



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

**RAISSA GRAZIELLE VIEIRA DOS SANTOS**

**PRODUÇÃO DE ETANOL E REAPROVEITAMENTO DA VINHAÇA**

**PENEDO, AL**

**2024**

RAISSA GRAZIELLE VIEIRA DOS SANTOS

PRODUÇÃO DE ETANOL E REAPROVEITAMENTO DA VINHAÇA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de nível médio Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Simonise Figueiredo Amarante Cunha

PENEDO, AL

2024



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

---

S237p

Santos, Raissa Grazielle Vieira dos.

Produção de etanol e reaproveitamento da vinhaça / Raissa Grazielle Vieira dos Santos. – 2024.

18f.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Simonise Figueiredo Amarante Cunha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2024.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Etanol - Fabricação 2. Vinhaça. I. Cunha, Simonise Figueiredo Amarante. II. Título.

CDD: 662

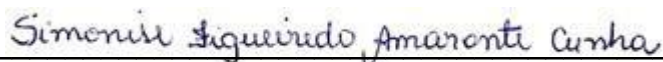
RAISSA GRAZIELLE VIEIRA DOS SANTOS

PRODUÇÃO DE ETANOL E REAPROVEITAMENTO DA VINHAÇA

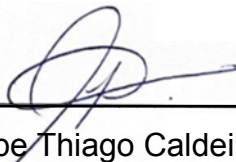
Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO(A) EM: 23/10/2024.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr<sup>a</sup>. Simonise Figueiredo Amarante Cunha  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



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



Prof. Dr<sup>a</sup>. Marina de Magalhães Silva  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

## RESUMO

O processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é essencial para a composição energética do Brasil. Nas usinas, a cana é colhida e triturada, dando origem ao caldo que, após a fermentação, se converte em etanol. Contudo, a destilação também produz a vinhaça, um resíduo que, durante muito tempo, foi visto como um problema de descarte. Atualmente, reconhecendo sua importância: a vinhaça é utilizada na fertirrigação de canaviais, fornecendo ao solo nutrientes vitais, como potássio e enxofre. Adicionalmente, estudos investigam métodos alternativos para sua reutilização, como a fabricação de ácido lático e até mesmo a conversão em hidrogênio verde. Este reaproveitamento não só favorece o meio ambiente, como também auxilia na economia e na sustentabilidade do setor sucroalcooleiro brasileiro. O presente trabalho tem por objetivo apresentar os processos de produção e a eficiência da reutilização da vinhaça na indústria, através de uma revisão bibliográfica sobre o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil, com foco na investigação do reaproveitamento da vinhaça, avaliando seus impactos ambientais e econômicos.

**Palavras-chave:** Etanol, Vinhaça, Fertirrigação, Hidrogênio verde, Cana-de-açúcar

## **ABSTRACT**

The process of producing ethanol from sugarcane is essential to Brazil's energy mix. In the mills, the sugarcane is harvested and crushed, producing juice that, after fermentation, is converted into ethanol. However, distillation also produces vinasse, a residue that, for a long time, was seen as a waste problem. Today, we recognize its importance: vinasse is used in the fertigation of sugarcane fields, providing the soil with vital nutrients, such as potassium and sulfur. Additionally, studies are investigating alternative methods for its reuse, such as the production of lactic acid and even its conversion into green hydrogen. This reuse not only benefits the environment, but also helps the economy and sustainability of the Brazilian sugar and ethanol sector. This work aims to present the production processes and the efficiency of vinasse reuse in the industry, through a bibliographic review on the ethanol production process from sugarcane in Brazil, focusing on the investigation of vinasse reuse, evaluating its environmental and economic impacts.

