quando corretamente tratados e reaproveitados, possuem elevado potencial energético, contribuindo para a sustentabilidade do setor e para a diversificação da matriz energética nacional. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as principais formas de aproveitamento energético desses resíduos, abordando tecnologias como a cogeração, biodigestão e produção de biocombustíveis. A metodologia adotada consistiu na análise qualitativa de publicações científicas, normas técnicas e documentos institucionais dos últimos dez anos. Os estudos revisados indicam que o tratamento adequado dos resíduos pode gerar energia térmica e elétrica de forma eficiente, além de reduzir impactos ambientais. Conclui-se que o aproveitamento energético dos resíduos do setor sucroalcooleiro representa uma alternativa viável e estratégica para o desenvolvimento sustentável da agroindústria brasileira.

Palavras-chave: Produção de açúcar e etanol, resíduos agroindustriais, tratamento de resíduos, potencial energético.

ABSTRACT

The sugar and alcohol sector, responsible for the production of sugar and alcohol, generates large volumes of agro-industrial waste, such as bagasse, straw and vinasse. These byproducts, when properly treated and reused, have high energy potential, contributing to the sustainability of the sector and to the diversification of the national energy matrix. This article presents a bibliographic review on the main forms of energy use of this waste, addressing technologies such as cogeneration, biodigestion and biofuel production. The methodology adopted consisted of the qualitative analysis of scientific publications, technical standards and institutional documents from the last ten years. The studies reviewed indicate that the adequate treatment of waste can generate thermal and electrical energy efficiently, in addition to reducing environmental impacts. It is concluded that the energy use of waste from the sugar and alcohol sector represents a viable and strategic alternative for the sustainable development of the Brazilian agro-industry.

Keywords: Sugar and alcohol production, agro-industrial waste, waste treatment, energy potential.

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro desempenha um papel fundamental na matriz agroindustrial brasileira, sendo responsável pela produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. No entanto, sua atividade gera uma grande quantidade de resíduos, entre os quais se destacam o bagaço de cana, a vinhaça, a torta de filtro e o melaço. Esses subprodutos, historicamente tratados como passivos ambientais, têm se mostrado fontes promissoras de energia renovável, alinhando-se às necessidades atuais de desenvolvimento sustentável e diversificação energética (Shidvida & Bacha, 2019).

Os principais resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar são o bagaço, a torta de filtro, o melaço e a vinhaça. Esses resíduos são transformados em subprodutos para uso comercial e para geração de energia dentro das próprias usinas (Saqueti et al., 2019; de Souza Nogueira & da Silva Garcia, 2013).

O bagaço de cana, por exemplo, é amplamente utilizado na cogeração de energia elétrica por meio da queima em caldeiras. Já a vinhaça, devido à sua elevada carga orgânica, é uma matéria-prima potencial para a produção de biogás. A torta de filtro e o melaço também apresentam elevado teor energético, podendo ser aproveitados em processos de biodigestão ou para a produção de biocombustíveis. O uso desses resíduos para geração de energia contribui significativamente para a redução da emissão de gases de efeito estufa e para o fortalecimento da economia circular dentro do setor.

Diante desse cenário, o presente artigo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de caráter qualitativo e natureza bibliográfica, com o objetivo de revisar e analisar a literatura existente sobre o aproveitamento energético dos resíduos provenientes do setor sucroalcooleiro. A metodologia adotada fundamenta-se na revisão acadêmica por meio de artigos e documentos técnicos dos últimos dez anos que tratam da geração, caracterização e valorização energética de resíduos agroindustriais. A coleta de dados foi realizada em bases de dados científicas como, Google Acadêmico e Periódicos CAPES.

2 PROCESSO PRODUTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

2.1. PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL

A agricultura sucroalcooleira é a área responsável pela produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais, sendo referência tanto na produção de açúcar quanto de biocombustíveis. Na produção sucroalcooleira, o progresso tecnológico abrange quatro etapas do processo de produção da matéria-prima: preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita, com avanços significativos em mecânica, biologia e engenharia (De Araújo & Sobrinho, 2020; Shidvida & Bacha, 2019).

