



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

**VANIEL FERREIRA DOS SANTOS**

**PRODUÇÃO DE AÇÚCAR REFINADO**

**PENEDO, AL  
2025**

VANIEL FERREIRA DOS SANTOS

PRODUÇÃO DE AÇÚCAR REFINADO

Artigo científico 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.

Orientadora: Marina de Magalhães Silva

PENEDO, AL  
2025



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

---

S2377p

Santos, Vaniel Ferreira dos.

Produção de açúcar refinado / Vaniel Ferreira dos Santos. – 2025.  
24f.; il.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Marina de Magalhães Silva.

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. Açúcar refinado. 2. Cana-de-açúcar. 3. Processos industriais.  
I. Silva, Marina de Magalhães. II. Título.

---

CDD: 662

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

VANIEL FERREIRA DOS SANTOS

PRODUÇÃO DE AÇÚCAR REFINADO

Artigo científico 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: 14/11/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

*Marina de Magalhães Silva*

---

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

*Amaury Franklin Benvindo Barbosa*

---

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

*Mirelle Márcio Santos Cabral*

---

Prof. Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

# PRODUÇÃO DE AÇÚCAR REFINADO

## REFINED SUGAR PRODUCTION

Vaniel Ferreira dos Santos<sup>1</sup>  
Marina de Magalhães Silva<sup>2</sup>

### RESUMO

Atualmente, o Brasil lidera as exportações mundiais de açúcar, mantendo-se historicamente como uma potência no setor sucroenergético desde a época colonial. Este trabalho tem como objetivo contextualizar a produção de açúcar refinado a partir da cana-de-açúcar, articulando evolução histórica, panorama brasileiro e etapas industriais, para evidenciar como decisões tecnológicas e de controle impactam qualidade, rendimento e custo do produto. O processo envolve extração, purificação, cristalização e refino, com monitoramento rigoroso de pH, cor, granulometria e umidade. A metodologia utilizada foi qualitativa, exploratória e bibliográfica, baseada em livros, periódicos e bases acadêmicas como SciELO, Google Acadêmico e Capes. O estudo evidencia a evolução do setor brasileiro, práticas de controle de qualidade, integração com etanol e energia, e a importância de profissionais qualificados e tecnologias de automação para garantir estabilidade, produtividade e competitividade do açúcar refinado. Verificou-se que, o ajuste fino das variáveis operacionais, apoiado por automação e monitoramento laboratoriais, diminui perdas, sustenta a conformidade e amplia a competitividade, abrindo espaço para inovação e para rotinas de produção mais sustentáveis no setor.

**Palavras-chave:** Açúcar refinado; Cana-de-açúcar; Processos Industriais; Sustentabilidade.

### ABSTRACT

Currently, Brazil leads the global sugar exports, historically establishing itself as a powerhouse in the sugar-energy sector since the colonial period. This study aims to contextualize the production of refined sugar from sugarcane, linking historical evolution, the Brazilian scenario, and industrial stages, in order to highlight how technological and control decisions impact product quality, yield, and cost. The process involves extraction, purification, crystallization, and refining, with rigorous monitoring of pH, color, granulometry, and moisture. The methodology used was qualitative, exploratory, and bibliographic, based on books, journals, and academic databases such as SciELO, Google Scholar, and CAPES. The study highlights the evolution of the Brazilian sector, quality control practices, integration with ethanol and energy production, and the importance of qualified professionals and automation technologies to ensure stability, productivity, and competitiveness of refined sugar. It was found that fine-tuning operational variables, supported by automation and laboratory monitoring, reduces losses, maintains compliance, and enhances competitiveness, creating opportunities for innovation and more sustainable production routines in the sector.

**Keywords:** Refined sugar; Sugarcane; Industrial processes; Sustainability.

---

<sup>1</sup> Discente do Curso Técnico Subsequente em Química/IFAL. E-mail: [vfs13@aluno.ifal.edu.br](mailto:vfs13@aluno.ifal.edu.br).

<sup>2</sup> Docente orientadora do Curso Técnico Subsequente em Química. E-mail: [marina.magalhaes@ifal.edu.br](mailto:marina.magalhaes@ifal.edu.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de açúcar refinado nasce do encontro entre um patrimônio agrícola milenar e uma engenharia de processos cada vez mais precisa, em que matéria-prima, operações unitárias e controle de qualidade caminham juntos para entregar um insumo padronizado e seguro. Ao longo do fluxo industrial, o caldo extraído da cana é purificado, concentrado e cristalizado, e o açúcar bruto resultante só atinge o grau de pureza exigido pelo mercado quando passa por etapas adicionais de clarificação, descoloração e nova cristalização, etapas em que pequenos desvios de pH, temperatura ou supersaturação influenciam diretamente na cor, granulometria e estabilidade do produto final (REIN, 2013).

Historicamente, a trajetória do açúcar acompanha dinâmicas de colonização, inovação tecnológica e comércio global, saindo de produções artesanais vinculadas a moendas e tachos, para complexos agroindustriais capazes de operar em escala e com forte padronização. A passagem de processos manuais para sistemas de difusão ou moagem de alta eficiência, somada à introdução de evaporadores de múltiplo efeito e cozedores a vácuo, consolidou rendimentos superiores e maior controle sobre impurezas, ampliando mercados e reduzindo custos em diferentes continentes ao longo do século XX e início do XXI (MACHADO, 2012).

No Brasil, a liderança do setor está associada à capacidade de industrialização e à profissionalização das refinarias. O estudo de caso apresentado por Aquino e Damy-Benedetti (2021) em uma refinaria do noroeste paulista, descreve a diversificação do portfólio, açúcar refinado granulado, amorfo e glacê, além de açúcar líquido e invertido, e a adoção de rotinas de qualidade como as Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), com foco na padronização do processo e na confiabilidade do produto (AQUINO; DAMY-BENEDETTI, 2021).

Como ilustração operacional, o estudo de Cavalcanti (s.d) sobre a Refinaria Marituba, relata que o refino parte da dissolução do açúcar VHP (Very High Polarization) para formação do licor, o qual recebe tratamento com dosagens químicas e controle de pH, seguido de aeração e flotação para reduzir cor e turbidez. Na sequência, o processo avança para cozimento, secagem/resfriamento e condicionamento do açúcar; o desempenho é acompanhado por parâmetros como cor

(International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, ICUMSA), pol, umidade, granulometria e coeficiente de variação (CV), diretamente associados à estabilidade do produto e ao risco de empedramento.