**Keywords:** Vinasse; Ethanol; Fertigation; Green hydrogen; Sugarcane.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2. PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL</b> .....	<b>9</b>
<b>3. ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ETANOL</b> .....	<b>9</b>
3.1. Colheita .....	9
3.2. Recepção .....	10
3.3. Moagem e tratamento do caldo .....	11
3.4. Extração do caldo por moenda .....	12
3.5. Fermentação .....	13
3.6. Principais tipos de fermentação .....	14
3.7. Destilação .....	14
<b>4. REUTILIZAÇÃO DA VINHAÇA</b> .....	<b>14</b>
4.1. COMPOSIÇÃO DA VINHAÇA .....	15
4.2. APLICAÇÕES DA VINHAÇA .....	15
4.2.1. Uso como fertilizante agrícola .....	15
4.2.2 Produção de biogás .....	15
4.2.3. Produção de hidrogênio verde.....	16
4.2.4. Fertirrigação .....	16
4.2.5. Extração de nitrogênio .....	16
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um processo fundamental para a matriz energética brasileira é a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. No Brasil, a produção de etanol envolve etapas como a colheita, a recepção, a moagem da cana, a fermentação e a destilação. A cana é mecanicamente coletada e depois transportada até as usinas, onde passa pelo processo de moagem. O caldo da cana é extraído durante a moagem e fermentado para gerar etanol. A etapa final é a destilação, onde o álcool é purificado e separado, resultando em vinhaça como subproduto (PETROBRAS, 2016).

Neste contexto, a vinhaça, muitas vezes conhecida como vinhoto, surge como um resíduo gerado durante a destilação do álcool. Este subproduto por muito tempo foi considerado um problema de descarte, mas agora é amplamente utilizado na fertirrigação da cana-de-açúcar, tornando-se uma fonte valiosa de nutrientes para os canaviais. Este subproduto é rico em nutrientes, principalmente potássio e enxofre. Além disso, estudos examinam como reutilizar a vinhaça para gerar outros produtos químicos, como ácido lático (Campos, 2004), e biocombustíveis, como o hidrogênio verde. Essas mudanças têm a capacidade de apoiar a durabilidade do setor e o efetivo emprego de recursos (ALBERS, 2007).

A produção de etanol e o reaproveitamento da vinhaça são aspectos fundamentais para a indústria sucroalcooleira do Brasil, tendo consequências significativas em termos ambientais, econômicos e agrícolas. Assim, é crucial pesquisar maneiras de permitir o valor desse resíduo e convertê-lo em recursos úteis para outras operações energéticas e industriais (OLIVEIRA; SOUZA, 2019).

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar no Brasil se destaca pela sua eficiência e sustentabilidade. Além de ser uma fonte de energia renovável, o etanol brasileiro possui um balanço energético positivo, uma vez que a quantidade de energia renovável utilizada em sua produção é menor do que a energia gerada. Isso se deve, em parte, ao clima favorável e às práticas agrícolas avançadas adotadas no cultivo da cana-de-açúcar no país. Esse cenário contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promove a sustentabilidade ambiental e econômica do setor (FERREIRA, 2024).

Desta maneira, o objetivo deste trabalho é realizar uma breve revisão bibliográfica sobre o processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no

Brasil, com foco na investigação do reaproveitamento da vinhaça, resíduo da etapa de destilação do etanol, avaliando seus impactos ambientais e econômicos.

## **2. PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL**

O Brasil teve um aumento na produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24, impulsionada principalmente pelo setor de biocombustíveis. A estimativa de produção é de 637,1 milhões de toneladas, um aumento de 4,4% em relação à safra anterior. A produção total de 27,53 bilhões de litros de etanol da cana teve um aumento de 0,6%. Deste total, 21,32 bilhões de litros são de etanol hidratado, que é usado diretamente nos veículos, e 14,29 bilhões de litros são de etanol anidro, que é misturado à gasolina. Além disso, as exportações de produtos derivados da cana na safra de 2023/24 parecem ter boas perspectivas no mercado internacional (CONAB, 2024).

O etanol anidro, que compõe 14,29 bilhões de litros da produção total, é essencial para a mistura com a gasolina, visando aumentar a octanagem do combustível e reduzir as emissões de gases poluentes. No Brasil, é obrigatória a adição de etanol anidro à gasolina na proporção de 27%, o que não só ajuda a diminuir a dependência de combustíveis fósseis, mas também promove um uso mais limpo e eficiente dos recursos energéticos disponíveis (ATVOS, 2023).

Por outro lado, o etanol hidratado, com 21,32 bilhões de litros produzidos, é diretamente utilizado como combustível nos veículos. Esse tipo de etanol é menos processado que o anidro e contém uma pequena quantidade de água. Ele é amplamente utilizado em carros flex-fuel no Brasil, que são capazes de rodar tanto com etanol quanto com gasolina, permitindo aos motoristas escolherem o combustível mais econômico ou disponível. Esse uso massivo do etanol hidratado é um dos pilares que sustentam a liderança do Brasil na produção e uso de biocombustíveis (G1, 2021).

