



---

**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)**

**MARLANE DOS ANJOS SILVA**

**PROCESSO DE TRATAMENTO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E  
ETANOL**

Jaboticabal S.P 2024

---

[www.fatecjaboticabal.edu.br](http://www.fatecjaboticabal.edu.br)

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



---

**Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani**  
Trabalho de Graduação

**MARLANE DOS ANJOS SILVA**

## **PROCESSO DO TRATAMENTO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL**

Trabalho de graduação (TG), apresentado ao curso de Biocombustíveis da faculdade Nilo de Stéfani de Jaboticabal - Sp (Fatec-JB) como requisito para obtenção do título de **Tecnólogo em Biocombustível**.

Orientador (a) prof.<sup>a</sup> **Me. Rita de Cássia Vieira**

Jaboticabal S.P 2024

---

[www.fatecjaboticabal.edu.br](http://www.fatecjaboticabal.edu.br)

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

Silva, Marlane.

Processo de tratamento de Caldo para fabricação de Açúcar/ Marlane dos anjos silva. — Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, 2024.

39p.

Orientador: Profa. Me. Rita de Cássia Vieira

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani - Jaboticabal, 2024.

1. Palavra-Chave. 2. Palavra-Chave. 3 Palavra-Chave. I. Vieira, C. R.

**MARLANE DOS ANJOS SILVA**

**PROCESSO DE TRATAMENTO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E  
ETANOL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Biocombustíveis como requisito à obtenção do título de Tecnólogo em biocombustíveis pela seguinte banca examinadora.

Aprovado em: / /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Profa. Me. Rita de Cássia Vieira Presidente e Orientador:**  
Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

---

**Prof. Dr. Claudenir Facincani Franco**  
Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

---

**Prof. Dr. Nádia Figueiredo de Paula**  
Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Jaboticabal, S.P.  
2024

Dedico este trabalho especialmente a minha avó Edite Maria – “In memória”, que não poderá presenciar este momento tão especial da minha vida, foi uma das referências fundamentais em meu crescimento pessoal e profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar por toda força e ajuda e por me encaminhar em todas as decisões da minha vida.

Agradeço ao meu companheiro Adolpho e minha família, pelo apoio em todas as minhas decisões, por sempre encorajar-me a buscar minha tão sonhada qualificação, e por compreenderem a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmão pela rede de apoio formada em torno da minha família, e pelo incentivo.

E em especial a minha orientadora e professora Rita de Cassia Viera que com paciência e muito carinho me auxiliou na elaboração deste trabalho.

Agradeço a instituição de ensino Fatec de Jaboticabal (Nilo de Stéfani) que foi a responsável para minha tão sonhada formação, e por todos que nela trabalham pela dedicação e comprometimento.

Meus sinceros agradecimentos a todos que colaboraram até esse esperado momento.

Aos meus amigos de escola e trabalho que sempre me ajudaram.

## **RESUMO**

O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar e também ocupa o primeiro lugar como produtor de açúcar proveniente dessa cultura. Nesse contexto, o setor sucroenergético busca constantemente inovações para desenvolver produtos finais de alta qualidade, capazes de competir tanto no mercado nacional quanto internacional. Este trabalho descreve o processo de tratamento do caldo para a produção de açúcar de qualidade no setor sucroenergético. Utilizando uma revisão bibliográfica, exploramos o tema 'Processo de tratamento de caldo para fabricação de açúcar e etanol', com base em referências já publicadas e avaliação de artigos científicos. Observa-se que o setor sucroenergético emprega tecnologias avançadas para obter açúcar com coloração superior. Além disso, novas pesquisas estão focadas na utilização de biopolímeros no tratamento do caldo, representando uma proposta inovadora para o futuro desse setor.

**Palavra-chave:** Biocombustíveis. Clarificação. Etanol. Sulfitação. Leite de cal.

## **ABSTRACT**

Brazil is a global leader in sugarcane production and holds the top position as a sugar producer from this crop. In this context, the sugarcane and ethanol sector continually seeks innovations to develop high-quality end products that can compete both domestically and internationally. This work describes the process of treating sugarcane juice (known as 'caldo') to produce high-quality sugar within the sugarcane and ethanol industry. Through a literature review, we explore the topic of 'Caldo Treatment Process for Sugar and Ethanol Production,' drawing from existing references and scientific articles. Notably, the sugarcane and ethanol sector employs advanced technologies to achieve superior sugar color. Additionally, ongoing research focuses on using biopolymers in caldo treatment, representing an innovative proposal for the industry's future.

**Keywords:** Biofuels. Clarification. Ethanol. Sulfitation. Lime milk.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<b>Distribuição Usinas Sucroalcooleiras No Brasil.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2</b>	<b>Canavial.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3</b>	<b>Moenda e o Sistema de Embebição.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Moenda e o Sistema de Embebição.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Processo de Fabricação de Açúcar.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6</b>	<b>Fluxograma Fabricação de Açúcar e Álcool .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7</b>	<b>Tanque de Caldo Misto .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8</b>	<b>Aquecedores de Caldo.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9</b>	<b>Sistema de Forno e Coluna de Sulfitação.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 10</b>	<b>Tanque de Preparo e Tanque de Leite de Cal.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 11</b>	<b>Decantador de Bandejas.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 12</b>	<b>Decantador SRI.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 13</b>	<b>Filtro Rotativo.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14</b>	<b>Filtro Prensa.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 15</b>	<b>Filtro de Caldo Clarificado.....</b>	<b>37</b>

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CANA DE AÇÚCAR .....</b>	<b>18</b>
<b>3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ETANOL.....</b>	<b>19</b>
<b>4. OS BIOCOMBUSTÍVEIS .....</b>	<b>20</b>
<b>5. EMPRESAS DESENVOLVEDORAS DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. Amyris Biotechnologies:.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Raízen:.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3. GranBio.....</b>	<b>23</b>
<b>6. PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR.....</b>	<b>23</b>
<b>7. TRATAMENTO DE CALDO .....</b>	<b>26</b>
<b>8. PRÉ-AQUECIMENTO E AQUECIMENTO .....</b>	<b>29</b>
<b>9. SULFITAÇÃO E CLARIFICAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>10. CALEAGEM E FOSFATAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>11. DECANTAÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>12. FILTRAÇÃO DO LODO .....</b>	<b>35</b>
<b>13. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>14. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Na última década, a substituição dos combustíveis fósseis por fontes alternativas e renováveis, conhecidas como biocombustíveis, tornou-se uma prioridade global. Nesse cenário, o Brasil se destaca na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. O etanol de segunda geração, que utiliza não apenas a cana, mas também seus subprodutos como palha e bagaço, possibilitou um aumento significativo na produção e exportação desse biocombustível.

