

Etec Professor Jadyr Salles

Gabriel Davi Lima

Rogério Gabriel Camilo Tobias

Vitor Fernando Rodrigues Oliveira

**Influência das etapas do tratamento do caldo de cana-de-açúcar na
qualidade do açúcar VHP**

**Porto Ferreira
2026**

Etec Professor Jadyr Salles

**Influência das etapas do tratamento do caldo de cana-de-açúcar na
qualidade do açúcar VHP**

Relatório Técnico - Científico apresentado na
disciplina de Planejamento do Trabalho de
Conclusão de Curso para o Curso Técnico em
Açúcar e Álcool da Etec Prof. Jadyr Salles.

**Porto Ferreira
2026**

RESUMO

Este projeto tem como objetivo compreender como as etapas do tratamento de caldo influenciam a qualidade do açúcar produzido. Durante o processo de fabricação, o caldo da cana-de-açúcar passa por várias etapas de limpeza e preparação, como ajuste de pH, adição de cal, aquecimento, decantação e filtração. Cada uma dessas etapas pode melhorar ou comprometer características importantes do açúcar, como cor, pureza e presença de impurezas.

A pesquisa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico documental, utilizando livros, artigos científicos, manuais teóricos e publicações do setor sucroenergético. A partir dessas fontes, buscou-se identificar quais etapas do tratamento de caldo exercem maior influência na qualidade final do açúcar, bem como compreender como falhas operacionais podem resultar em aumento da cor e presença de resíduos.

As hipóteses indicam que etapas como clarificação e controle de pH são fundamentais para a obtenção de um açúcar de melhor qualidade, enquanto falhas na decantação e na filtração podem deixar impurezas que afetam o resultado final. Ao final, espera-se contribuir para a compreensão teórica do tema, destacando a importância do controle adequado do tratamento de caldo na produção de açúcar com melhor padrão comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de caldo; Qualidade do açúcar; Cor ICUMSA; Clarificação; Decantação; Pureza; Processo sucroenergético.

ABSTRACT

This study aims to understand how the stages of juice treatment influence the quality of the sugar produced. During the manufacturing process, sugarcane juice undergoes several cleaning and preparation steps, such as pH adjustment, lime addition, heating, decantation, and filtration. Each of these stages can either improve or impair important sugar characteristics, including color, purity, and the presence of impurities.

This research is based exclusively on previously published materials, such as books, scientific articles, industry manuals, and technical studies. No field analyses were conducted. Based on these sources, it is possible to identify which stages of juice treatment have the greatest impact on final sugar quality, as well as to understand how errors or variations in these processes may lead to darker sugar or higher levels of residual impurities.

The proposed hypotheses indicate that steps such as clarification and pH control are essential for achieving higher-quality sugar, while failures in decantation and filtration may allow impurities to remain, negatively affecting the final product. Ultimately, this study aims to compile information that contributes to a better understanding of the process and provides theoretical guidance for producing cleaner, lighter-colored sugar with improved commercial standards.

KEYWORDS: Juice treatment; Sugar quality; ICUMSA color; Clarification; Decantation; Purity; Sugar-energy process.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
METODOLOGIA	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	17
CONCLUSÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
REFERÊNCIAS.....	19

INTRODUÇÃO

A produção de açúcar é um processo industrial que envolve diversas etapas, sendo o tratamento de caldo uma das mais importantes. Nessa fase inicial, o caldo extraído da cana-de-açúcar passa por procedimentos destinados à remoção de impurezas e ao ajuste de suas características para as etapas subsequentes da fabricação. Processos como ajuste de pH, adição de cal, aquecimento, clarificação, decantação e filtração são fundamentais para preparar o caldo, contribuindo diretamente para a obtenção de um açúcar de melhor qualidade.

A qualidade do açúcar, especialmente no padrão VHP, depende diretamente da eficiência dessas etapas. Parâmetros como cor, pureza e presença de impurezas podem variar conforme as condições operacionais adotadas no tratamento de caldo. Quando ocorrem falhas no processo, o produto final pode apresentar coloração mais elevada, menor pureza e características que impactam negativamente seu valor comercial.