## **3. ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ETANOL**

### **3.1. Colheita**

A colheita da cana-de-açúcar pode ser feita manualmente ou com o auxílio de máquinas colhedoras. Essas máquinas cortam a cana próxima ao solo e a depositam em esteiras transportadoras. Os caminhões transportam a cana colhida até a usina, onde o processamento terá continuidade (ABNT, 2013a).

### 3.2. Recepção:

Os principais tipos de descarregamento de cana-de-açúcar são variados e atendem a diferentes necessidades operacionais. O descarregamento com rede utiliza caixas de tela de metal sobre semi-reboques, onde a cana é instalada. Um guindaste desengata a extremidade fixa da rede e despeja a cana sobre a mesa alimentadora (IANNONI; MORABITO, 2014).

O descarregamento com garras envolve um dispositivo com dentes e acionamento hidráulico, que descarrega a cana em pátios de estoque ou mesas alimentadoras. Este método é eficiente para manusear grandes volumes de cana rapidamente. A descarga lateral é realizada por veículos com mecanismos que permitem a descarga lateral da cana nas mesas ou no pátio, facilitando a distribuição em diferentes áreas de processamento (SILVA; ALVES, 2013).

O descarregamento em pátio permite que a cana seja armazenada rapidamente antes de ser processada, funcionando como um pulmão de produção para garantir um fluxo constante de matéria-prima. A sincronização das etapas de transporte da cana do campo até o descarregamento na usina é fundamental para o máximo rendimento e economia das máquinas envolvidas (MEDEIROS; FERNANDES, 2009).

Na usina, o processo de recepção da cana-de-açúcar começa com a pesagem dos veículos carregados. Nessa etapa, são retiradas amostras da matéria-prima para analisar o caldo por meio das análises de POL (sacarose) e BRIX (sólidos solúveis). Essas análises são fundamentais: a análise de POL permite medir o teor de sacarose, essencial para avaliar o rendimento do açúcar, enquanto a análise de BRIX mede o total de sólidos solúveis, incluindo açúcares, o que é crucial para a qualidade do caldo. Após o descarregamento, o veículo retorna à balança para obter o peso da cana. Dependendo do tipo de caminhão e da cana, os veículos vão para diferentes pontos de descarga na usina, onde há várias maneiras de descarregar a cana nas mesas alimentadoras. (CONAB, 2014).

Após o descarregamento, a cana, colhida manualmente, passa por uma lavagem para remover impurezas como terra e palha. A cana-de-açúcar colhida mecanicamente não pode ser lavada, é misturada a cana lavada na esteira (ABNT, 2013b).

É crucial ter uma recepção eficiente da cana-de-açúcar para aumentar a produção de etanol e reduzir os desperdícios. A quantidade de etanol extraída e a moagem eficaz são diretamente impactadas pela qualidade da cana recebida. Um controle rigoroso na recepção contribui para encontrar e resolver problemas na cadeia de produção, garantindo um produto final de alta qualidade. Esses esforços mostram a relevância da cana-de-açúcar para a produção de etanol e outros subprodutos, além de sua importância contínua na economia brasileira (IBGE, 2024).

### 3.3. Moagem e tratamento do caldo:

O processo de moagem da cana-de-açúcar começa com a passagem da cana desfibrada por ternos de moenda, que são conjuntos de três rolos aplicando pressão para extrair o caldo. O número de ternos varia de quatro a sete, conforme a capacidade da usina. A embebição, que adiciona água ao bagaço, aumenta a eficiência da extração. O caldo extraído segue para as etapas de clarificação e fermentação ou cristalização, dependendo do produto final desejado. O bagaço restante, após a extração do caldo, é utilizado como combustível nas caldeiras da usina, contribuindo para a geração de energia e tornando a produção mais sustentável (Costa, 2022).