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o Brasil é um grande produtor de etanol desde 1975, impulsionado pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool) (Decreto nº 76.593). Além disso, o país começou a produzir biodiesel em 2004 (IPEA, 2010).

O Brasil possui um histórico relevante na busca pelo desenvolvimento de energias renováveis. O Proálcool enfrentou desafios em alguns momentos devido à falta de incentivos, mas atualmente, com a urgência de reduzir a poluição global (reconhecida em acordos internacionais como o Protocolo de Kyoto em 2005) e o aumento dos preços do petróleo, as fontes renováveis, como o etanol de cana-de-açúcar, colocam o Brasil em destaque mundial.

O mandato brasileiro para biocombustíveis, conforme estabelecido no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, tem o potencial de reduzir as emissões associadas à queima de combustíveis na economia brasileira em cerca de 2,56% até 2030 (PNE, 2007). A cana-de-açúcar sempre desempenhou um papel crucial na economia brasileira, estando diretamente ligada ao crescimento do país desde os tempos coloniais.

O desenvolvimento agrônomo e industrial relacionado à cana impulsiona o setor sucroalcooleiro brasileiro, considerado um dos mais modernos do mundo. Segundo Frederico Victor Franco, colunista do agrolink, o Brasil é um dos principais produtores de cana-de-açúcar globalmente, com uma área colhida de 8,73 milhões de hectares. O cultivo de cana é predominantemente realizado no estado de São Paulo, responsável por mais de 50% de toda a cana cultivada no país.

O Relatório de Síntese sobre Mudança Climática de 2023, divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em março de 2023, alerta que ainda há tempo para garantir um futuro habitável para todos, desde que medidas climáticas urgentes sejam tomadas. Isso inclui ações imediatas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (NU, 2023).

No entanto, enfrentamos um desafio significativo devido ao forte crescimento do transporte aéreo global nas últimas décadas. Embora tenha sido interrompido em 2020 pela pandemia, o setor está se recuperando desde abril de 2022, conforme relatado pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) em fevereiro de 2023.

O tráfego total, medido em passageiros pagantes por quilômetro (RPKs), aumentou 64,4% em comparação com 2021. Globalmente, o tráfego ao longo de 2022 atingiu 68,5% dos níveis pré-pandemia (2019). Em dezembro de 2022, o tráfego subiu 39,7% em relação a dezembro de 2021 e alcançou 76,9% do nível de dezembro de 2019 (IATA, 2023).

Esse crescimento no transporte aéreo está diretamente ligado à crescente demanda por combustíveis, o que representa um desafio para as companhias aéreas devido aos altos custos. Além disso, é uma preocupação ambiental significativa. De acordo com um relatório apresentado pelas Nações Unidas na COP 24 em 2018, o setor de transporte contribui com um quarto das emissões globais de gases de efeito estufa, correspondendo a 25% das emissões totais de CO<sub>2</sub> no mundo. Essa é a área em que as emissões de carbono mais têm aumentado desde 2000 (NU, 2018).

Além da urgência em reduzir a poluição global, os aumentos contínuos no preço do querosene de aviação nos últimos 10 anos têm impactado significativamente as companhias aéreas, como veremos a seguir.

A Figura 1 ilustra a distribuição das usinas processadoras de cana-de-açúcar no Brasil

Figura 1 - Distribuição Usinas Sucroalcooleiras pelo Brasil.



## 2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CANA DE AÇÚCAR

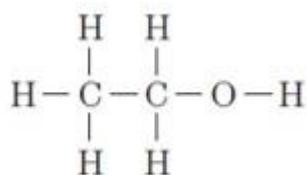
Dependendo do local onde é cultivada a cana-de-açúcar ela pode apresentar variações de acordo com o tipo de clima, solo e adubação. Em termos gerais, estimase que a cana, em seu estágio de maturação, apresenta de 8-18% de fibras e de 86-92% de caldo. Por sua vez, o caldo é constituído basicamente por água (75-82%) e sólidos solúveis/Brix (18-25%).

Dentro dos sólidos solúveis encontram-se 15,5-27% de açúcares, em especial a sacarose (12-18%), glicose (0,2-1%) e frutose (0,0-0,5%); e 1-2,5% de nãoaçúcares, tais como ácidos, aminoácidos, proteínas, ceras, gorduras, corantes, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, etc (DELGADO; CESAR, 1977). Como pode ser visto na Figura 2, o local que se cultiva a cana:

**Figura 2 - Canavial**

### 3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ETANOL

O etanol, também conhecido como álcool etílico ou álcool comum, tem a fórmula molecular  $C_2H_6O$  e a estrutura abaixo.



O etanol é um produto orgânico composto pelo grupo orgânico álcool. Sua massa molar é de 46 g/mol. A temperatura de fusão do etanol é de  $-115\text{ }^\circ\text{C}$ , e a temperatura de ebulição é de  $78,5\text{ }^\circ\text{C}$ . No estado líquido, o etanol é encontrado na natureza no estado líquido. É altamente solúvel em água, além de ser uma das principais substâncias produzidas pelo ser humano.

A equação abaixo ilustra a combustão do etanol.



#### 4. OS BIOCOMBUSTÍVEIS

A principal diferença entre os combustíveis convencionais e os biocombustíveis está na matéria-prima utilizada. Os combustíveis convencionais, como querosene, gasolina, diesel e GNV (Gás Natural Veicular), são derivados do petróleo. Por outro lado, os biocombustíveis têm origem em materiais orgânicos ou renováveis, como plantas, resíduos florestais, óleos vegetais e açúcares. O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é uma das soluções para enfrentar o desafio da produção em larga escala, segundo (Canal bioenergia, 2023).

Segundo Alejandro Ríos Galvan, diretor do Consórcio de Bioenergia Sustentável da Universidade de Khalifa (Abu Dhabi) os SAF (sustainable Aviation fuel) são compostos praticamente de 100% carbono o que resulta em mais potência e eficiência para as aeronaves. Segundo ele, estudos determinaram que os sustentáveis têm até 4% mais energia do que os convencionais, o que significa mais tempo de voo com a mesma quantidade de combustível (CANALBIOENERGIA, 2023)

Inicialmente, para que o SAF (Sustainable Aviation Fuel) possa ser utilizado comercialmente em toda a frota aérea, ele deve ser misturado com o combustível de aviação convencional. A Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), uma organização internacional criada em 1898 e hoje uma das maiores referências em normas e padrões internacionais, permite misturas que variam de 10% a 50% de combustíveis sustentáveis, dependendo do tipo de SAF utilizado (Canal bioenergia, 2023).