A cana-de-açúcar, pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, é uma planta semi-perene, monocotiledônea e alógama (Oliveira, 2006). Sua origem remonta a aproximadamente 6.000 a.C, no sudeste asiático, especialmente nas regiões da Nova Guiné e Indonésia. Posteriormente, a cultura foi levada para a África e a Europa pelos árabes e, mais tarde, para Java e Filipinas pelos chineses. No Brasil, embora haja registros do cultivo antes do período colonial, o desenvolvimento da produção ocorreu a partir da segunda metade do século XVI, com a criação de engenhos em Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe e Paraíba, impulsionando a economia com a exportação de açúcar (Canabrava, 2005; Severino, 2007).

A planta é composta por duas partes: uma subterrânea (rizomas e raízes) e uma aérea (colmo, folhas e flores) (Oliveira, 2006). Desde o período colonial, a cultura da cana-de-açúcar é fundamental para a economia brasileira, sendo considerada a primeira atividade agroindustrial implantada no país. Contudo, a monocultura acarretou impactos ambientais, como a geração de resíduos, poluição atmosférica e contaminação do solo e efluentes (Feitoza & Batista, 2016).

Os principais resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar são o bagaço, a torta de filtro, o melaço e a vinhaça. Esses resíduos são transformados em subprodutos para uso comercial e para geração de energia dentro das próprias usinas (Saqueti et al., 2019; de Souza Nogueira & da Silva Garcia, 2013).

O Brasil destaca-se também por possuir um modelo produtivo integrado entre as usinas de açúcar e etanol, detendo completo domínio tecnológico sobre o ciclo de produção desses produtos (Flausino, 2015). A cadeia produtiva é dividida em duas grandes etapas: agrícola e industrial, sendo o bagaço e a vinhaça os principais resíduos gerados (Souza, 2010).

A fase agrícola inicia-se com o cultivo da cana. A escolha da variedade adequada é crucial, considerando as condições climáticas e morfológicas da região, assim como a análise do ciclo da cana. A colheita ocorre preferencialmente durante o período seco, favorecendo a maturação, e é tradicionalmente realizada de forma manual.

O transporte da cana-de-açúcar é a última etapa da fase agrícola. Devido à sua perecibilidade, o transporte deve ser rápido, idealmente realizado em até 24 horas após a colheita e, no máximo, 72 horas, para preservar a qualidade da matéria-prima (Flausino, 2015).

A fase industrial inicia-se com a chegada da cana à usina. Caso tenha sido colhida manualmente, a cana precisa ser lavada, picada e moída. No caso da colheita mecanizada, essas etapas podem ser reduzidas. A extração do caldo ocorre através da moagem, que pode ser realizada por dois processos: moendas ou difusores.

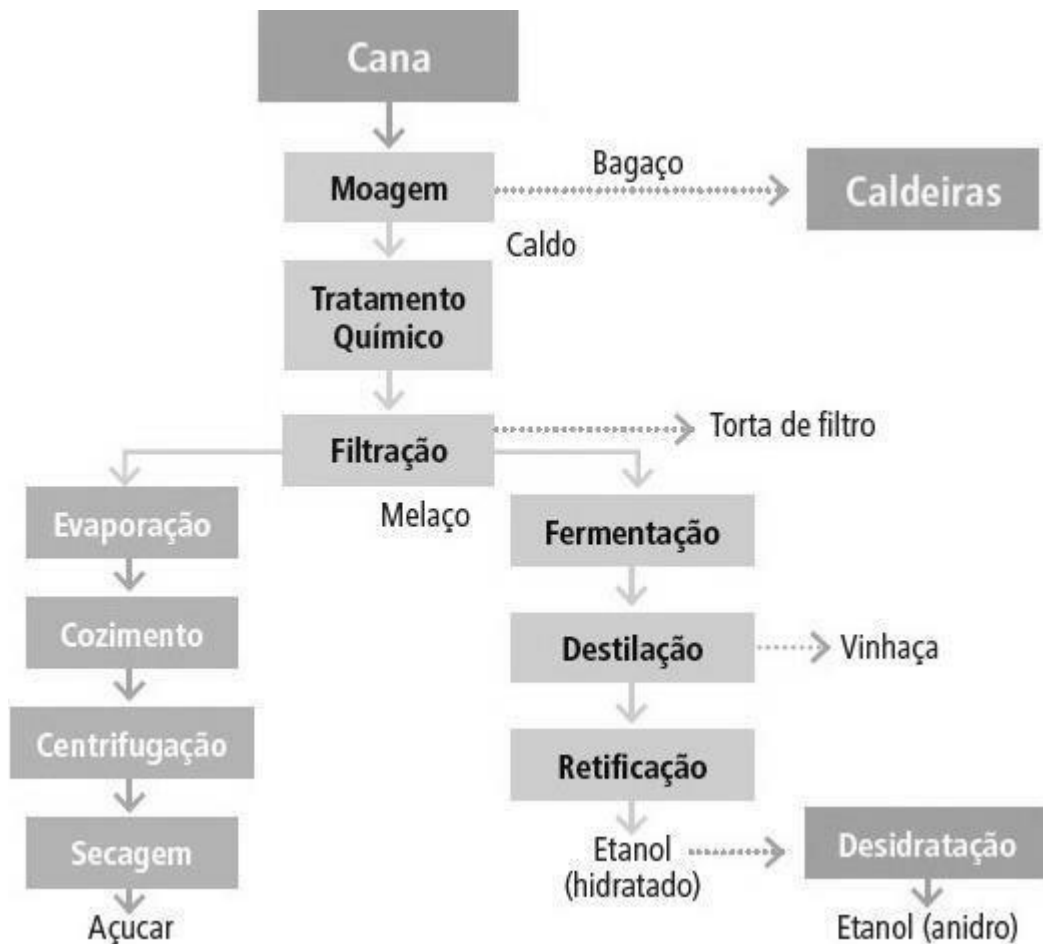
Segundo Fonseca (2016), nas moendas, a cana é prensada por um conjunto de rolos, retirando-se o caldo e gerando como resíduo o bagaço, com cerca de 50% de umidade. Já no processo com difusores, a cana é submetida a sucessivas lavagens com água quente para a liberação dos açúcares, seguida de uma etapa de secagem.