Cada terno de moenda é composto por três rolos principais: o rolo de entrada, o rolo superior e o rolo de saída. O rolo de entrada inicia a compressão da cana desfibrada, o rolo superior aplica a maior pressão para extrair a maior parte do caldo, e o rolo de saída completa a extração, direcionando o bagaço para o próximo terno. A moagem é um processo físico onde a cana passa entre os rolos, que aplicam uma pressão mecânica para separar o caldo do bagaço. O caldo extraído contém açúcares e outros componentes solúveis, enquanto o bagaço, que é a fibra restante, pode ser utilizado como combustível nas caldeiras da usina (Ferreira, 2019).

Além dos rolos principais, os ternos de moenda possuem componentes auxiliares que melhoram a eficiência do processo. Pentes mantêm os frisos dos rolos limpos, evitando o acúmulo de bagaço, enquanto a bagaceira facilita a condução do bagaço entre os ternos. Sistemas de alimentação melhoram a capacidade e a eficiência da moenda, garantindo uma alimentação uniforme da

cana. A eficiência do processo de moagem é crucial para a produção de açúcar e etanol, garantindo maior rendimento e qualidade dos produtos finais. Além disso, o bagaço resultante pode ser utilizado como fonte de energia, tornando o processo mais sustentável (SILVA, 2020).

#### 3.4. Extração do caldo por moenda:

Um alimentador vertical chamado *Chutt-Donell* leva a cana muito picada e desfibrada para as moendas. Um terno de moenda é um conjunto de rolos de moenda montados em um castelo. O processo de moagem usa quatro a seis ternos, cada um dos quais é composto por três cilindros principais: cilindro de entrada, cilindro superior e cilindro de saída (MAPA, 2021).

As moendas geralmente têm um quarto rolo chamado rolo de pressão, que aumenta a eficiência de alimentação. Um sistema hidráulico atua no rolo superior e transmite a carga que atua na camada de bagaço. Ao preparar a cana, a capacidade de moagem aumenta. Para manter o fluxo de alimentação constante da moenda, é necessário instalar um rolo de pressão (JANK, 2015).

A cana desfibrada chega à primeira moenda, onde recebe a primeira compressão entre o cilindro anterior e superior e uma segunda compressão entre o cilindro posterior e o superior. Tem-se, pois, um caldo conhecido como primário. O bagaço resultante segue pela esteira intermediária para o segundo terno de moagem, recebendo novamente duas pressões, como mencionado anteriormente. Os esmagamentos se sucedem para os ternos seguintes. O bagaço final sai com umidade em torno de 50% e segue para as caldeiras onde se produz vapor, que será consumido em todo o processamento e no acionamento das próprias moendas (AQUARONE, 2001).

O caldo é aquecido, acelerando as reações químicas e esterilizando o líquido, o que reduz a contaminação microbiana. Após o aquecimento, o caldo passa por decantadores, onde as impurezas se sedimentam e são eliminadas, o que produz um líquido limpo e claro. O caldo é concentrado e refrigerado para ser enviado a fermentação. O teor de sacarose é aumentado por este processo de concentração, enquanto o resfriamento prepara o caldo para ação das leveduras (EMBRAPA, 2023).

Para evitar impurezas que possam afetar a fermentação e a qualidade do etanol produzido, é crucial tratar o caldo. Terra e bagacilho, essas impurezas podem reduzir a eficiência do processo e causar problemas durante a fermentação, como a formação de espuma e a contaminação microbiana. Além disso, um caldo bem administrado retém nutrientes essenciais para o metabolismo das leveduras, garantindo um processo de fermentação mais produtivo e eficiente. A quantidade e qualidade do etanol produzido são diretamente impactadas pela qualidade do caldo, sendo o tratamento uma etapa crucial na produção de etanol (IFSP, 2008).

### 3.5. Fermentação:

Uma das etapas mais importantes da produção de etanol é a fermentação da cana-de-açúcar. Após a extração do caldo da cana, ele é transferido para as domas de fermentação onde são adicionadas leveduras, como *Saccharomyces Cerevisiae*. Essas leveduras transformam a glicose, um dos açúcares do caldo, em etanol e dióxido de carbono. A reação química simplificada que resulta dessa mudança é:



Durante a fermentação, a temperatura e o pH são cuidadosamente controlados para otimizar a atividade das leveduras e maximizar a produção de etanol. O processo dura, em média, 6 horas, dependendo das condições específicas e da eficiência desejada. Após a fermentação, o etanol é separado do restante do material fermentado através de destilação, resultando em um produto que pode ser utilizado como biocombustível ou em outras aplicações industriais.

