



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

WESLEY KEITYSON SILVA SOUSA

**ANÁLISE INTEGRATIVA DA LITERATURA SOBRE O CONTROLE DE
QUALIDADE DA PRODUÇÃO DO AÇÚCAR REFINADO**

**CAMPINA GRANDE
2021**

WESLEY KEITYSON SILVA SOUSA

**ANÁLISE INTEGRATIVA DA LITERATURA SOBRE O CONTROLE DE
QUALIDADE DA PRODUÇÃO DO AÇÚCAR REFINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Programa de Graduação
em Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Químico
Industrial

Orientador: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz.

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725a Sousa, Wesley Keityson Silva.

Análise integrativa da literatura sobre o controle de qualidade da produção de açúcar refinado [manuscrito] / Wesley Keityson Silva Sousa. - 2021.

60p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Produção de açúcar. 2. Controle de qualidade. 3. Cana-de-açúcar. 4. Tecnologia de alimentos. I. Título

21.ed. CDD664.11

WESLEY KEITYSON SILVA SOUSA

ANÁLISE INTEGRATIVA DA LITERATURA SOBRE O CONTROLE DE QUALIDADE
D PRODUÇÃO DO AÇÚCAR REFINADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Programa de Graduação
em Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Químico
Industrial

Aprovada em: 04/10/2021.

BANCA EXAMINADORA

Márcia Ramos Luiz

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Lígia Maria Ribeiro Lima

Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Pablicia Oliveira Galdino

Profa. Dra. Pablicia Oliveira Galdino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

À Deus, todo poderoso, pela minha vida, saúde e disposição para continuar buscando meus objetivos.

À minha família pela educação e bons costumes que me foram passados e pelo apoio desde o início da graduação até nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Professora Márcia Ramos Luiz, pelas sugestões, incentivo, apoio, atenção e carinho durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha amiga Gerda, pela atenção e apoio principalmente nos momentos que eu mais precisei, bem como pela enorme oportunidade de aprendizado.

A banca avaliadora pelas contribuições.

Aos professores do Curso de Química Industrial.

Ao Químico Industrial, Romilson Reges da Silva por todos os ensinamentos e orientações que foram me passados, contribuindo para o meu desenvolvimento profissional.

A todos que contribuíram direta e/ou indiretamente para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

“Quem tem Jesus nem perde, nem empata, só vence!”

Autor Desconhecido

RESUMO

O açúcar é um dos mais importantes produtos oriundos do setor sucroalcooleiro na economia de exportação do Brasil. Sua produção utiliza como matéria-prima a cana-de-açúcar, que tem o Brasil como maior produtor mundial. Sendo assim, percebe-se que a qualidade do açúcar produzido no país é de grande interesse comercial, fazendo com que as etapas desse processo de controle sejam de grande interesse para pesquisas nacionais e internacionais. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi realizar um referencial teórico envolvendo as etapas de produção do açúcar cristal refinado e seu controle de qualidade por parâmetros físico-químicos. Como metodologia de pesquisa foram definidos descritores e critérios de seleção para realizar a busca dos artigos nas principais bases de dados, dando ênfase aos trabalhos que desenvolveram estudos acerca dos parâmetros físico-químicos como cor, polarização, teor de cinzas, determinação de minerais, pureza, teor de fibras, dentre outros parâmetros. Como resultado, um total de nove (09) artigos foram selecionados, tratando de análises voltadas para a investigação de novas metodologias envolvendo o controle de qualidade ou análises do açúcar refinado, como determinação do teor de sacarose, estimativa da cor do açúcar, melhoramento da turbidez e a influência de polissacarídeos no processo de filtragem. Os artigos foram analisados a partir das etapas destacadas pela metodologia de revisão integrativa e foram destacados as metodologias e resultados de cada um dos estudos, possibilitando uma visão detalhada sobre cada um dos parâmetros investigados. Foi possível observar que a abordagem das pesquisas visa o melhoramento das condições de produção dentro das empresas, buscando desenvolver métodos que facilitem as análises de rotina sem perder a qualidade dos resultados e otimizando a qualidade do produto final. As abordagens analisadas buscam atender as necessidades de produção e consumo, com novas tecnologias mais eficazes e menos destrutivas para o meio ambiente.