A cana-de-açúcar é uma matéria-prima de alta versatilidade: da palha ao bagaço, praticamente tudo pode ser aproveitado. Seus subprodutos e resíduos são utilizados na alimentação humana e animal, na fertilização do solo e na geração de energia, mostrando o grande potencial de aproveitamento da cultura.

2.2. RESÍDUOS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

A indústria sucroalcooleira gera diversos resíduos durante o processamento da cana-de-açúcar, como o bagaço, a vinhaça, torta de filtro e o melaço. A Figura 1, apresenta o fluxograma do processo produtivo de açúcar e álcool. Estes resíduos, anteriormente considerados problemáticos, vêm sendo reaproveitados de forma eficiente, agregando valor à cadeia produtiva e promovendo práticas de economia circular.

Figura 1: Fluxograma da produção de açúcar e etanol.



Fonte: SEABRA (2008).

2.2.1. O Bagaço da cana-de-açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar é o resíduo sólido fibroso resultante da extração do caldo da cana, processo necessário para a produção de açúcar e etanol (Teodoro et al., 2023; Goldenberg, 2000). Representa uma fração significativa da biomassa gerada nas usinas, correspondendo a cerca de 30% do peso total da cana processada (Rossell, 2005).

Sua composição é predominantemente de celulose (40-50%), hemicelulose (25-30%) e lignina (20-25%) (Silva et al., 2010), conferindo-lhe características favoráveis para aplicações industriais e energéticas. A umidade do bagaço pode variar entre 45% e 50% (UNICA, 2023), fator que influencia diretamente seu aproveitamento energético.

De acordo com Burgi (1995), para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, obtêm-se aproximadamente 700 litros de caldo e 300 kg de bagaço, sendo este um

dos principais resíduos sólidos da agroindústria brasileira. Em termos nacionais, estima-se que, das 250 milhões de toneladas de cana moídas anualmente, sejam geradas cerca de 75 milhões de toneladas de bagaço.

O bagaço possui diversas aplicações, destacando-se a geração de energia por cogeração nas usinas, a produção de biocombustíveis, a fabricação de papel, e outros usos industriais. Seu aproveitamento eficiente contribui para a sustentabilidade do setor, reduzindo a quantidade de resíduos e agregando valor econômico.

2.2.2. A Vinhaça

A vinhaça é um dos principais subprodutos líquidos gerados na produção de etanol, devido ao grande volume produzido e ao seu potencial de reaproveitamento. Este resíduo é composto por aproximadamente 97% de água e 3% de matéria orgânica e elementos minerais, com destaque para o potássio, que representa cerca de 20% da fração mineral (Marques, 2006 apud Silva, 2012).