O açúcar permanece como um vetor econômico de grande capilaridade, conectando agricultura, indústria e serviços, com efeitos multiplicadores em cadeias de insumos, logística e distribuição. Sua demanda está ancorada em usos alimentares e industriais diversos, e a integração com o etanol e a cogeração de energia fortalece o papel do setor em estratégias regionais de desenvolvimento, inclusive pela capacidade de absorver tecnologia e qualificar mão de obra ao longo de toda a safra (DIAS, 2020).

A cadeia emprega desde trabalhadores de campo e técnicos de laboratório até engenheiros de processo e profissionais de logística, compondo um mosaico ocupacional que varia ao longo da safra e exige qualificação contínua. Programas de qualidade, como APPCC e rotinas laboratoriais para monitorar cor, umidade e cinzas, ampliam a demanda por competências específicas, ao mesmo tempo em que práticas de manutenção e segurança industrial sustentam a estabilidade operacional das usinas (NASCIMENTO, 2020)

Na rotina das fábricas, o açúcar não comparece apenas para adoçar, ele estrutura produtos, regula viscosidade em geleias, dá corpo a sorvetes e chocolates, retém água, inibe crescimento microbiano e participa de reações que definem cor e aroma, como Maillard e caramelização, o que explica a exigência de especificações distintas de granulometria e pureza conforme o destino. Em bebidas, a dissolução rápida e a baixa cor são decisivas, enquanto na panificação interessam a interação com fermentações e o controle de umidade, que pedem cristais uniformes e estáveis. Quando a formulação é um xarope ou um comprimido, a conversa muda, pureza elevada, baixo teor de cinzas e estabilidade microbiológica tornam-se inegociáveis, pois pequenas impurezas podem alterar terapias e prazos de validade, motivo pelo qual as cadeias farmacêuticas demandam açúcar refinado com controle estrito de pH, cor e umidade (MACHADO, 2012).

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo contextualizar a produção de açúcar refinado a partir da cana-de-açúcar, articulando a evolução histórica e o panorama brasileiro com uma descrição breve das etapas de processo, do preparo da

matéria-prima ao refino, para evidenciar como escolhas tecnológicas e de controle impactam qualidade, rendimento e custo.

Para tanto, empregou-se como metodologia uma pesquisa de abordagem qualitativa, exploratória quanto ao objetivo e bibliográfica, quanto ao procedimento. A busca de materiais foi realizada em livros e bases de dados acadêmicas como Google Acadêmico, SciELO e periódicos da Capes.

## **2 CANA-DE-AÇÚCAR**

### **2.1 HISTÓRIA E CULTIVO**

A cana-de-açúcar ganhou centralidade no complexo sucroenergético porque combina elevada eficiência fotossintética com notável capacidade de estocar sacarose nos colmos, além de um sistema produtivo que articula campo e fábrica em janelas bem planejadas de fornecimento. Essa integração permite adequar preparo de solo, escolha varietal e ponto de corte às necessidades de extração e refino, reduzindo oscilações de pureza do caldo e perdas no transporte e na recepção. Na prática, o planejamento agrônomo conversa com as operações unitárias, já que o perfil químico da matéria prima determina intensidade de clarificação, regime de evaporação e modos de cristalização em cada safra. Esse acoplamento técnico, somado a rotinas de controle analítico e logística de colheita mecanizada, sustenta regularidade de qualidade e volumes ao longo do período de moagem, o que explica a sua adoção massiva em regiões tropicais e subtropicais (UNGARATTI *et al.*, 2024).

Relatos históricos situam a domesticação da cana no Sudeste Asiático, com difusão gradual por rotas marítimas e terrestres que alcançaram o Oriente Médio e o Mediterrâneo, onde técnicas de cozimento e purificação se refinaram. Ao longo da expansão atlântica, os engenhos incorporaram moendas mais robustas, tachos aquecidos de modo mais uniforme e rotinas de trabalho que permitiram ampliar a escala de produção. Nos séculos seguintes, avanços em bombas a vácuo, trocadores de calor e instrumentos de medição favoreceram padronização e melhor controle do processo, o que aproximou a produção de açúcar de uma engenharia estabelecida. Essa trajetória consolidou a sacarose como mercadoria transcontinental e criou as bases técnicas para a industrialização que se veria no século XX, com maior eficiência e previsibilidade de qualidade do produto final (MACHADO, 2012).

No Brasil, a industrialização do setor açucareiro consolidou-se com usinas mecanizadas e logística dedicada, capazes de operar em janelas de safra extensas e atender aos mercados interno e externo. A modernização dos processos, do tratamento do caldo à cristalização a vácuo, somada à padronização por especificações de qualidade, sustentou ganhos de rendimento e previsibilidade do produto; a diversificação de produtos, incluindo açúcares líquido e invertido, ampliou o atendimento a diferentes cadeias industriais (MACHADO, 2012).

A produtividade da cana-de-açúcar emerge do encontro entre um regime climático estável, água disponível ao longo de todo o ciclo e radiação capaz de sustentar taxas elevadas de fotossíntese, em um ambiente térmico moderado que reduz o estresse fisiológico da planta. Solos bem estruturados, com boa drenagem e acidez corrigida, favorecem enraizamento profundo e absorção eficiente de nutrientes, o que se traduz em colmos mais vigorosos e maior acúmulo de sacarose. O manejo inclui escolha de variedades adaptadas ao ambiente, planejamento de plantio para escalonar a colheita e tratos culturais que controlem plantas daninhas e preservem a sanidade do canavial. Quando esses elementos estão alinhados, a fábrica recebe matéria prima mais estável, e o processo subsequente se beneficia com menores perdas e maior eficiência global de recuperação (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