Palavras-Chave: Açúcar. Qualidade. Cana-de-açúcar. Avaliação.

ABSTRACT

Sugar is one of the most important products from the sugar-alcohol sector in Brazil's export economy. Its production uses sugarcane as raw material, has Brazil as the world's largest producer. Therefore, it is perceived that the quality of sugar produced in the country is of great commercial interest, making the steps of this control process are of great interest for national and international researches. In view of this, the objective of this work was to accomplish an integrative review of the literature upon on the main analyses involved in quality control of refined sugar production. As research methodology, writers and selection criteria defined to search for articles in the main databases. As a result, a total of nine (09) articles were selected, dealing with elementary analyses, determination of minerals, insecticides, pesticides, physicochemical and microbiological analyses of refined sugar and others kinds of sugar as well, that were analyzed in detail to compose the discussion of this work. It was noticed, with this analysis, that the technological advances that have occurred and been occurring, aiming to optimize production and quality control processes, searching to offer a high purity product. Further, the concern with development was also notable and validation and of more effective methods and the fastest, to improve the production stages and monitor the quality of refineries' products. it was concluded that the world economic importance of sugar reflects in the interest in new researches, increasingly generating more and more new applicable methodologies to the industrial sector.

Keywords:Sugar. Quality. Sugarcane. Evaluation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Desenho representativo da cana-de-açúcar.....	17
Figura 2	Estruturas químicas da sacarose, glucose e frutose.....	19
Figura 3	Estrutura química de compostos fenólicos pigmentantes presentes no caldo de cana-de-açúcar.....	21
Figura 4	Esquema simplificado do processamento de açúcar cristal.	22
Figura 5	Representação esquemática do processo de peneiramento.....	25
Figura 6	Representação esquemática do processo de decantação.	29
Figura 7	Decantador tipo Dorr.	29
Figura 8	Evaporador em duplo efeito.	31
Figura 9	Evaporador em quádruplo efeito.....	31
Figura 10	Tacho com sistema de agitação forçada, à esquerda o movimento da massa cozida e a esquerda as hélices que auxiliam na movimentação.	33
Figura 11	Centrifugador contínuo.	34
Figura 12	Centrifugador descontínuo.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATR	Açúcares Totais Recuperáveis
ICUMSA	<i>International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
UI	Unidade de ICUMSA
VHP	<i>Very High Polarization</i>
VVHP	<i>Very Very High Polarization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Contexto histórico e definição	14
2.2	Mercado do açúcar	15
2.3	Matéria-prima do açúcar	16
2.3.1	Açúcares	18
2.3.2	Não açúcares e demais componentes	20
2.4	Processamento do açúcar	21
2.4.1	Colheita e recepção da matéria prima	23
2.4.2	Limpeza da cana-de-açúcar	23
2.4.3	Extração do caldo de cana-de-açúcar	24
2.4.4	Tratamento químico do caldo de cana-de-açúcar	25
2.4.4.1	Peneiramento	25
2.4.4.2	Tratamento com agentes clarificantes	26
2.4.4.3	Caleação	27
2.4.4.4	Flasheamento	27
2.4.4.5	Decantação	28
2.4.4.6	Filtração	30
2.4.5	Evaporação	30
2.4.6	Cozimento e cristalização	32
2.4.7	Centrifugação	33
2.4.8	Secagem	35
2.4.9	Armazenamento	37
2.4.9.1	Armazenamento em sacas	38
2.4.9.2	Armazenamento a granel	38
2.5	Processamento do açúcar refinado	38
2.5.1	Dissolução do açúcar cristal e clarificação da calda de açúcar	39
2.5.2	Filtração e evaporação	39
2.5.3	Cristalização, secagem e armazenamento	40

2.6	Tipos de açúcares refinados	40
2.6.1	<i>Açúcar refinado granulado</i>	40
2.6.2	<i>Açúcar refinado amorfo</i>	41
2.7	Controle de qualidade	41
3	METODOLOGIA	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cana-de-açúcar é uma das principais riquezas da agricultura, junto com a soja e o milho, sendo considerado o maior produtor dessa matéria-prima (CONAB, 2021). Os seus principais produtos, açúcar e álcool, movimentam uma boa parcela no PIB nacional (cerca de 2%). A variedade de usos da cana-de-açúcar é notável, sendo totalmente aproveitada para produção, alimentação de animais e energia, cogeração. É rica em sacarose e outros açúcares (glicose e frutose), de onde vem sua importância econômica pela produção de açúcar e etanol (OMETTO, 2000).