Conforme Almança (1994), a vinhaça pode ser classificada em três tipos, conforme a origem do mosto:

- **Vinhaça de mosto de caldo:** proveniente diretamente da cana moída;
- **Vinhaça de mosto de melaço:** derivada da separação do açúcar cristalizado e do mel final;
- **Vinhaça de mosto misto:** resultante da mistura dos dois anteriores.

A vinhaça apresenta elevada carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), variando entre 12.000 e 20.000ppm (Silva, 2012), o que impede seu descarte direto em corpos hídricos, sob risco de provocar severos danos ambientais, como a depleção de oxigênio e a morte da fauna aquática.

Além disso, pode conter metais pesados e poluentes orgânicos xenobióticos, como fenóis, cloreto de metileno, clorofórmio e pentaclorofenol (Bernal et al., 2017), prejudiciais a diversos microrganismos responsáveis pelo tratamento de águas residuárias. A exposição descontrolada da vinhaça também está associada à proliferação de doenças como malária, amebíase e esquistossomose, além da emissão de odores desagradáveis.

Outras características importantes incluem seu pH extremamente baixo, conferindo-lhe poder corrosivo, o que exige o uso de materiais específicos para seu armazenamento e transporte.

Motivadas pela necessidade de uma gestão ambientalmente adequada, as indústrias sucroalcooleiras vêm desenvolvendo alternativas para o aproveitamento da vinhaça, como: fertirrigação, compostagem, produção de leveduras, uso como combustível, aplicação na construção civil, produção de ração animal, digestão anaeróbia para geração de biogás (Corazza, 2006 apud Silva, 2012).

2.2.3. O Melaço

O melaço é um subproduto líquido obtido no processo de centrifugação durante a fabricação do açúcar. Contém altos teores de açúcares redutores e sacarose não cristalizada, além de outros compostos orgânicos. É amplamente utilizado como fonte de carboidratos na fermentação alcoólica para a produção de etanol, fabricação de cachaças, fermentos biológicos e suplementos para rações animais.

De acordo com a Embrapa (2016), a produção de melaço varia de 40 a 60 quilos por tonelada de cana processada. No Brasil, o melaço é largamente empregado na produção de álcool etílico, como é utilizado como matéria-prima em processos industriais para a geração de proteínas, alimentos e suplementos nutricionais, reforçando sua importância na economia circular.

O melaço, também conhecido como "mel final" ou "mel de furo", pode ainda ser aproveitado em processos de decantação, aumentando seu valor agregado e reduzindo o desperdício no setor sucroalcooleiro.

2.2.4. A torta de filtro

A torta de filtro é resultante do processo do filtro prensa recebido do decantador de caldo. Como subproduto a torta de filtro pode ser utilizada na alimentação animal em forma de ração, pois é rica em minerais (fósforo e cálcio) ou também para a extração de ceras, utilizando solventes orgânicos, e podendo substituir as ceras derivadas do petróleo pelo material obtido. (Bonassa et al., 2015; da Costa et al., 2015).

2.3. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

A valorização energética dos resíduos gerados no setor sucroalcooleiro representa uma estratégia fundamental para a sustentabilidade ambiental e a

eficiência econômica das usinas. Subprodutos como o bagaço, a vinhaça e o melaço, anteriormente tratados como passivos ambientais, são atualmente empregados como fontes renováveis de energia, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para o fortalecimento da bioeconomia.

2.3.1. O uso do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de ácido lático.

O ácido lático é considerado um dos compostos mais promissores obtidos a partir da fermentação de açúcares, ao lado de outros produtos como ácido cítrico, ácido glutâmico e glicerol. Esses compostos são conhecidos como “blocos de construção” — moléculas com múltiplos grupos funcionais que apresentam grande potencial na indústria química, devido à sua capacidade de serem convertidas em novas famílias de moléculas úteis (Oliveira et al., 2018a).

A ampla variedade de aplicações do ácido lático contribui significativamente para sua importância. Ele é utilizado nas indústrias química, alimentícia, têxtil, entre outras. Recentemente, ganhou destaque por sua utilização como monômero na produção do ácido polilático (PLA), um biopolímero renovável e biodegradável (Biogreenchoice; Rasal et al., 2010; Gupta et al., 2007).

O ácido lático pode ser obtido por dois métodos: via fermentativa ou por síntese química. A produção fermentativa é a mais utilizada, pois apresenta menor custo e vantagens adicionais, como a formação preferencial de apenas um estereoisômero, evitando misturas racêmicas que geralmente são indesejáveis (Södergård & Slot, 2002).