Dessa forma, compreender como cada etapa influencia o resultado final é essencial para identificar pontos críticos e orientar melhorias no processo industrial. Nesse contexto, surge o seguinte problema de pesquisa: **como as etapas e variáveis operacionais do tratamento de caldo influenciam a qualidade do açúcar VHP produzido?**

Este trabalho tem como objetivo analisar essas relações por meio de pesquisa bibliográfica e documental, reunindo informações da literatura técnica e científica. Justifica-se pela importância do tema para o setor sucroenergético, uma vez que o controle adequado do tratamento de caldo está diretamente relacionado à eficiência produtiva e à qualidade do produto final.

A produção de açúcar VHP ocupa posição estratégica no setor sucroenergético brasileiro, principalmente em razão da elevada participação do país no mercado internacional. Para atender às exigências de exportação, torna-se indispensável que o produto apresente características como elevada pureza, baixa cor ICUMSA e reduzida presença de impurezas. Esses parâmetros dependem diretamente da eficiência das etapas iniciais do processo industrial, especialmente do tratamento de caldo, responsável por preparar a matéria-prima para as fases de evaporação, cristalização e centrifugação.

Além dos aspectos relacionados à qualidade, o tratamento de caldo também influencia o rendimento industrial e os custos de produção. Processos conduzidos de forma inadequada podem ocasionar perdas de sacarose, aumento da formação de compostos coloridos, dificuldades operacionais e maior consumo de insumos químicos. Por esse motivo, o monitoramento de variáveis como pH, temperatura, tempo de retenção e eficiência da clarificação constitui prática essencial para garantir estabilidade operacional e maior competitividade das unidades produtoras.

Diante desse cenário, o presente trabalho busca reunir informações científicas e técnicas que permitam compreender como cada etapa do tratamento de caldo interfere na qualidade do açúcar VHP. A partir da análise da literatura especializada, pretende-se evidenciar a importância do controle operacional dessas etapas, demonstrando que a adoção de boas práticas contribui para a obtenção de um produto com melhor padrão comercial e maior aceitação no mercado.

HIPÓTESES

A clarificação eficiente reduz impurezas coloidais responsáveis pelo aumento da cor do açúcar final.

Falhas na decantação e na filtração aumentam a presença de partículas e compostos formadores de cor nas etapas subsequentes.

O controle adequado do tratamento de caldo contribui significativamente para a produção de açúcar VHP dentro dos padrões internacionais.

Objetivos Geral

Analisar, por meio de pesquisa bibliográfica e documental, como as etapas do tratamento de caldo influenciam a qualidade do açúcar VHP produzido.

Objetivos Específicos

- Descrever as etapas do tratamento de caldo (aquecimento, caleação, clarificação, decantação, filtração).
- Identificar na literatura quais parâmetros dessas etapas impactam a qualidade do açúcar (cor, pureza, turbidez).
- Relacionar possíveis falhas nessas etapas aos desvios de qualidade do açúcar VHP.
- Reunir recomendações teóricas que auxiliem na melhoria da qualidade do açúcar por meio do tratamento adequado do caldo.

2 METODOLOGIA

Tipo de pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica;
- Pesquisa documental;
- Estudo exploratório-analítico com abordagem qualitativa.

A pesquisa caracteriza-se como bibliográfica e documental, com abordagem qualitativa e caráter exploratório. Foram consultados livros, artigos científicos, periódicos técnicos e documentos institucionais publicados entre 2011 e 2025, relacionados ao tratamento de caldo e à qualidade do açúcar VHP.

Procedimentos

Metodológicos:

A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, com levantamento de livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações técnicas relacionadas ao tratamento de caldo, clarificação, formação de cor e qualidade do açúcar VHP.

Também foi realizada pesquisa documental, com consulta a normas técnicas, manuais operacionais e materiais institucionais do setor sucroenergético.