O ciclo produtivo envolve preparo criterioso do solo, seleção e tratamento de mudas saudáveis e adubação equilibrada que atenda às exigências de cada ambiente de produção, além do controle oportuno de plantas daninhas. Após o estabelecimento, o canavial evolui por fases de crescimento e maturação, nas quais se definem, por monitoramento, o ponto ideal de corte que concilia teor de sacarose, perdas toleráveis e logística de transporte. A colheita, hoje largamente mecanizada, busca minimizar danos aos colmos e contaminações por terra e palhiço, fatores que impactam diretamente clarificação e rendimento industrial. Um escalonamento cuidadoso da colheita garante fornecimento contínuo e ajuda a estabilizar a qualidade do caldo entregue à moenda ao longo de toda a safra (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Pragas e patógenos afetam tanto o crescimento vegetativo quanto a composição do caldo, pois danos nos tecidos elevam impurezas e favorecem reações que aumentam cor e açúcares redutores, o que dificulta clarificação e cristalização. Entre os alvos frequentes estão brocas do colmo e doenças foliares que reduzem área fotossintética, além de infecções que comprometem integridade e sanidade da matéria

prima. O manejo integrado combina monitoramento, variedades resistentes e intervenções pontuais, com foco em reduzir populações abaixo de níveis de dano econômico e proteger o potencial de acúmulo de sacarose. Essa estratégia se reflete diretamente no desempenho industrial, já que caldos mais limpos exigem menos reagentes e entregam rendimentos superiores na etapa de cozimento (REIN, 2013).

## 2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CANA

A cana-de-açúcar é, antes de tudo, um tecido vivo e heterogêneo, no qual a água predomina e as fibras dão sustentação ao corte e à moagem, enquanto a fração solúvel, liderada pela sacarose, carrega também pequenas porções de glicose e frutose. Junto a esses açúcares, viajam sais minerais, ácidos orgânicos e substâncias coloidais que modulam pH, viscosidade aparente e cor do caldo, delineando o comportamento do fluido e antecipando exigências das etapas de purificação e de concentração. Mesmo em pequenas quantidades, esses componentes condicionam a eficiência de clarificação, a estabilidade do xarope e a qualidade do cristal formado. Por isso, conhecer a composição e a sua variação ao longo da safra é indispensável para ajustar parâmetros de processo e preservar a qualidade durante armazenamento e expedição (JAMBASSI, 2017).

A eficiência industrial depende do equilíbrio entre a sacarose potencialmente recuperável, a fibra que sustenta a extração e a água que transporta os solutos desde a moenda até os cozedores — uma tríade que orienta as decisões operacionais. O excesso de fibra eleva o esforço mecânico e o consumo de energia, enquanto teores hídricos muito elevados aumentam os custos térmicos de evaporação e podem diluir os reagentes utilizados na clarificação. Já a fração de sacarose, principal componente de valor econômico, deve ser preservada por meio de práticas adequadas de colheita e transporte, evitando inversões e contaminações microbiológicas. Manter o equilíbrio entre esses elementos é essencial para minimizar perdas globais e assegurar a qualidade do produto final entregue ao mercado (COELHO, BRAGAGNOLO, 2024).

Açúcares redutores como glicose e frutose, presentes em menor proporção que a sacarose, participam de reações que escurecem o caldo e alteram o perfil de supersaturação do licor, o que repercute na nucleação e no crescimento de cristais. Em níveis elevados, eles aumentam a viscosidade, dificultam o esgotamento do melaço e podem comprometer atributos sensoriais, além de elevarem a cor medida

por metodologias usuais. Por essa razão, usinas acompanham sua evolução ao longo da safra e ajustam condições de processo para mitigar efeitos adversos, com atenção especial à maturação e ao tempo entre corte e moagem. O resultado é uma operação mais estável e um açúcar com especificações de cor e pureza mais consistentes para diferentes mercados (EMBRAPA, 2025).

Íons como cálcio, potássio e cloretos, aliados a ácidos orgânicos e substâncias coloidais, modulam pH, viscosidade e cor do caldo, fatores que determinam a eficiência das operações de clarificação e filtração. Em excesso, esses constituintes exigem maior dosagem de reagentes e podem saturar meios filtrantes e adsorventes, elevando custos e tempo de residência nas linhas de purificação. Há ainda efeitos diretos sobre a cristalização, já que impurezas adsorvidas na superfície dos cristais alteram granulometria, uniformidade e brilho, características valorizadas pelo mercado. O desenho do tratamento químico e físico busca justamente reduzir tais interferências para preservar rendimento e produzir açúcares com especificações estáveis (SILVA *et al.*, 2017).

O processo de maturação altera o balanço entre sacarose e açúcares redutores, além de influenciar o teor de umidade e a resistência dos tecidos vegetais, que por sua vez afetam a extração e estabilidade do caldo. Quando a colheita ocorre antes do ponto ideal, há menor acúmulo de sacarose e maior propensão a perdas no transporte e no preparo, enquanto cortes tardios aumentam risco de degradações e contaminações. A definição de janelas de colheita com base em monitoramento de campo permite reduzir inversões, estabilizar pH e favorecer regimes de cozimento que gerem cristais regulares e com boa fluidez. Essa decisão agrícola se traduz em ganhos diretos na fábrica, com economia de vapor e melhor desempenho de clarificantes e filtros (REIN, 2013).

### 2.3 VARIEDADES E PRODUTIVIDADE

Segundo a União da Indústria da Cana-de-açúcar (2005), a escolha de variedades é orientada por um conjunto de critérios que inclui teor de sacarose, vigor agrícola, tolerância a estresses hídricos e térmicos e perfil de maturação distribuído ao longo da safra. Esse portfólio é alocado por ambientes de produção, de modo a compatibilizar colheita escalonada com capacidade de moagem e metas de pureza do caldo, o que reduz gargalos e mantém estabilidade operacional. Variedades com

arquitetura favorável ao corte mecanizado e boa sanidade elevam eficiência na colheita e diminuem impurezas minerais, que são críticas para a clarificação. O resultado esperado é matéria prima mais uniforme e previsível para as linhas de extração e refino, com ganhos acumulados em rendimento global.

Programas de melhoramento genético combinam cruzamentos planejados, avaliação multiambiental e ferramentas de seleção assistida para gerar materiais com alto teor de sacarose recuperável, elevado potencial de toneladas de cana por hectare e resistência a pragas e doenças. Essa abordagem busca também estabilidade de desempenho, o que facilita o escalonamento da colheita e o planejamento de fornecimento para a fábrica ao longo de meses. Materiais mais eficientes reduzem demanda por insumos e por intervenções fitossanitárias, com efeitos positivos sobre custo por tonelada produzida e sobre indicadores de sustentabilidade. Ao final, o ganho genético se expressa na fábrica em forma de caldos mais limpos e com menor variabilidade de pureza (REIN, 2013).