O desenvolvimento do etanol da cana-de-açúcar no Brasil se destaca globalmente, superando desafios e tornando-se cada vez mais viável.

Segundo Laís Forti Thomaz, pesquisadora da Rede Brasileira de bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para a Aviação (RBQAV), os SAF têm potencial para diminuir em até 80% as emissões de GEE (Gases de efeito estufa) dos aviões, gases responsáveis pelo aquecimento global,

entretanto hoje, apenas 2% das aeronaves utilizam os SAF (canal bioenergia, 2023).

De acordo com a ATAG (Air Transport Action Group), uma associação sem fins lucrativos altamente respeitada que representa todos os setores da indústria de transporte aéreo, os SAF (Sustainable Aviation Fuels) possuem as mesmas qualidades e características químicas do combustível convencional.

No entanto, eles contêm menos impurezas e apresentam uma densidade energética mais alta. Em geral, o querosene convencional é composto por cerca de 70% de carbono, 25% de lubrificantes ou componentes aromáticos e 5% de partículas contaminantes, como óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio. Por outro lado, os combustíveis sustentáveis não contêm esses elementos em sua composição (ATAG, 2022).

Segundo a ICAO (Organização Internacional da Aviação Civil), a demanda atual de combustível no setor aéreo gira em torno de 390 bilhões de litros por ano. No entanto, a capacidade mundial de produção de SAF é de apenas 14 milhões de litros, o que representa apenas 0,003% da demanda total (CANALBIOENERGIA, 2023).

Outro fator benéfico do álcool é a relação comparativa entre a energia renovável produzida e a energia fóssil utilizada. No Brasil, essa relação é de 8,9 para o etanol de cana-de-açúcar. Para fins de comparação, nos Estados Unidos, o etanol de milho apresenta uma relação entre 1,3 e 1,8; enquanto o etanol de beterraba (produzido na Alemanha) tem uma relação próxima de 2,0. Por outro lado, a produção de gasolina e diesel resulta em eficiência energética negativa (SOUZA e MACEDO, 2010; UNICA, 2011, apud SHIKIDA, PEROSA, 2012, p. 256).

## **5. EMPRESAS DESENVOLVEDORAS DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL**

Irei abordar as principais empresas brasileiras que desenvolvem e produzem biocombustíveis:

### **5.1. Amyris Biotechnologies:**

A Amyris, empresa americana fundada em 2003 na Califórnia, estabeleceu-se no Brasil em 2012, com um laboratório em Brotas, São Paulo.

Seus produtos são cultivados em terras pertencentes e operadas pela Raízen, garantindo a continuidade do fornecimento e economia de matéria-prima. A planta da Amyris está localizada ao lado da usina de açúcar da Raízen em Barra Bonita.

O biocombustível de aviação produzido pela Amyris, derivado da cana-de-açúcar, é conhecido como RJF (Renewable Jet Fuel) e é considerado um dos mais avançados disponíveis atualmente, aprovado pela Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM, 2016).

A empresa fechou parcerias com a Gol e a BR Distribuidora para uso de combustível renovável em rotas de voos e distribuição de bioquerosene de aviação.

No entanto, a Amyris enfrenta incertezas financeiras e diversificou seus negócios para incluir mercados de especialidades e cosméticos, lançando sua marca de produtos de beleza chamada Biossance.

## **5.2. Raízen:**

Ligada ao grupo Cosan, a Raízen é uma das principais produtoras mundiais de biocombustíveis sustentáveis. Produz etanol de primeira e segunda geração derivado da cana-de-açúcar.

Atualmente, possui 35 unidades de produção de açúcar, etanol e bioenergia, além de uma planta de etanol 2G e uma refinaria.

A usina Costa Pinto, localizada em Piracicaba, produz 30,3 milhões de litros de etanol 2G por ano, com planos de expandir para 1 bilhão de litros até 2024.

A Raízen também produziu 2,5 bilhões de litros de etanol de primeira geração na safra 19/20. Em outubro de 2023, a empresa inaugurou a maior usina de etanol 2G do mundo, localizada no parque de bioenergia Bonfim, em Guariba, São Paulo. A Raízen obteve a certificação ISCC Corsia Plus, sendo reconhecida pela Organização Internacional de Aviação Civil e pela Agência Nacional de Aviação Civil (NOVA CANA, 2023). Relatórios indicam receita líquida de R\$ 246 bilhões e Ebitda de R\$ 15,3 bilhões no último ano (RAÍZEN, 2023).

### **5.3. GranBio**

Uma empresa brasileira fundada em 2011 pela família Grandin, é pioneira na produção de etanol de segunda geração (2G) em larga escala no Brasil. Sua capacidade atual é de 30 milhões de litros por ano, exportando 100% da produção para os mercados americano e europeu.

A construção da empresa teve início em 2012, em São Miguel dos Campos, Alagoas, e a produção de etanol 2G começou em 2014. A GranBio planeja expandir sua capacidade para 60 milhões de litros até 2024, com um subsídio de US\$ 80 milhões do governo americano estimado para 2023.

Além disso, a GranBio está acelerando a produção de Sustainable Aviation Fuel (SAF), destinando recursos para a instalação de uma planta com capacidade produtiva de 1,5 milhão de galões de SAF por ano (GRANBIO, 2023). Um dos destaques da GranBio é a produção de cana-energia a partir de 2014 no Brasil. Essa variedade de cana-de-açúcar é geneticamente modificada, resultando em vantagens significativas em relação à cana-de-açúcar convencional. A cana-energia é mais robusta, possui maior teor de fibras e brota mais rapidamente. Além disso, é mais resistente à seca e ao pisoteio, com uma taxa de multiplicação até quatro vezes maior. Utilizando a mesma área plantada, a cana-energia oferece uma produção de etanol 232% maior (NOVACANA, 2014).

## **6. PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR**

Depois da colheita, a cana-de-açúcar é transportada para as unidades industriais, onde passa por um processo de preparo e extração do caldo. O objetivo do preparo da cana é abrir suas fibras, onde os açúcares estão armazenados. Isso é feito reduzindo o tamanho das partículas por meio de facas picadoras e desfibradores. Esse procedimento facilita a extração do caldo pelos equipamentos (ALBUQUERQUE, 2011).