#### 3.5.1. Principais tipos de fermentação:

- FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA: Realizado principalmente por leveduras, como *Saccharomyces Cerevisiae*, que produzem dióxido de carbono e etanol de açúcares. Esse tipo de fermentação é usado para fazer pão e bebidas alcoólicas, como vinho e cerveja.
- FERMENTAÇÃO LÁCTICA: É causada por bactérias, como *Lactobacillus*, que produzem ácido láctico a partir de açúcares. Alimentos como iogurte, queijo, chucrute e pickles são feitos com esse tipo de fermentação.

A fermentação tem várias vantagens, como a preservação de alimentos, a melhoria do sabor e da textura, e a produção de compostos benéficos para a saúde, como probióticos.

A fermentação termina após algumas horas, produzindo um líquido com teor alcoólico entre 7% e 10%. Essa mistura é centrifugada para separar a levedura e, em seguida, passa pela destilação.

### 3.6 Destilação:

Após a fermentação, o processo de destilação do caldo da cana-de-açúcar é uma etapa crítica na produção de etanol. O caldo fermentado, que agora é conhecido como mosto, é inicialmente aquecido em um destilador. O etanol, que tem um ponto de ebulição mais baixo que a água, é o primeiro a evaporar durante o aquecimento. O vapor de etanol é então transferido para uma coluna de destilação, onde passa por vários pratos ou bandejas para purificar o vapor, removendo impurezas e aumentando a concentração de etanol (JANK; NAPPO, 2015).

O vapor de etanol se torna mais puro à medida que sobe pela coluna de destilação. O vapor no topo da coluna é condensado em um condensador, onde novamente se transforma em líquido. Este líquido, que agora tem uma alta concentração de etanol, é obtido por meio de destilação. O resíduo líquido que fica na base da coluna, que consiste principalmente em impurezas como água, é descartado ou tratado para outras aplicações (FERREIRA, 2019).

Para aumentar ainda mais a pureza do etanol, o destilado produzido pode passar por uma segunda destilação chamada retificação. A retificação é um processo semelhante à destilação inicial, mas com o objetivo de eliminar as impurezas finais e atingir uma concentração de etanol próxima de 96%. Após isso, esse etanol de alta pureza pode ser usado como biocombustível ou em várias aplicações industriais (CIPRIANO, 2022).

## **4. REUTILIZAÇÃO DA VINHAÇA**

A vinhaça, um subproduto gerado durante o processo de destilação na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, tem se mostrado uma solução ambientalmente benéfica para diversos problemas agrícolas e ambientais. Este subproduto, que antes era considerado um resíduo, agora é valorizado por suas múltiplas aplicações sustentáveis (MARQUES, 2010).

### 4.1. Composição da vinhaça:

A vinhaça é composta por aproximadamente 10% de matéria orgânica e sais minerais, e 90% de água. Entre os nutrientes vitais presentes, destacam-se:

- **Nitrogênio (N):** Essencial para o crescimento das plantas, promovendo a formação de proteínas e clorofila.
- **Fósforo (P):** Importante para o desenvolvimento das raízes e a floração.
- **Potássio (K):** Fundamental para a resistência das plantas a doenças e para a regulação da abertura e fechamento dos estômatos.
- **Enxofre (S):** Necessário para a síntese de aminoácidos e proteínas.
- **Magnésio (Mg):** Componente central da molécula de clorofila, essencial para a fotossíntese.
- **Cálcio (Ca):** Importante para a estrutura celular e a integridade das paredes celulares. Além desses nutrientes, a vinhaça contém ácidos orgânicos como ácido acético e ácido succínico, glicerina e álcool, que também contribuem para a fertilidade do solo (MULTITÉCNICA, 2019).

#### 4.2. Aplicações da vinhaça:

##### 4.2.1. Uso como Fertilizante Agrícola:

A vinhaça é amplamente utilizada como fertilizante devido à sua alta concentração de nutrientes. Quando aplicada ao solo, ela aumenta a produtividade e a fertilidade das culturas, eliminando a necessidade de fertilizantes químicos. Isso contribui significativamente para uma agricultura mais sustentável, reduzindo o impacto ambiental associado ao uso de produtos químicos sintéticos. Estudos mostram que a aplicação de vinhaça pode melhorar a estrutura do solo, aumentar a retenção de água e promover a atividade microbiana, resultando em solos mais saudáveis e produtivos (ÚNICA, 2022).