No país, o portfólio de variedades é distribuído por ambientes de produção que variam em solo, clima e regime hídrico, estratégia que dilui riscos e garante matéria prima adequada a diferentes momentos da safra. Essa alocação permite compatibilizar janelas de maturação com a capacidade diária de moagem, evitando picos ou vales de fornecimento que prejudiquem a eficiência fabril. Ao mesmo tempo, a diversidade varietal protege contra surtos de pragas e doenças e contra variações climáticas, preservando níveis de pureza do caldo necessários para cumprir especificações de mercado. Essa lógica operacional reflete a maturidade do setor e sua busca constante por regularidade e competitividade (MACHADO, 2012).

A produtividade agrícola, medida em toneladas de cana por hectare, emerge da interação entre genética adequada, clima favorável, manejo de solo e adubação que reponha nutrientes no tempo certo, além de um controle fitossanitário efetivo. A logística de corte e transporte precisa preservar integridade dos colmos e reduzir tempos entre campo e moenda, pois atrasos elevam inversões e contaminações que afetam desempenho industrial. Equipamentos bem mantidos e regulagens corretas na colheita mecanizada reduzem perdas visíveis e invisíveis, como fragmentos de colmo que ficam no campo ou chegam à usina como impurezas. Quando esses fatores convergem, a extração é mais eficiente e o rendimento global de açúcar por hectare aumenta de forma consistente (CAMPOS, 2025).

O Açúcar Total Recuperável, indicador usado no setor, sintetiza a capacidade de uma variedade converter biomassa em sacarose efetivamente recuperável na fábrica, o que orienta o desenho do canavial e o planejamento de colheita. Híbridos de maturação precoce, média e tardia são escalonados para manter pureza do caldo e abastecimento contínuo, compatibilizando metas energéticas e requisitos das linhas de refino. Essa organização reduz variações de cor e de viscosidade nos licores e melhora a eficiência de cristalização e de centrifugação, etapas sensíveis às oscilações de composição. Em termos práticos, o ajuste varietal se traduz em rendimentos estáveis e em produtos finais mais uniformes para diferentes mercados consumidores (REIN, 2013).

### **3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇÚCAR REFINADO**

A produção moderna de açúcar refinado se organiza como uma sequência de operações interligadas, nas quais pequenas escolhas de processo, como preparo mecânico, regime térmico e estratégia de clarificação, afetam diretamente cor, pureza e rendimento.

O desempenho de cada etapa precisa conversar com a seguinte, por isso parâmetros como pH, Brix (teor de sólidos totais dissolvidos), temperatura e tempo de residência são acompanhados continuamente, buscando equilibrar perdas, consumo de vapor e estabilidade de cristais, até compor um produto final conforme as especificações do cliente e as exigências regulatórias do mercado (CALDAS, 2012).

#### **3.1 RECEPÇÃO E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA**

Na chegada à usina, a cana passa por pesagem, amostragem e avaliações de qualidade que guiam o pagamento e o planejamento de moagem, enquanto operações de limpeza reduzem impurezas minerais e vegetais que prejudicam a clarificação e desgastam equipamentos (Figura 1).

**Figura 1** – Processo de limpeza da cana-de-açúcar destinado à remoção de impurezas minerais e vegetais.



Fonte: Lopes, 2025.

O preparo utiliza picadores e desfibradores (Figura 2), para aumentar a exposição celular, prática que reduz perdas de sacarose na extração e atenua a variabilidade entre talhões, o que melhora a previsibilidade do caldo entregue às moendas e favorece um desempenho mais estável das etapas subsequentes do processo industrial (AQUINO; DAMY-BENEDETTI, 2023).

**Figura 2** – O preparo da cana-de-açúcar utiliza picadores (A) e desfibradores (B) com o objetivo de aumentar a exposição das células.

A)



B)



Fonte: e-machine.com, s.d.

### 3.2 EXTRAÇÃO DO CALDO

A etapa de extração transforma a energia contida nos colmos em caldo misto, por meio da moagem com ternos e embebição ou, alternativamente, por difusores que realizam a transferência de massa em regime contínuo (Figura 3). Cada tecnologia apresenta vantagens próprias em termos de rendimento e manutenção. A eficiência dessa operação depende do ajuste adequado das folgas, da pressão hidráulica e do volume de embebição, ou, no caso dos difusores, do controle do perfil de lavagem. Esses parâmetros influenciam diretamente a recuperação de sacarose e o teor de

fibras do bagaço (subproduto utilizado como fonte energética), impactando o balanço de vapor da usina e o desempenho térmico das etapas subsequentes do processo. (DONIS, 2023).

**Figura 3** – Etapa de extração do caldo da cana, por meio de moagem com ternos e embebição.

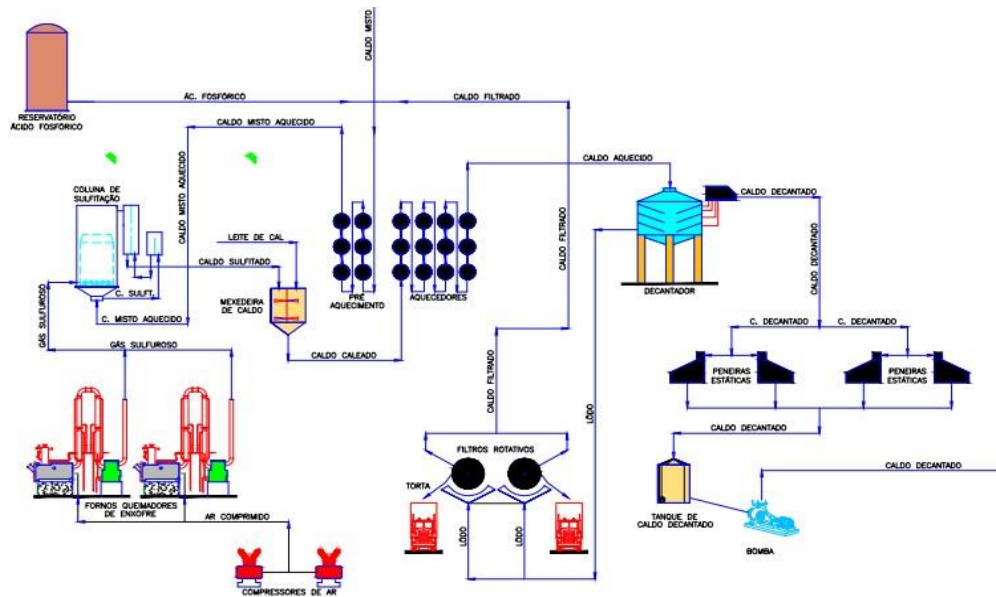


Fonte: Vital, 2025.