No caso da produção de ácido lático a partir do bagaço da cana-de-açúcar, a via fermentativa é a principal rota. O bagaço, um resíduo lignocelulósico, precisa passar por etapas de pré-tratamento e hidrólise para liberar açúcares fermentáveis, como glicose e xilose. Posteriormente, esses açúcares são convertidos em ácido lático por ação de microrganismos. Para expor a celulose e a hemicelulose contidas no bagaço, é necessário romper a matriz de lignina através de métodos físicos, químicos ou biológicos, sendo comuns a hidrólise ácida, alcalina ou enzimática (Soccol et al., 2006).

O bagaço da cana apresenta vantagens em comparação com outros subprodutos da cana-de-açúcar, destacando-se pela baixa quantidade de cinzas e por sua composição típica: cerca de 50% de celulose, 25% de lignina e 25% de hemicelulose (Woiciechowski et al., 2013).

2.3.2. A produção da biomassa energética por meio da queima do bagaço em caldeiras nas usinas.

A biomassa é uma matéria capaz de ser utilizada para gerar eletricidade, sendo assim uma fonte renovável. Ela pode ser de origem orgânica, animal ou vegetal, sua produção ocorre pelo aproveitamento de lixo residual e comercial de processos industriais, como serragem, bagaço de cana e cascas de arvores ou de arroz. A biomassa é utilizada como combustível nas termelétricas. E a partir dela podem ser produzidos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

A biomassa tem se mostrado, ao longo de décadas, um dos mais determinantes fatores de desenvolvimento econômico e social dos países industrializados. O Brasil apresenta todas as condições necessárias ao processo natural de bioconversão para a produção de biomassa, quer seja para fins energéticos ou para a produção de alimentos (COUTO et al., 2004).

A energia da biomassa deriva de quatro fontes: as derivadas de cultivos ricos em carboidratos ou amiláceos, que geram o etanol; as derivadas de lipídios vegetais e animais, que geram o biodiesel; a madeira, que pode gerar o metanol, briquetes ou carvão vegetal; e os resíduos e dejetos da agropecuária e da agroindústria, que podem gerar calor e energia elétrica. Em todas essas o Brasil tem vantagens comparativas na produção, e tem a capacidade para ser líder mundial no biomercado e no mercado internacional de energia renovável (EMBRAPA, 2006).

A maior fonte de produção de energia com biomassa é a queima do bagaço de cana nas caldeiras de usinas, pois sua eficiência poderia aumentar em 35% com a gaseificação ou redução de sua umidade, que chega a 50%. A gaseificação por calor indireto vem sendo estudada na Universidade Estadual de Pernambuco. Associada aos catalisadores como alumina e zinco, a gaseificação aumenta a produção de hidrogênio (H₂) e de monóxido de carbono (CO) e diminui a produção de dióxido de carbono (CO₂) (LIANA; CAMPANILI, 2000).

Às empresas sucroalcooleiras possuem através do bagaço o privilégio da autossuficiência de energia térmica e da possibilidade de autossuficiência em energia elétrica, condições essas inexistentes na maioria das atividades industriais. O bagaço de cana, dentre as biomassas, é aquele que reúne os melhores atributos econômicos para ser industrializado e competir comercialmente com o óleo combustível, PELLEGRINI (2002).

O setor sucroalcooleiro passa hoje por uma transição, evoluindo de sistemas a vapor de baixa pressão (até 20 bar) para sistemas a alta pressão (até 80 bar), permitindo sair da autossuficiência em energia elétrica para a geração de alguns Giga Watts - GW excedentes.

Futuramente, a biomassa deverá ser base da energia renovável e insumo para a indústria química. Segundo acreditam alguns especialistas, ela movimentará o maior volume de recursos das transações agrícolas internacionais, a partir de 2050. Composta por cerca de 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual, parece ser a maior e mais sustentável fonte de energia renovável pronta para uso (HALL; RAO, 1999). A biomassa apresenta em sua composição estrutural, três componentes principais (celulose, hemicelulose e lignina), sendo essa também a composição típica do bagaço.

A cogeração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar vem sendo de grande importância econômica, pois as tecnologias disponíveis produzem baixo nível de emissão, resultando ainda na redução dos impactos ambientais. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2006), o bagaço de cana representa 2,25% na matriz de energia elétrica.