##### 4.2.2. Produção de Biogás:

A digestão anaeróbia da vinhaça, um processo que ocorre na ausência de oxigênio, resulta na decomposição da matéria orgânica e na produção de biogás, composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este biogás pode ser utilizado para gerar eletricidade ou como combustível para veículos, oferecendo uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. Além disso, a produção de biogás ajuda a diminuir as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. O resíduo sólido resultante do processo de digestão anaeróbia, conhecido como digestato, também pode ser utilizado como fertilizante, fechando o ciclo de reaproveitamento de nutrientes (COSTA, 2020).

##### 4.2.3. Produção de Hidrogênio Verde:

A vinhaça também pode ser utilizada na produção de hidrogênio verde, um combustível limpo e renovável. Através de processos tecnológicos avançados, como a eletrólise, o hidrogênio pode ser extraído da vinhaça. Este processo envolve a separação das moléculas de água ( $H_2O$ ) em hidrogênio ( $H_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ) utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis. Esta aplicação é especialmente relevante no contexto atual, onde há uma busca crescente por soluções energéticas que combatam as mudanças climáticas e promovam a sustentabilidade. O hidrogênio verde pode ser utilizado em células de combustível para gerar eletricidade, em processos industriais ou como combustível para veículos, ampliando a gama de fontes de energia renovável (SOBRATEMA, 2023).

#### 4.2.4. Fertirrigação:

A fertirrigação é uma técnica que combina a irrigação com a fertilização, utilizando a vinhaça diluída na água de irrigação. Este método fornece nutrientes vitais de forma eficiente às plantas, otimizando o uso de água e nutrientes. A fertirrigação com vinhaça promove uma agricultura mais sustentável e cria um ciclo virtuoso de reaproveitamento de recursos. Além disso, a aplicação de vinhaça através da fertirrigação pode melhorar a eficiência do uso da água, reduzir a lixiviação de nutrientes e aumentar a produtividade das culturas (ALMEIDA, 2019).

#### 4.2.5. Extração de nitrogênio:

O nitrogênio presente na vinhaça pode ser extraído através de processos de separação química e utilizado na fabricação de fertilizantes nitrogenados. Esses fertilizantes são essenciais para o crescimento das plantas, promovendo um desenvolvimento mais forte e saudável das culturas. A extração de nitrogênio da vinhaça pode ser realizada através de processos como a destilação, a precipitação química ou a troca iônica, resultando em produtos de alta pureza que podem ser utilizados em diversas aplicações agrícolas (SILVA, 2020).

## 5. CONCLUSÃO

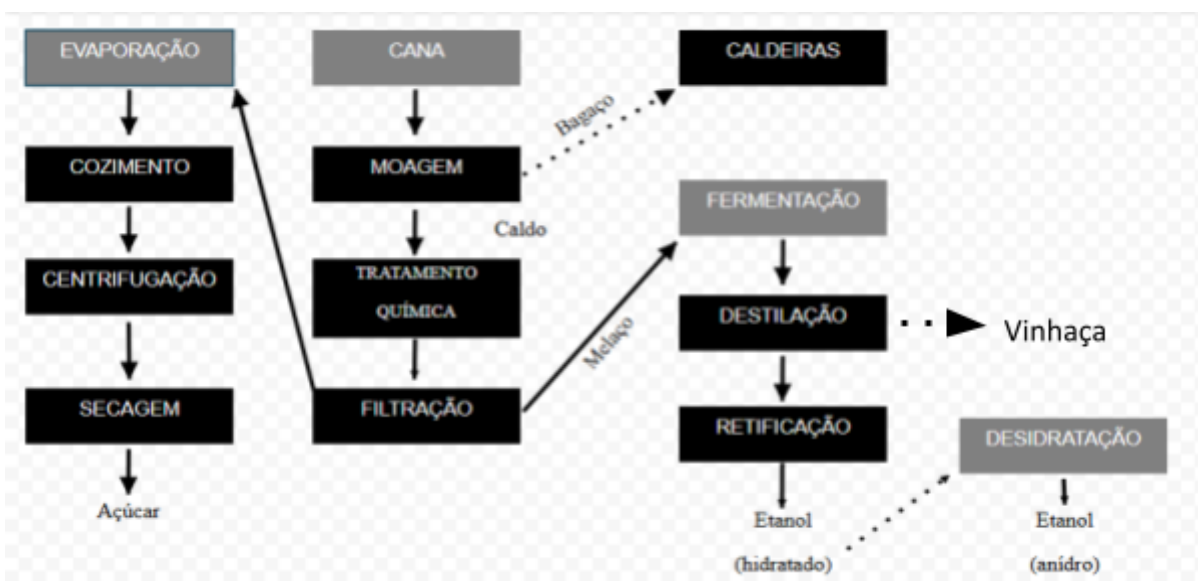
Um dos componentes essenciais da matriz energética do Brasil é a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. A cana passa por várias etapas durante o processo de produção, como colheita, recepção, moagem, fermentação e destilação. Um subproduto produzido na etapa de destilação é a vinhaça, que é rica em enxofre e potássio. A vinhaça, que antes era vista como um problema de descarte, é agora comumente reutilizada, principalmente durante a fertirrigação, fornecendo nutrientes importantes para os canaviais.