O processo de moagem é um sistema de separação física que utiliza pressão mecânica para separar o caldo (NAZATO et al., 2012). As moendas convencionais consistem em três rolos (ternos) dispostos de forma a formar um triângulo com seus

centros (MARQUES et al., 2001). No entanto, apenas a pressão exercida não retira todo o caldo das fibras. Portanto, é necessário embeber o bagaço (com água ou caldo) para extrair um volume maior de caldo (HAMERSKI, 2009). As Figuras 3 e 4 mostram os conjuntos de ternos que compõem a moenda para a extração do caldo.

**Figura 3 – Moenda e o Sistema de Embebição**



**Fonte: Autoria Própria. (2023)**

Figura 4 – Moenda e o Sistema de Embebição



As Figuras 5 e 6 apresentam um esquema simplificado do processo industrial de fabricação do açúcar

Figura 5 - Processo de Fabricação de Açúcar

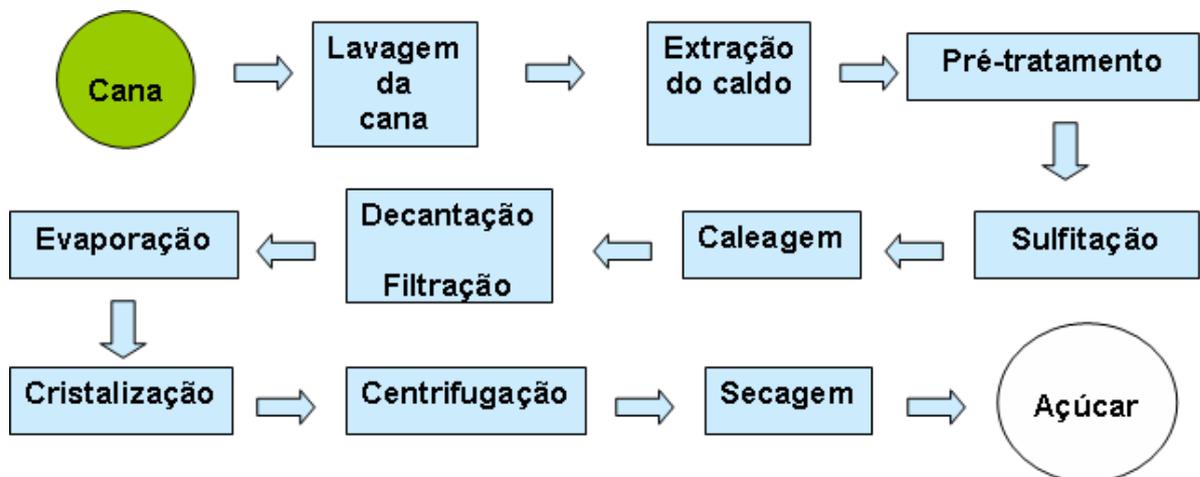
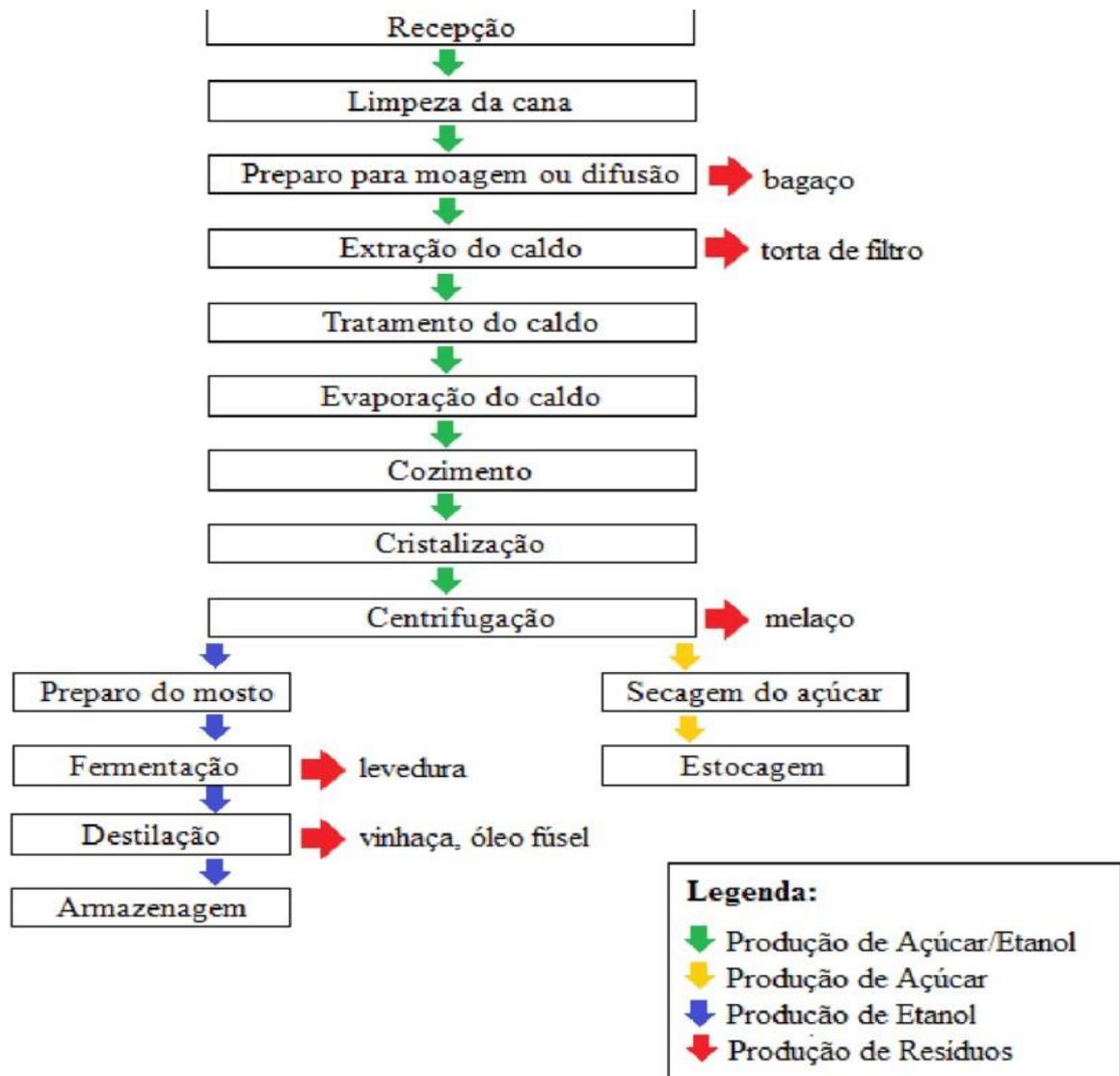


Figura 6 – Fluxograma da Fabricação de Açúcar e Etanol



## 7. TRATAMENTO DE CALDO

O tratamento do caldo é uma etapa crucial na fabricação do açúcar, pois afeta o rendimento das etapas subsequentes, como evaporação, cozimento e cristalização (ALBUQUERQUE, 2011). O objetivo principal é eliminar as impurezas presentes no caldo (FAVERO, 2011). Na produção de açúcar, a purificação do caldo é essencial,

pois influencia diretamente a qualidade do produto final (MARQUES et al., 2008). Esse processo visa remover impurezas dissolvidas e em suspensão, resultando em um caldo claro, brilhante e transparente (ALBUQUERQUE, 2011).