Os dados analisados são de natureza secundária, incluindo tabelas, gráficos e informações disponibilizadas em estudos já publicados. A análise consistiu na comparação teórica entre diferentes autores, buscando identificar como cada etapa do tratamento de caldo influencia os parâmetros de qualidade do açúcar, como cor ICUMSA, pureza e turbidez.

Por fim, foi realizada a síntese das informações, permitindo a construção da discussão e das conclusões do estudo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Processo de produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar

A produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar compreende um conjunto integrado de operações industriais voltadas à extração, purificação e concentração da sacarose presente no caldo. Após a extração, o caldo bruto apresenta elevada carga de impurezas, incluindo materiais insolúveis, substâncias coloidais e compostos dissolvidos, que interferem diretamente na eficiência das etapas subsequentes.

Nesse contexto, o processo produtivo envolve fases como tratamento de caldo, evaporação, cristalização e centrifugação, sendo o tratamento inicial considerado determinante para o desempenho global do sistema (HONIG, 1978). A literatura técnica aponta que as condições estabelecidas nas etapas iniciais de purificação exercem influência significativa não apenas sobre o rendimento industrial, mas também sobre os parâmetros de qualidade do produto final (MATHUR, 1991). Assim, evidencia-se que o controle adequado dessas etapas constitui fator essencial para a obtenção de açúcar dentro dos padrões exigidos.

3.2 Características do açúcar VHP

O açúcar VHP (Very High Polarization) é o principal tipo de açúcar bruto produzido e exportado pelo Brasil. Sua denominação está relacionada ao elevado teor de sacarose presente nos cristais, normalmente superior a 99,4% de polarização. Por apresentar elevada pureza e boa estabilidade durante o armazenamento e transporte, esse produto é amplamente utilizado como matéria-prima para refinarias localizadas em diversos países.

Além da elevada polarização, o açúcar VHP deve atender requisitos específicos de qualidade estabelecidos pelo mercado internacional, incluindo limites para umidade, teor de cinzas, granulometria e cor. Entre esses parâmetros, destaca-se a cor ICUMSA, que representa a intensidade da coloração do açúcar e constitui um dos principais indicadores de qualidade comercial.

A sigla ICUMSA refere-se à International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, organização responsável pela padronização internacional dos métodos de análise de açúcar. Valores mais baixos de cor indicam menor presença de compostos coloridos e impurezas, sendo geralmente associados a produtos de maior qualidade. Dessa forma, a obtenção de açúcar VHP dentro das especificações de mercado depende diretamente da eficiência das etapas de tratamento e purificação do caldo.

A qualidade do açúcar VHP possui grande importância econômica para as usinas sucroenergéticas, uma vez que desvios nos parâmetros de qualidade podem resultar em desvalorização comercial do produto ou dificuldades de comercialização no mercado externo. Assim, o controle adequado das etapas industriais torna-se essencial para garantir competitividade e atendimento às exigências dos compradores.

3.3 Importância do tratamento de caldo

O tratamento de caldo pode ser compreendido como um conjunto de operações físico-químicas destinadas à remoção de impurezas e ao condicionamento do caldo para as fases subsequentes do processo produtivo. Entre seus principais objetivos, destacam-se a redução da turbidez, a eliminação de compostos formadores de cor e a estabilização das condições químicas do sistema.

Estudos indicam que essa etapa exerce papel decisivo na definição da qualidade do açúcar, especialmente no que se refere à cor ICUMSA e à pureza do produto (STUPIELLO, 2012). Nesse sentido, a eficiência do tratamento está diretamente relacionada à capacidade de remoção de impurezas coloidais, as quais, quando não eliminadas, contribuem para a formação de compostos indesejáveis ao longo do processo (TEIXEIRA et al., 2016).

Dessa forma, observa-se uma convergência entre os autores quanto à relevância estratégica do tratamento de caldo, sendo amplamente reconhecido como um dos principais determinantes da qualidade final do açúcar.

3.4 Principais impurezas presentes no caldo de cana-de-açúcar

O caldo extraído da cana-de-açúcar apresenta uma série de impurezas que podem comprometer tanto a eficiência industrial quanto a qualidade do açúcar produzido. Essas impurezas podem ser classificadas em materiais insolúveis, substâncias coloidais, compostos dissolvidos e microrganismos.