A vinhaça tem sido utilizada não apenas para fertirrigação, mas também para a produção de outros produtos químicos, como ácido lático, e biocombustíveis, como hidrogênio verde. Essas aplicações não apenas diminuem os efeitos no meio ambiente, mas também ajudam a tornar o setor sucroalcooleiro mais sustentável. A reutilização da vinhaça ajuda o setor a ser mais sustentável e a usar melhor os recursos disponíveis.

Sendo assim, a vinhaça, que antes era considerada um resíduo preocupante, agora é essencial para a preservação da produção de etanol no Brasil. Sua ampla gama de usos, que vão da fertirrigação à fabricação de biocombustíveis, mostra que tem o potencial de contribuir para a durabilidade do setor e encorajar práticas agrícolas mais sustentáveis. A pesquisa e inovação contínuas são essenciais para maximizar os benefícios da reutilização da vinhaça e minimizar seus impactos ambientais.

Os processos de produção podem ser observados no fluxograma abaixo:

Figura 1: Fluxograma dos processos de produção do etanol.



Fonte: Própria autora, desenho Word.

## REFERÊNCIAS

- AEAARP. (2021). Painel - Vinhaça é fertilizante e energia no campo. Disponível em: <https://aeaarp.org.br/painel-vinhaca-e-fertilizante-e-energia-no-campo/>. Acesso em: 23 ago. 2024.
- ALCARDE, A. R. Processamento da cana-de-açúcar. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007.
- AQUARONE, E.; SATO, S. Controle de contaminações microbianas em processos fermentativos. In: LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHIMIDL, W. (Coord.). Processos fermentativos e enzimáticos. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. Cap. 25, p. 583-593. (Biotecnologia industrial, v. 3).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDUSTRIAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR. Tecnologia e automação na indústria sucroalcooleira. São Paulo: ABIC, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16223:2013 - Cana-de-açúcar - Determinação do brix refratométrico do caldo. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16271:2014 - Cana-de-açúcar - Determinação da qualidade. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 4254-7 - Máquinas agrícolas - Segurança - Parte 7: Colhedoras de grãos, colhedoras de forragem, colhedoras de algodão e colhedoras de cana-de-açúcar. Rio de Janeiro, 2013.
- ATVOS. Etanol Anidro. Disponível em: <https://atvos.com/produtos/etanol-anidro/>. Acesso em: 30 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de produção de etanol. Brasília: MAPA, 2021.
- BRASIL ESCOLA. Produção de Etanol. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/producao-etanol.htm>. Acesso em: 07 ago. 2024.
- CAMPOS, A. Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, 2004.
- CIPRIANO, E. et al. 2022. Production of Anhydrous Ethyl Alcohol from the Hydrolysis and Alcoholic Fermentation of Corn Starch. *Cognitive Sustainability*, 1(4).
- CONAB. (2024). Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 é a maior da série histórica. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- COSTA, L. M.; PEREIRA, L. M.; RIBEIRO, R. S. Biogás produzido a partir da vinhaça: uma alternativa energética sustentável. *Revista Brasileira de Energia*, v. 12, n. 2, p. 112-120, 2020.