]A co-geração de eletricidade a partir do bagaço, a cana-de-açúcar é, hoje, a maior fonte de energia renovável do Brasil com a produção de álcool combustível. Segundo o Balanço Energético Nacional - BEN, a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%; sendo, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, de 12,6%; da utilização de lenha de carvão vegetal, de 11,9%; e de outras fontes, de 2,5%. e (BRASIL, 2007).

A energia gerada nas usinas sucroalcooleiras tem sido capaz de suprir não somente o consumo de eletricidade no processo industrial, como também seu excedente tem sido comercializado em distribuidoras locais de energia elétrica. A entrada dessa energia co-gerada no sistema elétrico coincide com o aumento do índice pluviométrico (estação de seca), quando os reservatórios das usinas hidrelétricas apresentam baixos níveis de armazenamento de água (SOUZA, 2006).

As usinas utilizam na geração de suas próprias necessidades de vapor em torno de 80-85% do bagaço disponível. Todavia, pelo melhoramento do balanço energético no processamento da cana, pode-se chegar a valores percentuais bem maiores (COUTO, et al., 2004)

2.3.3. Produção de Biogás a partir da Vinhaça e do Melaço.

A utilização da vinhaça em processos fermentativos e alternativos, surgem para viabilizar a produção de biocombustíveis.

O tratamento da vinhaça é um dos mais importantes e desafiadores para o processo de produção industrial de etanol. Dentre das principais opções, o tratamento biológico é validado como um processo adequado de tratamento dessas águas residuárias com alto potencial poluente proveniente da agroindústria (Albanez, 2015).

O melaço é altamente rico em glicose, sacarose e frutose, ou seja, carboidratos, o torna um substrato adequado para a digestão anaeróbia fermentativa, segundo a literatura, vários pesquisadores têm estudado o potencial do melaço para essa finalidade. (Pereyra, 2019; Chaves et al., 2021).

Nesse sentido, a digestão anaeróbia apresenta grande potencial e atratividade, pois consistem em um processo de baixo custo, livre de poluição, com reduzido gasto energético e uma variedade de microorganismos e substratos que podem atuar como fonte produtora do gás. Estudos como o de Gois et al. (2021) e Chaves et al. (2021), onde as pesquisas desenvolvidas utilizaram tanto a vinhaça como o melaço a fim de produzir biogás a partir da digestão anaeróbia.

O biogás é gerado basicamente pela decomposição natural do material orgânico, ou seja, através de processos biológicos, tendo como componentes o hidrogênio, o metano, o dióxido de carbono e o gás nitrogênio, sendo a maior parte composta por metano (40 a 60%) e a menor por concentrações do gás nitrogênio. Se capturado do processo, pode ser utilizado em máquinas térmicas e gerar energia elétrica (Gehring, 2014).

Uma das principais aplicações do biogás é a produção de hidrogênio (H_2) e metano (CH_4), que são transportadores de energia com alto potencial para diversos setores. (Nur et al., 2022). Segundo Song et al., 2020 esses dois gases (H_2 e o CH_4) são os principais constituintes de energia gasosa e possuem elevado potencial calorífico energético e são amplamente aplicados e explorados na indústria química e no processamento.

O processo fermentativo e a produção de biogás em reatores anaeróbios consistem em várias etapas (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), a partir das quais, por meio dos devidos controles operacionais, da digestão anaeróbia,

substratos ricos em matéria orgânica podem ser convertidos em biogás (metano e CO₂) e em outros produtos de alto valor agregado como hidrogênio (Silva et al., 2019).

Entre esses subprodutos, destacam-se a vinhaça e o melaço de cana de açúcar, provenientes da indústria sucroalcooleira, que apresentam características favoráveis para esse processo (Gois et al. 2021; Chaves et al., 2021; Zang et al., 2021).

2.3.4. A utilização da torta de filtro na adubação do solo

O resíduo sólido torta de filtro, é gerado na filtração do caldo, processo posterior à moagem da cana de açúcar, sendo que esse resíduo é classificado como poluente, necessita de destinação adequada para evitar os possíveis impactos ambientais. O termo resíduo, na maioria das vezes, é associado a lixo, no entanto, sabe-se hoje que os resíduos sólidos são considerados como aqueles que possuem valor econômico agregado, por possibilitar em seu reaproveitamento, sendo os resíduos da biomassa transformados em matéria prima para diversos outros processos (SILVA ET al. 2011).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil as estimativas da geração de resíduos derivados das agroindústrias associadas à agricultura representaram cerca de 290.838.411 toneladas de resíduos para o ano de 2009. Destes, os resíduos que mais contribuíram para estes valores, em torno de 69 % foram o bagaço e a torta de filtro derivados da cana-de-açúcar, gerados em sua maioria na região Sudeste do país (BRASIL, 2011).