Entre os materiais insolúveis destacam-se partículas de terra, areia, argila e bagacilho provenientes da colheita e da extração da cana. Essas partículas aumentam a turbidez do caldo e podem causar desgaste em equipamentos, além de dificultar as etapas de clarificação e filtração.

As substâncias coloidais incluem proteínas, gomas, ceras, pectinas e polissacarídeos produzidos por microrganismos. Por permanecerem dispersas no meio líquido, essas partículas apresentam difícil separação e contribuem significativamente para a formação de cor e aumento da viscosidade do caldo.

Outro grupo importante é formado pelos microrganismos presentes na matéria-prima, principalmente bactérias dos gêneros *Leuconostoc* e *Lactobacillus*. Esses microrganismos utilizam açúcares do caldo como fonte de energia e podem produzir compostos indesejáveis, como a dextrana, um polissacarídeo que aumenta a viscosidade do sistema, dificulta a cristalização e reduz a eficiência industrial.

Além disso, compostos fenólicos e produtos oriundos da degradação da matéria orgânica também podem contribuir para o aumento da cor do açúcar. Por essa razão, o tratamento de caldo tem como principal objetivo remover ou reduzir essas impurezas antes das etapas de evaporação e cristalização, garantindo melhores condições operacionais e maior qualidade ao produto final.

Influência das etapas do tratamento de caldo sobre a qualidade do açúcar		
Etapas do processo	Principal função	Principal função
Caleação	Ajuste de pH e coagulação de impurezas	Redução da inversão da sacarose e melhoria da pureza
Aquecimento	Desnaturação de proteínas e auxílio à coagulação	Favorece a remoção de impurezas e reduz a turbidez
Clarificação	Formação de flocos e separação de impurezas	Redução da cor e aumento da pureza
Decantação	Remoção dos flocos formados	Diminuição de sólidos suspensos no caldo
Filtração	Recuperação de sacarose e retenção de impurezas	Redução da recirculação de contaminantes
Fonte: Adaptado de Honig (1978), Mathur (1991) e Teixeira et al. (2016).		

3.5 Etapas do tratamento de caldo

3.5.1 Ajuste de pH e caleação

O caldo de cana-de-açúcar apresenta caráter naturalmente ácido, condição que favorece a inversão da sacarose em açúcares redutores, como glicose e frutose. Esse processo é indesejável, uma vez que impacta negativamente a pureza e contribui para o aumento da cor do açúcar.

Com o objetivo de neutralizar essa acidez, realiza-se a adição de cal, etapa conhecida como caleação, responsável por elevar o pH do sistema e promover a coagulação de impurezas. De acordo com a literatura, o controle adequado do pH é fundamental para garantir a eficiência da clarificação e minimizar perdas de sacarose durante o processo (TEIXEIRA et al., 2016).

Além disso, valores inadequados de pH comprometem a formação de flocos e reduzem a eficiência da decantação, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo dessa variável operacional. Nesse sentido, o equilíbrio químico do sistema constitui fator crítico para o bom desempenho das etapas subsequentes.

3.5.2 Aquecimento do caldo

O aquecimento do caldo desempenha função essencial no tratamento, contribuindo para a redução da viscosidade e para a intensificação das reações iniciadas durante a caleação. Esse processo favorece a coagulação de impurezas e a formação de flocos de maiores dimensões, facilitando sua remoção.

A literatura aponta que o aumento da temperatura promove a desnaturação de proteínas, processo que contribui para sua aglomeração e posterior separação do meio líquido (HONIG, 1978). No entanto, destaca-se que o controle térmico deve ser realizado de forma criteriosa, uma vez que temperaturas elevadas podem intensificar reações de escurecimento e degradação dos açúcares (MATHUR, 1991).

Dessa forma, observa-se que o aquecimento representa uma etapa de equilíbrio operacional, na qual se busca maximizar a remoção de impurezas sem comprometer a qualidade do produto final.