Durante a decantação, ocorre a formação de precipitados insolúveis, adsorção e arraste das impurezas, além da redução da turbidez do caldo (MARQUES et al. 2008). A filtração do caldo é responsável por eliminar impurezas grosseiras, como bagacilho, pedaços de cana, areia e terra. Essa etapa é fundamental para evitar entupimentos em bombas e incrustações nas tubulações (MARQUES et al., 2001).

A qualidade e o tipo de açúcar estão diretamente relacionados ao tratamento químico aplicado ao caldo (ALBUQUERQUE, 2011). Quanto mais rigoroso for o tratamento, menor será a presença de impurezas nos cristais. Na indústria açucareira brasileira, os tratamentos mais comuns são a sulfitação, fosfatação e caleagem.

A sulfitação envolve a adição de dióxido de enxofre ao caldo antes do tratamento com cal e aquecimento, resultando no açúcar cristal branco (FAVERO, 2011). Na Figura 7, pode-se observar o local onde se encontra o caldo misto, que é uma combinação dos caldos obtidos no processo de extração e é enviado para a fabricação de açúcar.

**Figura 7: Tanque de Caldo Misto**



De acordo com Aoki (1987), ao tratar o caldo, é possível obter um caldo clarificado límpido, livre de matérias em suspensão, pH próximo à neutralidade. A coloração adequada ao açúcar que se deseja produzir.

O caldo obtido através da extração é um líquido complexo com elementos.

Em suspensão (impurezas minerais, vegetais, substâncias coloidais e insolúveis) matéria orgânica dissolvida (sacarose, açúcares redutores e sais minerais). O processo de tratamento do caldo misto envolve uma série de etapas, que envolverão movimentos físicos (peneiramento, aquecimento, flasheamento) e com o objetivo de:

Máxima eliminação de não açúcares

Máxima eliminação de colóides

Baixa turbidez

Mínima formação de cor

Máxima taxa de sedimentação

Mínimo volume de lodo

Mínimo volume de cálcio no caldo

pH do caldo adequado (6,8 á 7,2), evitando-se a inversão da sacarose ou a decomposição dos açúcares redutores (AOKI, 1987).

Para demonstrar a qualidade de um caldo clarificado, a Figura 3 apresenta o caldo misto sem tratamento e o caldo já clarificado.

**Figura 8: Recipientes com caldo**



Caldo Misto



Caldo Clarificado

## 8. PRÉ-AQUECIMENTO E AQUECIMENTO

O caldo extraído é peneirado e enviado para o processo de tratamento do caldo. Ele será submetido a um tratamento térmico (aquecimento) na primeira etapa. Isso exige temperaturas de 95 a 105 graus Celsius para evitar a proliferação de bactérias, reduzir a viscosidade do caldo e produzir lodo, que é flocoado em partículas.

A seguir, este resíduo será filtrado, extraindo o caldo nele contido (caldo filtrado) e produzindo a Torta de Filtro. Essa torta é utilizada como adubo na lavoura para ajudar na biofertilização (Machado 2012). Os aquecedores do caldo são mostrados na Figura 8.

**Figura 8: Aquecedores de Caldo**



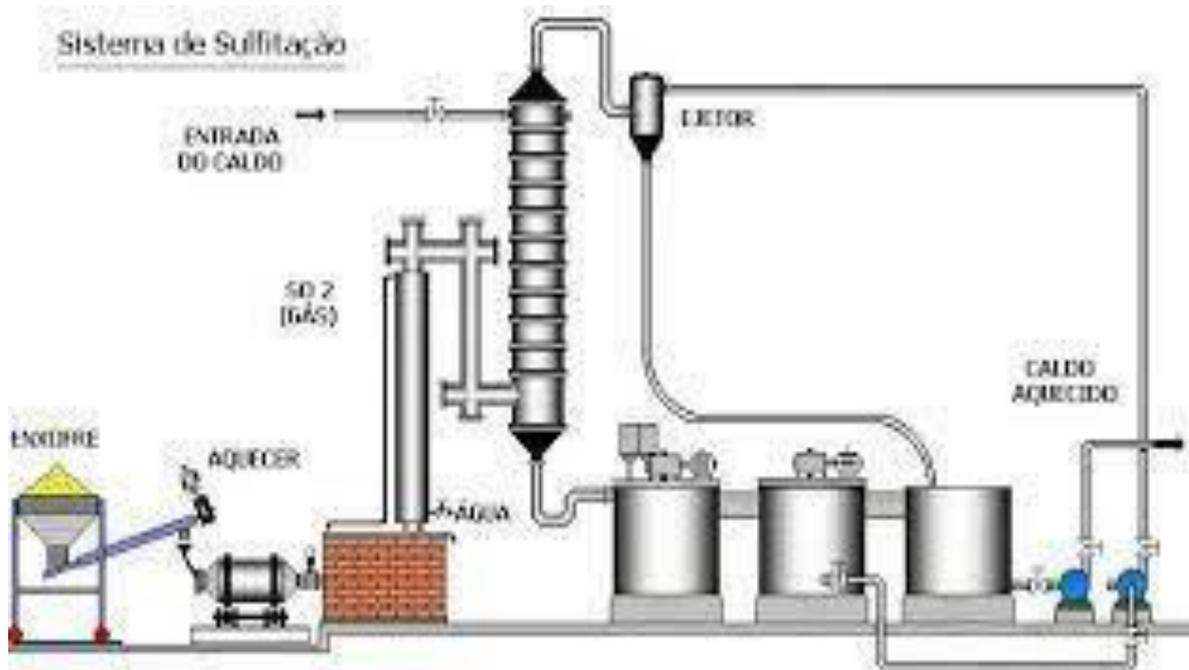
## 9. SULFITAÇÃO E CLARIFICAÇÃO

O uso desse processo de sulfitação serve para eliminar todas as impurezas presentes no caldo de cana-de-açúcar. O objetivo do processo é obter um caldo claro, límpido e brilhante por meio da coagulação máxima dos coloides, eliminando as substâncias corantes do caldo e evitando que o açúcar amareleça (SOUZA, 1988).