Dos principais produtos, o açúcar ganha destaque na economia, principalmente em relação à exportação (quarto setor mais representativo), sendo responsável por uma grande parcela da produção mundial de açúcar. Na safra de 2020/21, a produção brasileira foi de 22% do total mundial (179,9 milhões de toneladas) e exportou cerca de 30,7 milhões de toneladas de açúcar, sendo quase 20 milhões comercializado para China, Argélia, Bangladesh, Índia, Indonésia, Nigéria, Marrocos, Malásia, Arábia Saudita e Iraque (USDA, 2021).

Diante disso, as condições de mercado indicam que a previsão para as próximas safras é o aumento da produção e exportação, fazendo com que esse continue sendo um dos principais produtos nacionais para exportação no próximo ano (NACHILUK, 2021).

Para a produção do açúcar, são necessários diversos procedimentos desde a extração do caldo, até a cristalização e refino, para obtenção do produto final. O tratamento do caldo envolve as etapas de pré-aquecimento, sulfitação, calagem, aquecimento, flasheamento, decantação, filtração, até atingir o patamar de caldo clarificado. Essas etapas envolvem uma série de processos, incluindo o uso de agentes químicos e maquinário específico, auxiliando na obtenção do produto (PAULINO, 2009).

Durante esses processos, a qualidade do açúcar é um parâmetro de interesse, pois se torna essencial para manter o produto no topo da economia internacional, aumentando o interesse do mercado internacional em um produto de alta qualidade. O controle de qualidade é uma das principais preocupações das indústrias que processam alimentos, visando a obtenção de produtos seguros que tenham qualidade e que não ofereçam riscos para a saúde (OLIVEIRA, 2018).

Na área industrial, o interesse em pesquisas de qualidade, assim como procedimentos com melhor desempenho e que, conseqüentemente, geram um produto de melhor qualidade e um processo com custos menores, são altíssimos, sendo alvo de diversos investimentos internos e externos em pesquisas na área (DE PAULA; ALVES; NANTES, 2017). No Brasil, devido ao cenário econômico internacional, no qual o açúcar segue liderando, essas pesquisas se tornam fundamentais para fortalecer o cenário nacional, tanto em produção quanto em tecnologia de produção sucroalcooleira (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JÚNIOR, 2007).

Diante do exposto, é notável a importância de conhecer o cenário científico, tanto para desenvolver uma base científica que possa estruturar novas pesquisas, quanto para implantar ou avaliar as estratégias utilizadas para realizar o controle de qualidade nas refinarias de açúcar.

A revisão da literatura é uma forma de compilar as principais contribuições de uma temática perante o meio científico, realizando uma busca em unidades primárias de conhecimento para desenvolver uma unidade secundária que fornece uma análise crítica acerca de determinado tema. Portanto, esse estudo teve o intuito de mostrar a importância da avaliação da qualidade do açúcar refinado produzido.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um referencial teórico envolvendo as etapas de produção do açúcar cristal refinado e seu controle de qualidade por parâmetros físico-químicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever sobre as etapas de produção de açúcar cristal refinado;
- Identificar os estudos nacionais e internacionais sobre análises físico-químicas do açúcar refinado, como determinação do teor de sacarose, estimativa da cor do açúcar, determinação de minerais, polarização, dentre outros parâmetros importantes;

- Analisar as metodologias e os resultados de artigos científicos selecionados sobre os parâmetros utilizados no controle de qualidade do açúcar cristal;
- Realizar um referencial teórico envolvendo as etapas de produção do açúcar cristal refinado e seu controle de qualidade por parâmetros físico-químicos;
- Avaliar a evolução de métodos para a determinação de parâmetros físico-químicos nos artigos selecionados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contexto histórico e definição

Os relatos encontrados na literatura afirmam que, em grande parte das regiões a nível mundial, até meados do século XVII, o açúcar era tratado como uma especiaria rara e cara de acesso restrito aos nobres e aos mais ricos como prescrições médicas ou como tempero. Na Europa, o uso se estendia à conservação de alimentos e em decorações, servindo como forma de demonstrar a riqueza da família, considerado símbolo de luxo e ostentação (MATOS; MARQUES, 2019).