### 3.3 PURIFICAÇÃO DO CALDO

Na clarificação com sulfitação/calagem, o caldo previamente aquecido recebe dosagens de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e leite de cal sob mistura controlada, promovendo neutralização e formação de flocos. O pH é então ajustado para 6,8–7,2, faixa que favorece a desestabilização de coloides (proteínas, pectinas e partículas finas), a precipitação de impurezas e a redução de cor e turbidez, com melhora significativa da filtrabilidade (MORILLA; ALVES; AGUIAR, 2015). Em seguida, a flotação/filtração remove o lodo gerado, entregando um caldo clarificado estável para a evaporação; o controle de pH nesta faixa também previne reações indesejadas e contribui para preservar o rendimento de sacarose. Do ponto de vista operacional, a eficiência do tratamento depende da sintonia de dosagens, da intensidade de agitação e do tempo de residência, fatores que devem ser ajustados para minimizar consumo químico e retrabalho (MACHADO, 2012) (Figura 4).

**Figura 4** – Fluxograma do processo de purificação do caldo, abrangendo as etapas de tratamento químico e físico destinadas à remoção de impurezas e à clarificação do caldo extraído da cana-de-açúcar.

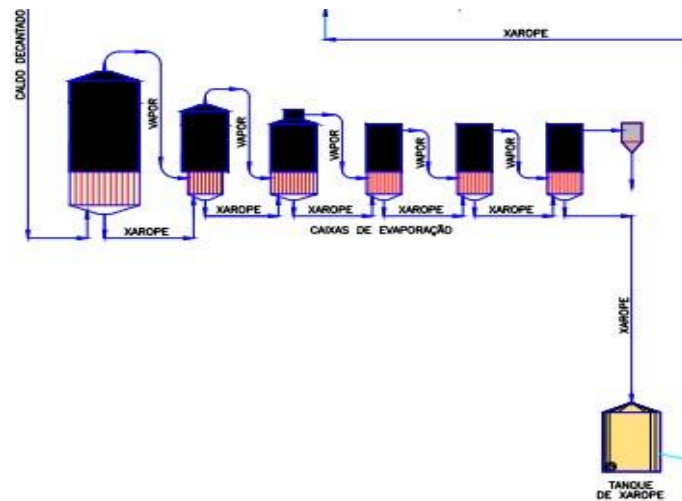


Fonte: Borges, 2011.

### 3.4 EVAPORAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DO CALDO

Com o caldo clarificado, a evaporação em múltiplo efeito concentra os sólidos solúveis até formar o xarope, etapa decisiva para o balanço energético da usina, pois a reutilização em cascata do vapor reduz o consumo específico. Na prática, a operação eleva o caldo de  $\approx 14\text{--}17$  °Brix (após extração/tratamento) para  $\approx 50\text{--}70$  °Brix (xarope), preparando a alimentação dos cozedores. A gestão de incrustações e a limpeza química, aliadas ao controle de pressões e temperaturas em cada efeito, são vitais para manter trocas térmicas eficientes e evitar degradações que aumentem cor e viscosidade, assegurando um xarope estável para as condições de supersaturação exigidas na cristalização a vácuo (MACHADO, 2012) (Figura 5).

**Figura 5** – Fluxograma do processo de evaporação e concentração do caldo.

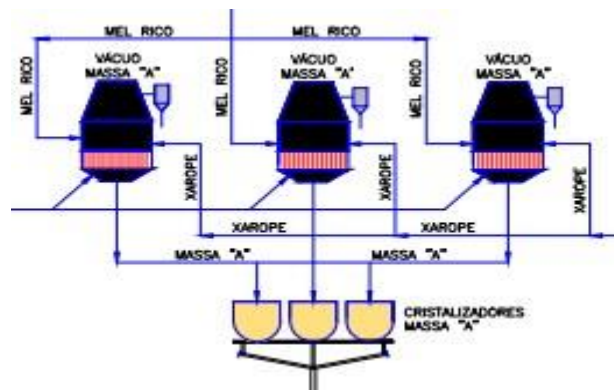


Fonte: Borges, 2011.

### 3.5 CRISTALIZAÇÃO

No coração da fábrica, o cozimento a vácuo conduz a solução à zona de supersaturação controlada, em que nucleação e crescimento ocorrem sob comando operacional. Trabalha-se com coeficiente de supersaturação em torno de  $\approx 90-91$  (Brix<sup>o</sup>) e temperaturas próximas de 60 °C, parâmetros que favorecem cristais regulares, viscosidade governável e boa filtrabilidade no passo seguinte (Figura 6). O domínio do diagrama de solubilidade e das curvas de resfriamento, aliado ao ajuste de semente, agitação e tempo de cozimento, assegura granulometria uniforme e reduz perdas no melaço, com impacto direto sobre cor, fluidez e estabilidade do açúcar a ser separado (REIN, 2013; MACHADO, 2012).

**Figura 6** – Processo de Cristalização.



Fonte: Borges, 2011.

### 3.6 CENTRIFUGAÇÃO E OBTENÇÃO DO AÇÚCAR BRUTO (VHP)

A massa cozida segue para centrífugas, que separam cristais e mel por força centrífuga, o ajuste de rotação, tempo de ciclo e lavagem controla a limpeza superficial do grão, assim obtendo o açúcar bruto (VHP) (Figura 7). Em massas típicas com  $\approx 90\text{--}92$  °Brix à descarga, a operação busca alto teor de sacarose no cristal e remoção do licor-mãe aderido, preservando a polarização. Para açúcares destinados ao comércio como VHP (Very High Polarization), as especificações usuais no Brasil estabelecem polarização  $\geq 99,00$  °Z, umidade  $\leq 0,25$  %, cor ICUMSA  $\leq 2\ 500$  UI e cinzas condutivas  $\leq 0,25$  %; após a centrifugação, secagem e resfriamento enquadram a umidade dentro desses limites antes do acondicionamento (REIN, 2013; DIAS, 2020; MACHADO, 2012).