Um gás sulfuroso é liberado quando o enxofre é queimado. Esse gás reagirá com os açúcares que reduzem a cor e bloqueará os grupos carbonilos necessários para formar caramelos (ALBUQUERQUE, 2011; LOPES, 2013). O pH do caldo diminuirá como resultado da reação de sulfitação, o que resultará na coagulação e precipitação dos coloides. Para neutralizar os ácidos do caldo, a caleagem, também conhecida como leite de cal, será necessária (ALBUQUERQUE, 2011).

O método, de acordo com (Engenovo, 2018) fazem uso das usinas de enxofre geralmente queimam por meio de fornos rotativos e sulfitados por colunas ou multijatos. A Figura 9 mostra o sistema de sulfitação:

Figura 9: Sistema de forno e coluna de Sulfitação



## 10. CALEAGEM E FOSFATAÇÃO

O óxido de cálcio é produzido em estado sólido, apresentando-se como um pó branco, amorfo, caustico, não tóxico e com baixa dissolução em água. Quando dissolvido em água, ocorre uma reação, produzindo o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) conhecido como leite de cal, que é uma reação alcalina forte (PUIG, 1940)

A caleagem consiste na adição de cal hidratado diluído em água em uma temperatura de  $75^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$ , resultando em leite de cal e obtendo um grau Baumé de  $4^\circ$  a  $5^\circ$ , o suficiente para neutralizar os ácidos orgânicos presentes no caldo. O caldo após sulfitação geralmente apresenta pH entre 3,9 e 4,2 e é comum utilizar de 500 a 800 g de cal por tonelada de cana-de-açúcar, a fim de obter um pH entre 7,0 e 7,5 (HONIG, 1953)

A presença de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e o aumento da temperatura levam à formação de um precipitado flocoso de composição complexa, que contém partículas de fosfato de cálcio, sais de ácidos orgânicos, proteínas desnaturadas (albumina), gorduras,

ceras e gomas. Esse precipitado adsorve e arrasta grande parte do caldo, sendo, posteriormente, retirado na decantação (HUGOT, 1977)

A aplicação do ácido fosfórico na fabricação de açúcar é uma técnica usada para melhorar a clarificação com o leite de cal, para os caldos com baixo teor de  $P_2O_5$  (ALBUQUERQUE, 2014). Isso depende da área em que a cana-de-açúcar foi plantada. Essa técnica faz com que o  $P_2O_5$  forme um precipitado, atuando como floculante, ajudando na formação dos coloides e tornando a Decantação mais eficiente (RIBEIRO, BLUMER, HORII, 1999)

O tanque de cal e o preparo do caldo estão na Figura 10:

**FIGURA 10: Tanque de leite de Cal e Preparo**



Fonte: Autoria própria (2023)

## 11. DECANTAÇÃO

Essa é a etapa do processo na qual serão eliminadas a maior parte das impurezas, como bagacilho, terra e ouro, elementos que podem interferir no processo industrial. Polímeros são uma classe de aditivos que auxilia na decantação. Utilizados para aprimorar a floculação, acelerar a decantação e evitar a formação de lodo, sem afetar o pH. Os polímeros mais usados são poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas.

O preparo da solução e o local de aplicação são fundamentais. Precisa-se usar água de alta qualidade para preparar a solução. Água com grande quantidade de sólidos dissolvidos ou sólidos em suspensão produz uma solução com características inferiores para formação de flocos, prejudicando a floculação (HYGOT, 1977) O uso de polímeros (Biopolímeros) está sendo investigado para substituir o polímero

sintético, e os resultados das pesquisas indicam a possibilidade de utilizar extrato de semente de moringa.

Buscando uma alternativa para o processo produtivo, foi constatado que a semente de “Moringa oliifera Lamarck” é uma das opções, já que é utilizada como floculante no tratamento de água para consumo humano (EGBUIKWEM, SANGODOYIN, 2013). Nas Figuras 11 e 12, é possível notar o polímero usado para decantar as impurezas.

Os agentes coagulantes, em geral, são sais de cátions trivalentes ( $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ), que possuem um poder complexante muitas vezes maior que o de cátions bi e monovalentes. Os flocos resultantes apresentam uma ampla área de absorção de colóides e materiais em suspensão (KOBLOITZ e PRATI, 2005)

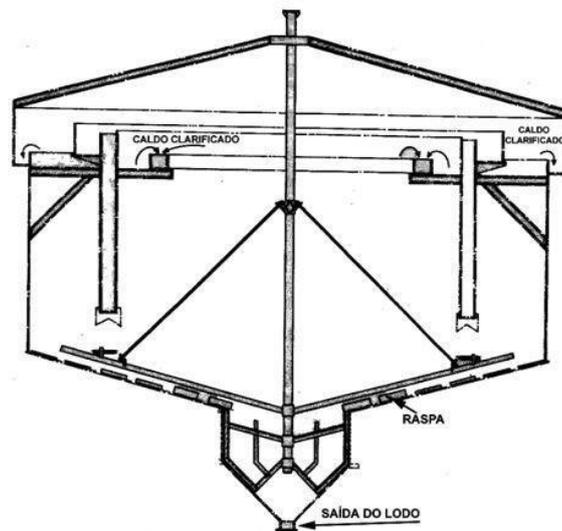
A vazão de caldo dentro do Decantador é constante, equipamento este projetado para que a velocidade de escoamento e circulação possa facilitar a sedimentação e a saída do caldo limpo. De acordo com (REBELATO, MADALENO e RODRIGUES, 2011).