3.5.3 Clarificação e decantação

As etapas de clarificação e decantação são responsáveis pela separação das impurezas presentes no caldo, sendo fundamentais para a obtenção de um líquido com menor carga de contaminantes. A clarificação envolve a formação de flocos por meio da coagulação de partículas, enquanto a decantação promove a separação desses flocos por ação da gravidade.

Estudos indicam que a eficiência da decantação está diretamente relacionada a variáveis como tempo de retenção, temperatura e condições hidrodinâmicas do sistema (MATHUR, 1991). Quando essas condições não são adequadamente controladas, ocorre a passagem de impurezas para o caldo clarificado, comprometendo o desempenho das etapas subsequentes.

Essa situação pode resultar em dificuldades operacionais nas fases de evaporação e cristalização, além de contribuir para o aumento da cor do açúcar. Assim, evidencia-se que o controle rigoroso dessas etapas é essencial para garantir a eficiência do processo e a qualidade do produto.

3.5.4 Filtração e recuperação de caldo

Após a decantação, o lodo gerado ainda apresenta quantidade significativa de sacarose, sendo necessária a realização da filtração para sua recuperação. Essa etapa, além de contribuir para o aumento do rendimento industrial, desempenha papel relevante na redução da recirculação de impurezas no sistema.

De acordo com estudos do setor, a filtração eficiente permite a obtenção de um caldo com menor teor de contaminantes, contribuindo para a estabilidade do processo produtivo (TEIXEIRA et al., 2016). Por outro lado, falhas nessa etapa podem resultar no retorno de materiais indesejáveis, afetando negativamente as fases subsequentes.

Dessa forma, a filtração deve ser compreendida não apenas como uma etapa de recuperação, mas também como um elemento fundamental para a manutenção da qualidade do processo.

3.6 Parâmetros de qualidade do açúcar

A qualidade do açúcar, especialmente no padrão VHP, é avaliada por meio de parâmetros como cor ICUMSA, pureza, turbidez e teor de cinzas. Esses indicadores refletem diretamente a eficiência das etapas de tratamento e purificação do caldo.

De acordo com a ICUMSA (2011), a cor do açúcar está associada à presença de compostos formadores de cor e impurezas não removidas ao longo do processo. Nesse sentido, a eficiência do tratamento de caldo exerce influência direta sobre esse parâmetro, sendo determinante para a classificação comercial do produto.

Além disso, a pureza do açúcar está relacionada à proporção de sacarose em relação às demais substâncias presentes, constituindo um dos principais indicadores de qualidade. Assim, observa-se que o controle das etapas iniciais é essencial para garantir a conformidade com os padrões exigidos pelo mercado.

3.7 Relação entre o tratamento de caldo e a qualidade do açúcar

A literatura evidencia uma relação direta entre o desempenho do tratamento de caldo e a qualidade final do açúcar produzido. Estudos apontam que falhas nas etapas de purificação resultam em aumento da cor, redução da pureza e dificuldades operacionais nas fases subsequentes do processo (RAJARAM; CHELLAPPAN, 2014).

Nesse contexto, destaca-se que o controle das variáveis operacionais, como pH, temperatura e tempo de retenção, é fundamental para assegurar a eficiência do sistema produtivo. A ausência desse controle pode comprometer não apenas a qualidade do produto, mas também o rendimento industrial.

Dessa forma, conclui-se que o tratamento de caldo constitui uma etapa estratégica dentro da indústria sucroenergética, sendo diretamente responsável pela obtenção de um açúcar com características adequadas aos padrões comerciais.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base na literatura analisada, observa-se que o tratamento de caldo exerce influência direta na qualidade final do açúcar produzido, corroborando as hipóteses propostas neste estudo. Etapas como controle de pH, aquecimento, clarificação, decantação e filtração estão diretamente relacionadas a parâmetros como cor, pureza e presença de impurezas.

O controle de pH mostrou-se fundamental para evitar a degradação da sacarose. Conforme apontado por Teixeira et al. (2016), valores inadequados de pH favorecem a inversão da sacarose em açúcares redutores, como glicose e frutose, os quais contribuem para o aumento da cor do açúcar e redução da pureza. Esse resultado reforça a importância da caleação adequada no processo.