**Figura 7** – Centrifugação para obtenção do açúcar (VHP).

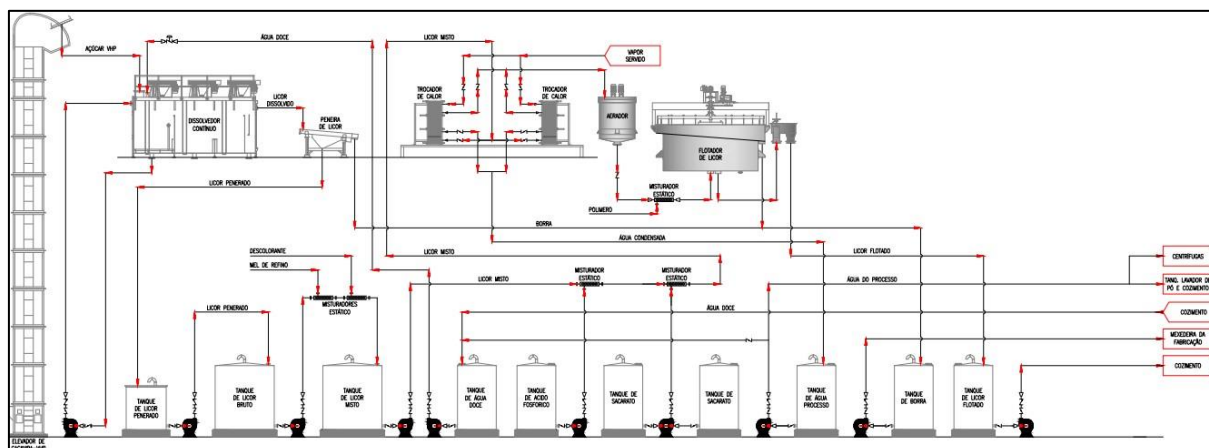


Fonte: Próprio autor, 2025.

### 3.7 REFINAMENTO DO AÇÚCAR

Segundo Cavalcanti (s.d.), a produção de açúcar refinado compreende duas etapas principais: a obtenção do açúcar escuro e seu posterior refino. Inicialmente, o açúcar escuro é dissolvido para formar um licor bruto, que é pré-aquecido e recebe a adição de agentes químicos, além de controle de pH (Figura 8).

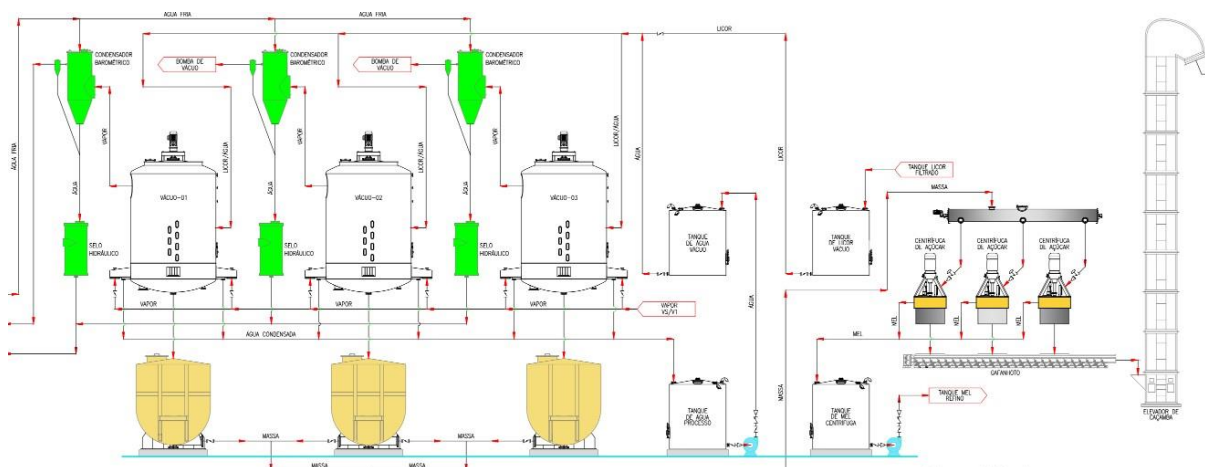
**Figura 8 – Fluxograma de dissolução e tratamento do licor.**



Fonte: CAVALCANTI, s.d

O licor tratado é então encaminhado para cristalização, etapa em que ocorre a formação dos cristais, seguida de centrifugação, conforme a Figura 9 (CALDAS, 2012).

**Figura 9 – Fluxograma referente ao cozimento/centrifugação do açúcar refinado.**

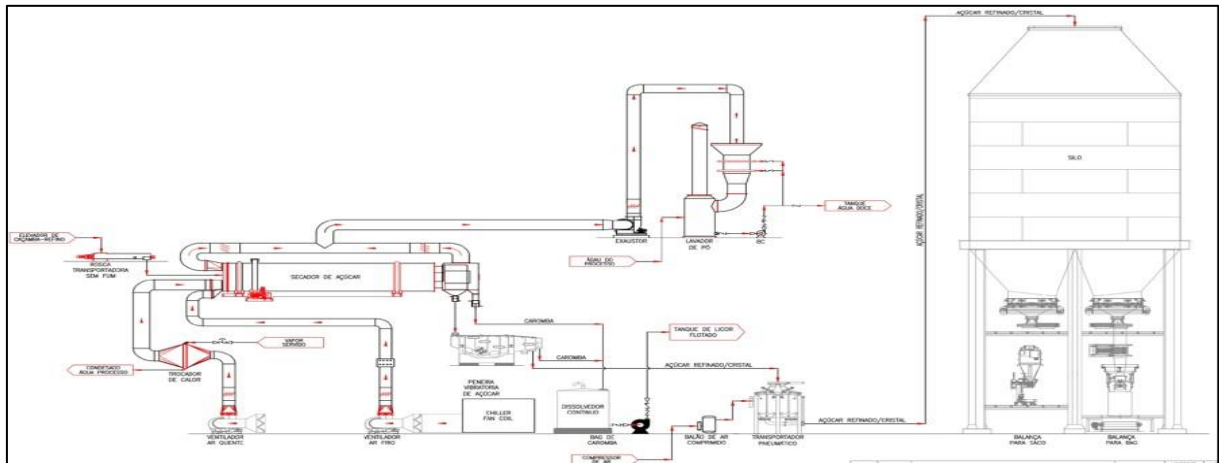


Fonte: Cavalcanti, s.d.