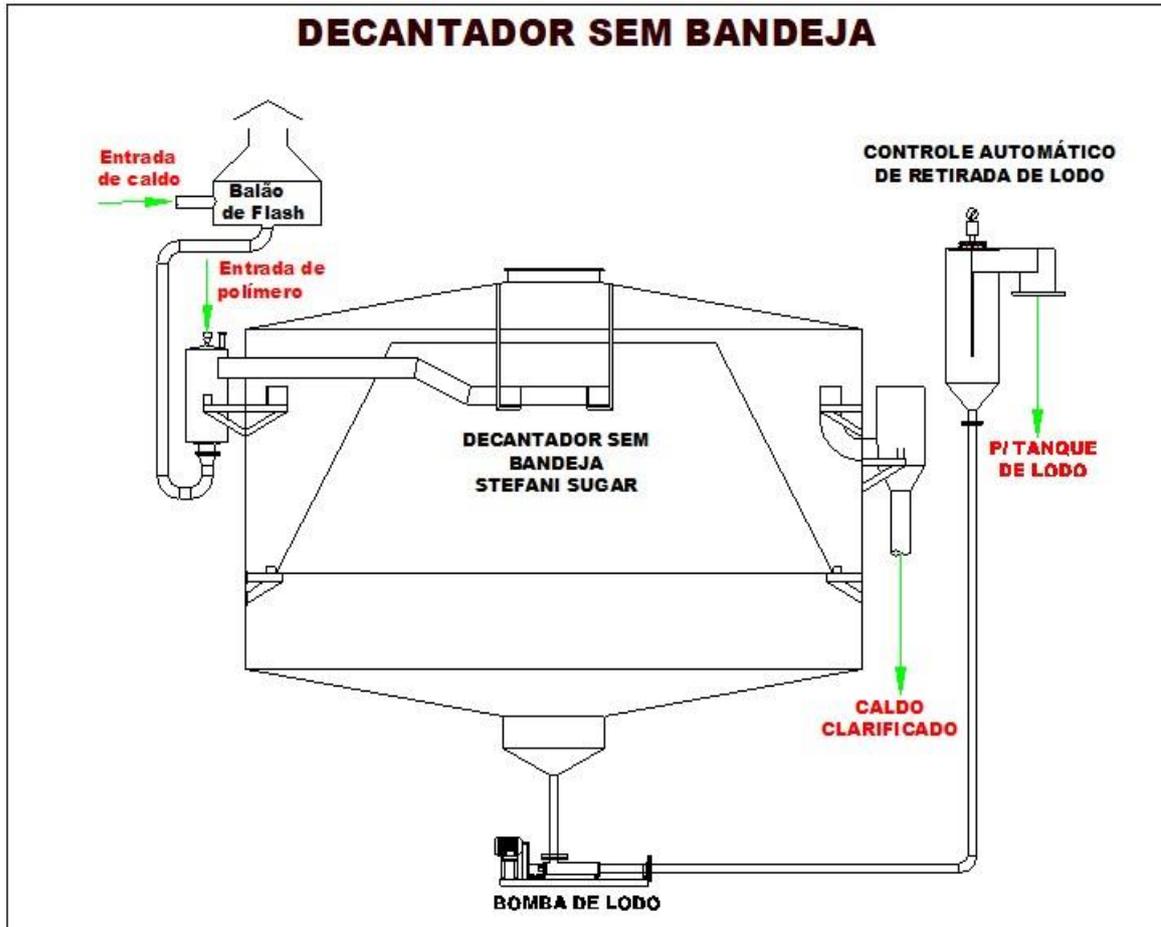
De acordo com o modelo dos Decantadores, que podem ser do tipo “Rapi-Dorr” (bandejas) ou SRI (sem bandejas), o fluxo de cal pode variar e até mesmo diminuir o tempo de permanência do caldo no equipamento. Os equipamentos que possuem bandejas possuem uma área maior para sedimentação e podem levar cerca de 3 horas para decantar. Já os que não possuem bandejas permitem uma decantação mais rápida em torno de 60 minutos.

De acordo com (REIN 2013) As Figuras 13 e 14 apresentam o processo de decantação.

**FIGURA 11: Decantador de Bandejas**

DECANTAÇÃO

**DECANTAÇÃO****Decantador Modelo S.R.I.  
Origem Australiano****Figura 12: Decantador SRI**



## 12. FILTRAÇÃO DO LODO

Os filtros do tipo belt press (prensa contínua), são muito comuns nas usinas, requer uma dosagem maior de polímeros do que nos tambores à vácuo. A dose de polímeros nos filtros belt press é de 10 ppm, contra 3 ppm nos filtros convencionais (Álcool: demanda crescente exige mais eficiência na produção, 2006).

O filtro rotativo a vácuo é composto por um tambor horizontal que gira em um eixo e é parcialmente mergulhado no lodo. Ao girar, ele forma uma camada de torta de filtro que é lavada por bicos injetores e o caldo filtrado é retirado por bombas a vácuo. No modelo em que o filtro prensa é usado, o lodo passa por telas utilizando bicos injetores e bombas a vácuo em todo o trajeto, e é prensado entre duas telas. A vantagem do filtro prensa sobre o Rotativo é a economia de bagacilho, mas em contra partida, o filtro Nas Figuras 13 e 14, percebe-se o filtro rotativo.

Figura 13: Filtro Rotativo



**Figura 14: Filtro Prensa**



Filtração do caldo clarificado A etapa seguinte é a decantação do caldo clarificado, que é crucial para a remoção não só de colóides, mas também de impurezas em suspensão (KOBBLITZ apud PRATI, 2005). De acordo com Lopes (2013), a maioria das usinas emprega o sistema de peneira rotativa, que garante cerca de 83% de remoção das impurezas. Na Figura 15, pode-se observar a filtragem do caldo claro.

**FIGURA 15: Filtro de caldo clarificado**

### **13. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através de pesquisas realizadas, podemos afirmar que o processo do tratamento de caldo envolve vários aspectos que interferem na produção final. Variações de vazão de caldo, tipos de Decantadores que possam acelerar o processo de sedimentação, são fatores que podem mudar de usina para usina, o ganho de tempo na decantação se não for controlado pode prejudicar as etapas seguintes: como insolúveis no caldo, gasto a mais de insumos (polímeros e leite de cal), baixos investimentos em automação e alto custo em manutenção de equipamentos, são pontos-chaves e indispensáveis para a produtividade e eficiência no setor.

Os estudos nos mostram que a produção em larga escala dos biocombustíveis ainda precisa aumentar muito para suprir a demanda mundial, mas são promissoras, mesmo com as limitações em relação ao aumento na área de cultivo. Os

biocombustíveis são um elo muito importante para baixar os níveis de poluição e geração dos gases do efeito estufa na atmosfera e manter os níveis aceitáveis na qualidade do ar no nosso planeta.

Mesmo longe da demanda global necessária de combustíveis, o etanol de segunda geração vem sendo uma descoberta importantíssima. O Brasil possui uma grande vantagem competitiva na produção e nas perspectivas para o futuro na produção do etanol 2G, pois com a alta demanda de combustíveis os estudos como a cana-energia continuam em pleno desenvolvimento.

#### **14. REFERÊNCIAS**

**AÇÚCAR: importante fonte de energia.** Conab apresenta levantamento final da safra 2018/19 de cana-de-açúcar. Qualidade de matéria-prima.