A torta de filtro define-se num resíduo procedente da mistura de bagaço moído e lodo da decantação e do processo de clarificação do açúcar. Como esse lodo passa por um processo de filtração a vácuo, acabou sendo denominado de torta de filtro (FRAVET et al., 2010). É estipulado que para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, são produzidos de 30 a 40 kg de torta de filtro.

Por ser composto orgânico rico em cálcio, nitrogênio e potássio (dependendo de fatores como variedade da cana, época de maturação, tipo de solo, processo de clarificação, entre outros) tem sido visualizada como fertilizante, ou seja, uma fonte de nutrientes para as plantas (FRAVET et al., 2010).

A utilização da torta de filtro como fonte de matéria orgânica na produção vegetal é uma prática que vem se tornando cada vez mais comum, pois além do incremento em nutrientes, os benefícios são também físicos e biológicos (SANTANA, et al., 2012).

Assim, as consequências do uso da torta de filtro são um maior crescimento e desenvolvimento para as plantas.

O objetivo da utilização da torta consiste na transformação desse resíduo em adubo orgânico para o uso na produção de diversas culturas. Toda cultura agrícola, no preparo do solo para o plantio, necessita de correções, entre elas, a adubação, a torta de filtro apresenta características de nutrientes necessários ao desenvolvimento dessas culturas e dar uma destinação correta a esse resíduo (CONAB, 2014).

como é rica em matéria orgânica, ainda serve de alimento para os microrganismos, favorecendo a transformação dos fosfatos naturais em formas orgânicas e inorgânicas estáveis e lábeis no solo (GONZÁLES et al., 2014). Recentemente, boa parte do uso deste resíduo tem sido como fertilizante orgânico na cultura da cana de açúcar (VAZQUEZ et al., 2015). Assim, acarreta na diminuição do uso de adubos sintéticos e evita que este resíduo seja depositado diretamente em corpos d'água ou aterros sanitários. Estudos indicam que o emprego da torta de filtro no cultivo da cana-de-açúcar é viável, pois as plantas respondem favoravelmente à adubação, aumentando o acúmulo de fósforo, potássio e cobre em sua parte aérea (GONZÁLES et al., 2014)

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho evidenciou que os resíduos gerados no setor sucroalcooleiro, tradicionalmente vistos apenas como subprodutos de descarte, possuem um significativo potencial energético, contribuindo para a sustentabilidade e

eficiência do setor. A análise bibliográfica permitiu demonstrar que resíduos como o bagaço de cana, a vinhaça, a torta de filtro e o melaço são recursos estratégicos para a diversificação da matriz energética brasileira.

O bagaço de cana se destaca como uma importante fonte para a cogeração de energia elétrica, sendo amplamente aproveitado em caldeiras industriais. A vinhaça, por sua vez, apresenta grande potencial para a produção de biogás, possibilitando a geração de energia elétrica e a redução das emissões de gases de efeito estufa. A torta de filtro e o melaço também se mostram relevantes, na reposição de nutrientes para o solo, agregando valor ao ciclo produtivo.

Além do aproveitamento energético, o uso adequado desses resíduos traz benefícios ambientais expressivos, como a diminuição dos impactos causados pela disposição inadequada de resíduos e o estímulo à economia circular. A transformação desses materiais em fontes de energia renovável reforça a importância da inovação tecnológica e do investimento em práticas sustentáveis no setor sucroenergético.

Conclui-se, portanto, que o aproveitamento energético dos resíduos da indústria sucroalcooleira representa não apenas uma oportunidade econômica, mas também uma estratégia essencial para a promoção do desenvolvimento sustentável, alinhando o crescimento industrial às necessidades de preservação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANEZ, R. Codigestão de vinhaça e melaço em biorreator anaeróbio operado em bateladas sequenciais com biomassa imobilizada visando a produção de hidrogênio. 24 nov. 2015.

ALMANÇA, R. **Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia Elétrica (Estudo de caso)**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

BERNAL, A. P. et al. **Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions**. Journal of Cleaner Production, Oxford, v. 151, n. p. 260-271, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Disponível em: Acesso em: 16 mar. 2007.