Após a centrifugação, o açúcar passa por secagem e resfriamento para a remoção da umidade, como demonstrado na Figura 10, no qual um ventilador de ar quente é empregado para promover a evaporação da umidade, enquanto um ventilador de ar frio é responsável pelo resfriamento do produto. Além disso, um exaustor atua na remoção do ar úmido e das partículas de pó geradas durante o processo.

O desempenho do processo é monitorado por parâmetros como cor (ICUMSA), teor de pol, umidade, granulometria e coeficiente de variação (CV), que influenciam diretamente a estabilidade do produto final e o risco de empedramento.

**Figura 10** – Fluxograma referente à secagem e resfriamento do açúcar refinado.



Fonte: Cavalcanti, s.d.

Segundo a Instrução Normativa nº 47/2018 (emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA) para o açúcar refinado granulado, a estabelece: polarização  $\geq 99,80$  °Z, umidade  $\leq 0,05$  %, cor ICUMSA  $\leq 60$  UI e cinzas condutivas  $\leq 0,04$  % (DIAS, 2020). Um exemplo prático foi reportado por Cavalcanti (s.d.), onde lotes de açúcar refinado apresentaram cor  $\approx 33$  UI, pol  $\approx 99,83$  °Z e umidade  $\approx 0,0435$  %, evidenciando variáveis dentro das especificações normativas.

### 3.8 ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO

Após a obtenção do produto, a manutenção da qualidade depende do controle de umidade e temperatura no silo, pois a adsorção de água acima de faixas críticas acelera o empedramento, eleva a cor e favorece mudanças na superfície do cristal. Estratégias de aeração, monitoramento de umidade relativa e escolha adequada de embalagens evitam ganhos hídricos e preservam fluidez, o que sustenta a vida de prateleira e minimiza devoluções, especialmente em climas quentes e úmidos que intensificam o risco de deterioração físico química do açúcar (JAMBASSI, 2017).

## **4 ASPECTOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE**

O debate ambiental no setor sucroenergético ganhou densidade porque a usina moderna não é apenas um lugar de extração de sacarose, ela integra agricultura, processo e logística em um arranjo que busca fechar ciclos, reduzir perdas e comunicar escolhas responsáveis ao mercado. A pauta envolve desde a origem da matéria prima e o desenho do canavial até a destinação de subprodutos e a eficiência de água e energia, com impacto real sobre custos e reputação. Ao mesmo tempo, práticas de consumo e educação científica ajudam a reposicionar o açúcar na sociedade, favorecendo escolhas informadas sobre tipos e usos, o que retroalimenta exigências produtivas mais limpas e transparentes ao longo da cadeia de valor (ANDRADE; PEREIRA; PAULA, 2023).

### **4.1 RESÍDUOS DO PROCESSO**

Os principais resíduos do processo, como bagaço, torta de filtro e vinhaça, deixaram de ser apenas passivos industriais e passaram a compor estratégias de aproveitamento que fecham balanços de massa e energia, além de reduzir emissões e custos de disposição. O bagaço, por exemplo, alimenta caldeiras para cogeração elétrica e térmica, a torta retorna ao campo como condicionador de solo, tudo acompanhado por critérios de monitoramento para evitar impactos difusos. Essa lógica de circularidade conecta a fábrica ao território, melhora a resiliência econômica da usina e diminui a intensidade ambiental por tonelada de açúcar produzida (LUNA; PEREIRA, 2024).

### **4.2 USO RACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA**

A eficiência hídrica e energética avança quando a usina reaproveita condensados, adota circuitos fechados e otimiza torres de resfriamento, reduzindo captação e descarga, enquanto o desenho térmico privilegia evaporadores de múltiplo efeito e integração de vapor entre estágios do processo. Limpezas químicas planejadas, controle de incrustação e ajustes de pH e temperatura preservam trocas de calor e evitam degradações que aumentam cor e viscosidade, mantendo o xarope estável para o cozimento. O resultado prático é uma queda do consumo específico de vapor e de água por tonelada de açúcar, com reflexos em custos, emissões indiretas e previsibilidade operacional ao longo da safra (MACHADO, 2012).

#### 4.3 TECNOLOGIAS LIMPAS NA PRODUÇÃO

No caso documentado por Cavalcanti (s.d), os ganhos de “tecnologias limpas” decorrem sobretudo da sintonia fina das variáveis operacionais ao longo do refino: calibração de dosagens e controle de pH no tratamento do licor, para evitar sobre consumo de reagentes e reações indesejadas; ajustes de aeração e flotação para remover cor e turbidez com desempenho constante; e parametrização de secagem/resfriamento e condicionamento para reduzir umidade e empedramento, evitando retrabalhos. O acompanhamento sistemático de cor (ICUMSA), pol, umidade, granulometria e coeficiente de variação (CV) orientam correções rápidas que minimizam perdas e mantêm a qualidade especificada com menor intervenção corretiva (CAVALCANTI, s.d.).

## 5 CONCLUSÃO

O artigo apresentou um panorama da produção de açúcar refinado a partir da cana-de-açúcar, conectando contexto histórico e cenário brasileiro às etapas industriais, da recepção da matéria-prima à extração, purificação do caldo, evaporação, cristalização, centrifugação e refino, quando pureza e cor são ajustadas às especificações. Destacaram-se os parâmetros de controle que garantem rendimento, estabilidade e qualidade do produto, bem como cuidados de armazenagem.

A análise mostrou que o desempenho do refino depende da qualidade do insumo e das rotas de clarificação e descoloração escolhidas. O controle de dissolução, pH, temperatura, remoção de impurezas e supersaturação orienta a formação de cristais uniformes, enquanto a integração entre cozedores, centrífugas, secagem e condicionamento assegura baixa umidade e consistência entre lotes. A gestão térmica eficiente contribui para redução do consumo de vapor, aumentando a competitividade do produto.

Entre os desafios atuais estão a variabilidade da matéria-prima, controle de cor com menor impacto ambiental, incrustações em sistemas térmicos e manutenção de padrões sob diferentes condições. A automação, análises em linha, controle avançado e ferramentas digitais têm sido adotadas para antecipar desvios e apoiar decisões em tempo real. A logística e programas de qualidade buscam reduzir perdas e garantir melhoria contínua, enquanto capacitação, rastreabilidade e conformidade regulatória fortalecem confiança e sustentabilidade do negócio.