O aquecimento do caldo também desempenha papel relevante, especialmente por favorecer a desnaturação de proteínas, facilitando a formação de flocos e sua posterior remoção. No entanto, conforme destacado por Honig (1978), temperaturas excessivas podem intensificar reações de escurecimento, comprometendo a qualidade do produto.

Nas etapas de clarificação e decantação, verificou-se que a eficiência está diretamente relacionada à formação e remoção adequada dos flocos. De acordo com Mathur (1991), falhas nesses processos permitem a passagem de impurezas para as etapas seguintes, afetando negativamente operações como evaporação e cristalização.

A filtração, por sua vez, além de contribuir para a recuperação de sacarose, tem papel importante na redução da recirculação de impurezas. Quando realizada de forma inadequada, pode comprometer todo o sistema produtivo, conforme indicado por Teixeira et al. (2016).

De forma geral, os resultados evidenciam que todas as etapas do tratamento de caldo estão interligadas, e falhas em qualquer uma delas impactam diretamente a qualidade final do açúcar, confirmando a necessidade de controle rigoroso das variáveis operacionais.

Os estudos analisados demonstram consenso quanto à influência direta das etapas de tratamento de caldo sobre os parâmetros de qualidade do açúcar. Embora existam diferenças operacionais entre unidades industriais, observa-se que o controle de pH, temperatura e eficiência da

clarificação são fatores recorrentes para obtenção de açúcar VHP com menor cor ICUMSA e maior pureza.

CONCLUSÃO

Com base na análise realizada, conclui-se que o tratamento de caldo exerce papel fundamental na qualidade final do açúcar produzido, influenciando diretamente parâmetros como cor, pureza e presença de impurezas.

A análise da literatura corroborou as hipóteses levantadas, evidenciando que o controle adequado do pH, por meio da caleação, é essencial para evitar a inversão da sacarose. Da mesma forma, o aquecimento controlado favorece a remoção de impurezas, enquanto as etapas de clarificação, decantação e filtração são determinantes para a eficiência do processo.

Verificou-se ainda que falhas nessas etapas comprometem significativamente a qualidade do produto final, podendo gerar aumento da cor, redução da pureza e dificuldades nas etapas subsequentes da produção.

Dessa forma, destaca-se a importância do controle das variáveis operacionais ao longo de todo o processo, visando garantir a produção de açúcar dentro dos padrões exigidos pelo mercado.

Por fim, este trabalho contribui para a compreensão teórica do tema, reforçando a relevância do tratamento de caldo no setor sucroenergético e sua influência direta na qualidade do açúcar.

Os objetivos geral e específicos propostos foram alcançados por meio da revisão bibliográfica e documental realizada.

REFERÊNCIAS

HONIG, Pieter (Ed.). Principles of Sugar Technology. v. 1. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1953.

ICUMSA – INTERNATIONAL COMMISSION FOR UNIFORM METHODS OF SUGAR ANALYSIS. Methods Book. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens, 2011. Disponível em: <https://www.icumsa.org/icumsa-methods-book/>. Acesso em: 17 jun. 2026.

MATHUR, R. B. L. Handbook of Cane Sugar Technology. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co., 1991.

RAJARAM, R.; CHELLAPPAN, S. Sugarcane Processing and Sugar Quality. International Journal of Research in Business and Science, 2014.

STAB – SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL. Revista STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba: STAB, 2015–2023.

STUPIELLO, José Paulo. Tecnologia do Açúcar: Produção, Qualidade e Controle. Piracicaba: STAB, 2012.

TEIXEIRA, C. C.; BRESSAN, F.; MACEDO, I. C. Processos Industriais do Setor Sucroenergético. Piracicaba: STAB, 2016.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia. Qualidade do Açúcar VHP. São Paulo: UNICA, 2020. Disponível em: <https://unica.com.br/>. Acesso em: 17 jun. 2026.