BARROS, M. V. N. **Valorização de resíduos de melão de açúcar em biocombustível e precursor bioplástico**. (2023).

CHAVES, T. C. et al. Biohydrogen production in an AFBR using sugarcane molasses. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 44, n. 2, p. 307–316, 26 fev. 2021.

CORAZZA, R. I. **Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lockin na fertirrigação?** In: CORTEZ, L.; FREIRE, W. J.; ROSILLO-CALLE, E. Biodigestion of vinasse in Brazil. International Sugar Journal, Londres, v. 100, n. 1196, p.408-413, 1998.

ERNESTO, Vívian Aparecida Ricardo Teixeira. **Caracterização térmica do bagaço de cana-de-açúcar visando aproveitamento energético**. 2009.

FLAUSINIO, B. F. P. G. **Produção de energia elétrica a partir do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar gerado no setor sucroalcooleiro de minas gerais**. 2015. Tese (Doutorado de Engenharia Nuclear e da Energia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FONSECA, T. T. A. **Avaliação das influências climáticas na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar**. 2016. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

FRIEDRICHSEN, Jéssica de Souza Alves et al. **O uso adequado dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira para o desenvolvimento de subprodutos: uma revisão**. Research, Society and Development, v. 11, n. 13, p. e597111336082-e597111336082, 2022.

GOLDONI, E. L., DE OLIVEIRA, L. S., DA SILVA RODRIGUEIRO, M. M., OLIVEIRA, K. S. M., NETO, M. M., RAMOS, R. A. V., & DOS SANTOS, P. S. B. (2022). **Aproveitamento de palha de cana-de-açúcar para o incremento de geração de energia elétrica: revisão sistemática da literatura**. Research, Society and Development, 11(12), e176111234232-e176111234232.

GOIS, Georgia et al. **Evaluation of biohydrogen production from sugarcane vinasse in an anaerobic fluidized bed reactor without pH control**. Latin American Applied Research-An international journal, v. 51, n. 1, p. 63-69, 2021.

GEHRING, C. G. **Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbica de vinhaça.** Trabalho de Conclusão de Curso- Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos. 124p, 2014.

HALL, D. O.; RAO, K. K. **Photosynthesis.** 6 th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 214 p.

NUR, P. et al. **Operational Conditions affecting Biohythane Production and its Kinetic Model: A Review.** Journal of Energy and Safety Technology (JEST), v. 5, n. 2, p. 109–121, 1 fev. 2022.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça.** In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2006. p. 369-375.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais co-geradoras a bagaço de cana no parque energético do estado de São Paulo: exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locais e de integração energética. 2002. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.**

PEREIRA, Isabela Zanon et al. **Uma breve revisão sobre a indústria sucroalcooleira no Brasil com enfoque no potencial de geração de energia.** Revista Brasileira de Energia—Vol, v. 25, n. 2, 2019.

PEREIRA, Natháia Terra. **Produção de ácido láctico com resíduos agroindustriais: uma revisão da literatura.** 2019.

PEIXOTO, G. et al. **Hydrogen production from soft-drink wastewater in an upflow anaerobic packed-bed reactor.** International Journal of Hydrogen Energy, v. 36, n. 15, p. 8953–8966, 2011.

PEREYRA, D. **Cofermentação de glicerol e melão como alternativas para produção de biocombustíveis e produtos de valor agregado.** 2019.

SONG, W. et al. **Improving biohydrogen production through dark fermentation of steam-heated acid pretreated Alternanthera philoxeroides by mutant Enterobacter aerogenes ZJU1.** Science of The Total Environment, v. 716, p. 134695, 10 maio 2020.

SILVA, A. N. DA et al. **Biohydrogen production from dairy industry wastewater in an anaerobic fluidized-bed reactor.** Biomass and Bioenergy, v. 120, p. 257–264.

SOUZA, R. R. de. **Panorama, oportunidades e desafios para o Mercado Mundial de Álcool Automotivo.** 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VIDAL, M. F. de; SANTOS, J. A. N. dos; SANTOS, M. A. dos. **Setor sucroalcooleiro no nordeste brasileiro: estruturação da cadeia produtiva, produção e mercado.**

ZHANG, S.; WANG, J.; JIANG, H. **Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses, a by-product of sugar industry.** Food Chemistry, v. 346, p. 128860, 1 jun. 2021.