ALBUQUERQUE, F.M. **Processo de Fabricação do Açúcar**. 2. ed. Recife: Universitária, 2010.

ALBURQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 3ª edição. Recife: Editora Universitária UFPE, 2011

ALBURQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. 4ª edição. Capivari - SP: STAB, 2016

ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation**. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/ptbr/assuntos/meio-ambiente/corsia> Acesso em setembro de 2023.

AOKI, I. V.; TAVARES, F. A. **Carbonatação de açúcares brutos brasileiros: fatores que influenciam e verificação da eficiência pelo índice de filtrabilidade**. STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 4, p. 46-52, 1985.

ARAÚJO, F. A. D., **Intensificação do processo de purificação do caldo da cana-de-açúcar por decantação química e adsorção**. 2017 Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Pernambuco. Recife 2017.

BRASIL. NOVA CANA. **Raízen inicia operação de planta de etanol de segunda geração em Guariba (SP)**. 2023.

BRASIL. RAÍZEN. **Números**. 2023.

BRASIL. REVISTA EXAME. **Etanol de segunda geração é combustível para o futuro: Produção do E2G é um grande marco do desenvolvimento do século 21**. 2023.

BRASIL. REVISTA EXAME. **MS Day: evento na CNI mostra por que Mato Grosso do Sul tem atraído tantas empresas**. 2023

BRASIL. REVISTA OPINIÕES. **Dimensão territorial e tendências da cana-de-açúcar entre 2009 e 2020**.

EGBUIKWEM, P. N.; SANGODOYIN, A. Y. **Coagulation efficacy of Moringa oleifera seed extract compared to alum for removal of turbidity and E. coli in tree different water sources**. European International Journal of Science and Technology, 2, (7), 13-20, 2013.

FLOCK, C. **Clarificação e Pré-concentração de caldo de cana através de membranas**. 2016 Dissertação (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC.

FRANCO. **Evolução da produção e venda de etanol no Brasil**. 2018. freita, c. m. **substituição de floculante comercial por biofloculante de *moringa oleífera* lamarck no setor sucroenergético, 2017** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista- UNESP, JABOTICABAL 2017.

HAMERSKI, F. **Estudo de Variáveis no Processo de Carbonatação do Caldo de Cana-de-Açúcar**. 2009. 148f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: . Acesso em: 2 mar.2011.

HUGOT, Emile. Manual da engenharia açucareira. Tradução: Irmitud Miocque. Supervisão

IATA. INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Air Passenger Market Analysis**. 2023.

ITO, F. A. **Aplicação de um produto alternativo ao enxofre na indústria sucroalcooleira**. 2015 Trabalho (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

JARDIMECANICA **Processo de tratamento de caldo Córdoba Tecnologia em filtração 2024**.

Koblitz, Maria Gabriela Bello , **Bioquímica de alimentos : teoria e aplicações práticas** /  
Publicado em: (2008).

LARA, V. G. **Sulfitação: um estudo de caso em uma usina no interior do estado de São Paulo**. 2018 Trabalho (Bacharel)– Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Ponta Grossa, 2018.

LIMA, B. R. **processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012 Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo 2012.

MACHADO, S. S. Gestão da Qualidade. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 92 p.

MARQUES G, DEL RÍO JC, GUTIÉRREZ A. **Lipophilic extractives from several nonwoody lignocellulosic crops (flax, hemp, sisal, abaca) and their fate during**

**Alkaline pulping and TCF/ECF bleaching.** *Biores Technol* 2010; 101: 260–267.  
NOVOCANA (2020). **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo). As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil.**

PAULINO, P. Z. A. **Tratamento de caldo de cana- de- açúcar por carbonatação; 2012** Trabalho (Graduação) – Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal 2012. Jaboticabal 2012.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. **Um estudo sobre a aplicabilidade do sistema puxado de produção na fabricação de açúcar.** *Revista Gestão. Industrial*, v.7, n.1, pp. 228-246, 2011.

RIBEIRO, C. A. F.; BLUMER, S. A. G.; HORII, J. **Tecnologia do açúcar.** **Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”** Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, 1999.

RIBEIRO, C.A.F.; BLUMER, S.A.G.; HORII, J. (1999). **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira.** **Universidade de São Paulo; Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”.** Departamento de agroindústria, alimentos e nutrição, 1999.

SANTOS, M. M; SANTOS, P. J. D; LEITE, R. I. **Avaliação de aquecedores do tipo casco e tubos utilizados no sistema de aquecimento de caldo de cana caleano.** *Revista Produção em Destaque – Bebedouro-São Paulo.*

SHAKIDA, P. F. A., & PEROSA, B. B. (2012). **Álcool combustível no Brasil e path dependence.** *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 2023.

técnica, adaptação e nota introdutória de Hélio Morganti. 1. Ed. Ver. E atual. São Paulo: Mestre Jou,

## APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, Marlane dos Anjos Silva, RG 68.287.552-71, CPF 420395988-80, aluno(a) regularmente matriculado(a) no **Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (FatecJB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado **PROCESSO DO TRATAMENTO DO CALDO PARA A FABRICAÇÃO 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, 13 de junho de 2024.

---

Marlane dos Anjos Silva

## APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE

### TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, Marlane dos Anjos Silva, RG 68.287.552-71, CPF 420395988-80, aluno(a) regularmente matriculado(a) no **Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (FatecJB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado **PROCESSO DO TRATAMENTO DO CALDO PARA A FABRICAÇÃO 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, 13 de junho de 2024.

Maelane dos Anjos Silva

**ANEXO A – DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA/LABORATÓRIO  
ETC.**

**[Timbre da empresa]**

**DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO**

Autorizamos para os devidos fins, o(a) senhor(a) Marlane dos Anjos Silva, R.G. 68.287.552-1, a divulgar o nome, os dados e as fotos da Empresa/Laboratório etc. [inserir nome da empresa, laboratório etc.], CNPJ [00.000.000.000/000], em seu Trabalho de Graduação, intitulado [inserir título do trabalho], a ser apresentado na Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB).

O(a) aluno(a) compromete-se a não utilizar/divulgar, por nenhum meio, os demais dados confidenciais da referida empresa.

[Jaboticabal /São Paulo/ 08-06-2024].

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável (reconhecer firma)

\_\_\_\_\_  
Nome do responsável

\_\_\_\_\_  
Cargo do responsável

\_\_\_\_\_  
R.G. do responsável

*CARIMBO COM CNPJ  
DA EMPRESA*