COSTA, M. Fermentação e destilação na produção de biocombustíveis. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2022.

EMBRAPA. (2023). Tratamento do caldo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/tratamento-do-caldo>. Acesso em: 29 jul. 2024.

FERREIRA, A. Destilação na produção de etanol: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Editora Ciência, 2019.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíba: Agropecuária, 2000.

G1. Entenda as diferenças entre etanol hidratado e anidro. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/nosso-campo/noticia/2021/06/20/entenda-as-diferencas-entre-etanol-hidratado-e-anidro.ghtml>. Acesso em: 29 out. 2024.

IFSP. (2008). CANA-DE-AÇÚCAR: A PRODUÇÃO DE ETANOL E SEUS BENEFÍCIOS. Disponível em: <https://brt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/IFMAN170005%20CANA%20DE%20ACAR%20A%20PRODUO%20DE%20ETANOL%20E%20SEUS%20BENEFICIOS.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. Engenharia Agrícola, v. 34, n. 1, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/7YVmkzQ6h84hHw6rmNggTMM/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

JANK, M. S.; NAPPO, M. A. A cana-de-açúcar e o etanol: uma história de sucesso. São Paulo: Editora Unesp, 2015.

LIMA, J. A. Processos de clarificação do caldo de cana-de-açúcar. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-16012013-143923/publico/2012LimaProcesso.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2024.

MARQUES, G. M. Vinhaça: o futuro da fertilização. Pró-Reitoria de Pesquisa - Sites/USP, 2010. Disponível em: <https://sites.usp.br/prp/2010>. Acesso em: 24 set. 2024.

MEDEIROS, A. F.; FERNANDES, H. C. Análise da eficiência operacional de um sistema de colheita e transporte de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 6, p. 709-715, 2009.

MULTITÉCNICA. (2019). Vinhaça é fonte sustentável de nutrientes para o solo. Disponível em: <https://multitecnica.com.br/vinhaca-e-fonte-sustentavel-de-nutrientes-para-o-solo/>. Acesso em: 24 set. 2024.

OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, R. F. Vinhaça: gestão e reaproveitamento na indústria sucroalcooleira. Rio de Janeiro: Editora Verde, 2019.

PETROBRAS. (2016). Etanol: informações sobre a produção e características. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br>. Acesso em: 19 jul. 2024.

ROSSETTO, R. et al. Vinhaça de cana-de-açúcar: Quanto mais se conhece este subproduto, mais se percebe o seu valor. *Revista Idea News*, v. 8, n. 92, p. 94-100, 2008.

SILVA, A. L. F.; ALVES, J. R. X. Logística de transporte da cana-de-açúcar: desafios e soluções. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 6, p. 679-685, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Ks6sBjZDmzLLjTVhRQVCXLm/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

SILVA, J. Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: processos e tecnologias. São Paulo: Editora da Universidade, 2020.

SILVA, M. A. S. et al. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, R. A.; CUNHA, T. J.; MORAES, A. M. Aplicações do nitrogênio extraído da vinhaça em fertilizantes: impactos na produtividade agrícola. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 13, n. 1, p. 45-55, 2020.

SOBRATEMA. Vinhaça pode ser usada como substrato para produção sustentável de hidrogênio. 2023. Disponível em: <https://sobratema.org.br/Blog/Exibir/490158>. Acesso em: 25 set. 2024.

TORRES, C. M. C.; RODRIGUES, A. E. C.; PEREIRA, L. C. Tecnologias para uso da vinhaça no biogás. *Revista Brasileira de Bioenergia*, v. 7, n. 3, p. 214-225, 2021.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (Única). Safra 2023/2024 termina como a maior da história. São Paulo: Unica, 2024. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDUSTRIAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR. Tecnologia e automação na indústria sucroalcooleira. São Paulo: ABIC, 2022.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Produção de etanol e sustentabilidade: práticas para o futuro. São Paulo: USP Press, 2023.

WILKINSON, J.; DORAN, J. Cana-de-açúcar e biocombustíveis: uma abordagem sustentável. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2018.

ZARDO, L. A energia da cana-de-açúcar. Curitiba: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2022.