Perspectivas futuras envolvem eficiência, inovação e sustentabilidade, incluindo reaproveitamento de subprodutos, integração energética, economia circular, variedades mais resilientes no campo e sensores e modelos preditivos na fábrica. Tais estratégias favorecem cristais homogêneos, menor consumo específico e atendimento a mercados sofisticados, promovendo crescimento competitivo e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Rayra Lima de; PEREIRA, Thyanne Soares; PAULA, José Carlos de Freitas. **Produção, consumo, tipos de açúcar e impacto na saúde: o que um grupo de alunos pensam sobre o tema.** In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), 2023. Anais... Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2023/TRABALHO\\_COMPLETO\\_EV185\\_MD4\\_ID19635\\_TB7231\\_09122023000956.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV185_MD4_ID19635_TB7231_09122023000956.pdf). Acesso em: 09 out. 2025.
- AQUINO, Renan Alex; DAMY-BENEDETTI, Patrícia de Carvalho. **Produção de açúcar refinado na agroindústria canavieira.** 2021. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/1046/859>. Acesso em: 04 out. 2025.
- CALDAS, C. S.; GUERRA, N. B. **Escurecimento do açúcar branco: influência do processo e do tempo de armazenamento.** 2012. Tese (Doutorado em Nutrição) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- CAMPOS, G. M. et al. **Análise de correlação de características agronômicas de variedades de cana-de-açúcar na região de Cerrado usando IA.** Caderno Pedagógico, v. 22 (2025), p. 01-17. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/18473/10219>. Acesso em: 18 out. 2025.
- CAVALCANTI, Hérclio. **Refinaria de açúcar.** [S.l.]: Stab Leste, [s.d.]. Disponível em: <https://www.stableste.org.br/wpcontent/uploads/2023/07/05RefinariadeacarHerclioCavalcanti.pdf>. Acesso em: 08 out. 2025.
- COELHO, L. F.; BRAGAGNOLO, C. **Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar.** Estudos Econômicos, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ee/a/cWPpRPxwdk9Qp3cgHMhjRWC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 out. 2025.
- DIAS, João Victor Guedes. **Avaliação da qualidade e das condições de embalagem de açúcares comerciais com relação à Instrução Normativa nº 47 de 2018 do Ministério da Agricultura.** 2020. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/24293/1/JVGD16122020.pdf>. Acesso em: 03 out. 2025.
- DONIS, Flávia de Cássia. **Estudo da eficiência de extração de caldo de cana em um tandem de moenda utilizando camisas de alta drenagem.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Matão, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifsp.edu.br/handle/123456789/2105>. Acesso em: 24 out. 2025.
- EMBRAPA. **Qualidade de matéria-prima – Açúcares redutores (AR) e sua influência na pureza da cana-de-açúcar.** Embrapa Agricultura Digital, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de->

informacaotecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pos-producao/gestao-industrial/qualidade-demateria-prima. Acesso em: 16 out. 2025.

JAMBASSI, Jéssica Rodrigues. **Aspectos da qualidade do açúcar: impactos de diferentes condições de armazenamento e método de classificação por espectroscopia Raman**. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em:  
[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde16082017-152118/publico/Jessica\\_Rodrigues\\_Jambassi\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde16082017-152118/publico/Jessica_Rodrigues_Jambassi_versao_revisada.pdf). Acesso em: 26 set. 2025.

LUNA, Higor Mendes de; PEREIRA, Fernando Gabriel Eguía. **Sistemas e operações do processo de produção de açúcar VHP**. Revista Desafios, v. 11, 2024. Disponível em:  
[https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wpcontent/uploads/2024/03/08\\_Mecanica\\_Luna.pdf](https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wpcontent/uploads/2024/03/08_Mecanica_Luna.pdf). Acesso em: 06 out. 2025.

MACHADO, Simone Silva. **Tecnologia da fabricação do açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em:  
[https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/11\\_tecnologia\\_fabricacao\\_acucar.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/11_tecnologia_fabricacao_acucar.pdf). Acesso em: 30 set. 2025.

MORILLA, C. H. G.; ALVES, L. R. A.; AGUIAR, C. L. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar por sulfitação: barreiras comerciais e impactos econômicos**. A Economia em Revista, v. 24, n. 1, p. 1-11, jul. 2015. Disponível em:  
<https://repositorio.usp.br/bitstreams/364eb4fb-e951-4769-8e0c-cea27606a406>. Acesso em: 27 out. 2025

NASCIMENTO, Glauco Rosendo Saraiva do. **Controle de qualidade na produção do açúcar**. Santo André: [s.n.], 2020. 41 f. Monografia (Pós-graduação) – [Instituição não especificada], Santo André, 2020. Disponível em:  
[https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/30509/1/GLAUCO\\_SARAIVA\\_MONOGRAFIA.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/30509/1/GLAUCO_SARAIVA_MONOGRAFIA.pdf). Acesso em: 25 set. 2025.

OLIVEIRA, C. P.; FÉLIX ALVAREZ, R. de C.; LIMA, S. F.; CONTARDI, L. M. **Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes**. Agrarian, Dourados, v. 6, n. 21, p. 245251, 16 jul. 2013. Disponível em:  
<https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/1925>. Acesso em: 22 out. 2025.

OLIVEIRA, W. J. de et al. **Função de produção e rendimento da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes manejos hídrico, nutricional e subsolagem**. Irriga, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 93-112, 2023. Disponível em:  
<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4534>. Acesso em: 22 out. 2025.

REIN, Peter. **Engenharia do açúcar de cana**. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2013.

SILVA, L. C.; PEREIRA, R. G.; CARVALHO, D. J. **Aspectos químicos e físicoquímicos da clarificação do caldo de cana-de-açúcar.** Revista Ciência & Tecnologia de Alimentos, v. 37, n. 2, p. 145–153, 2017.

UNGARATTI, Isadora *et al.* **A doçura em detalhes: o processo e as variedades do açúcar.** In: SEMANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 5., 2024, Concórdia. Anais... Concórdia: IFC Concórdia, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fecitac/article/view/6565>. Acesso em: 27 set. 2025.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade.** São Paulo: UNICA, 2005. Disponível em: [https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/08/cana\\_livro\\_unica.pdf](https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/08/cana_livro_unica.pdf). Acesso em: 17 out. 2025