O aumento na procura do açúcar pelos europeus no final do século XVII proporcionou a expansão do seu cultivo. A ilha da Madeira em Portugal, por exemplo, converteu-se no primeiro local de superprodução e fornecimento de açúcar para a Europa. Todavia, como o espaço tornou-se insuficiente para a produção, as técnicas foram levadas para as Américas, terras recém-descobertas, caracterizadas por abundância de solo. Diante desse cenário, a cana-de-açúcar chegou ao Nordeste do Brasil, trazida pelos portugueses em 1526 e a produção foi posteriormente difundida para outras regiões do país, com o início da produção em massa no século XVIII (FREITAS; MORAIS, 2017).

À vista disso, o desenvolvimento nacional que remonta ao período colonial tem a monocultura de açúcar como uma de suas principais características, chegando a ser a principal produção brasileira em determinado momento. A produção de açúcar, e conseqüentemente o preço, sofreu períodos de altos e baixos durante os dois primeiros séculos de colonização; a década de 1580 marca o início do auge dessa produção, principalmente no Nordeste, em virtude do grande número de engenhos encontrados (PACHER, 2014).

A partir de 1870, estendendo-se até 1929, constituíram-se as fábricas que hoje são chamadas de usinas, mas que se tratam, fundamentalmente, de unidades agroindustriais semelhantes aos antigos engenhos, evidentemente maiores e mais avançadas em termos tecnológicos (MARANHÃO, 2006).

O açúcar, do sânscrito *sakkar* ou *sarkara*, que significa grãos de areia, grãos doces ou areia grossa, é constituído tanto de monossacarídeos, como glicose, galactose e frutose; quanto de sacarose, lactose e maltose, que são dissacarídeos; logo, estão incluídos no grupo dos carboidratos, assim como os amidos e

determinadas fibras. Os açúcares podem estar incorporados naturalmente à estrutura de frutas e outros vegetais ou serem adicionados aos alimentos, os últimos são denominados açúcares livres ou de adição e tem como principal característica o sabor adocicado (WHO, 2015).

Tomando como base as propriedades químico-estruturais, os carboidratos podem ser divididos quanto ao grau de polimerização em açúcares, oligossacarídeos, polissacarídeos e polióis (YAN; HU; GÄNZLE, 2018).

No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 360 promulgada no ano de 2003 define os açúcares como: todos os monossacarídeos e dissacarídeos presentes em um alimento que são digeridos, absorvidos e metabolizados pelo ser humano. Não se incluem os polióis (BRASIL, 2003). Esses últimos, segundo a legislação brasileira, podem ser classificados como aditivos alimentares e podem ser adicionados a alimentos que aleguem não adição de açúcar (BRASIL, 2008; 2010).

Ainda assim, a utilização do vocábulo açúcar no singular refere-se apenas à sacarose purificada ou açúcar refinado. A Agência Nacional de Vigilância (ANVISA) corrobora tal afirmação, visto que segundo essa, o açúcar trata da sacarose obtida do açúcar de cana-de-açúcar purificado por processo tecnológico (BRASIL, 2018; VAN HORN *et al.*, 2010).

É importante chamar atenção para o fato de que a sacarose é o principal produto da fotossíntese das plantas e ocorre naturalmente em frutas, vegetais, néctar e na seiva de diversas plantas, logo, sua extração não é restrita apenas à cana-de-açúcar, ainda que seja a mais comum (BARCLAY; SANDALL; SHWIDE-SLAVIN, 2014).

2.2 Mercado do açúcar

Em termos de *commodities* agroindustriais, o século 21 representa para o Brasil uma maior projeção em vários mercados internacionais, realidade que se aplica diretamente ao mercado de açúcar. Os dados mais recentes apontam que esse mercado é responsável por 45% do total de exportações do país, desde meados da década de 1990, além de totalizar 20% da produção global em 2018 (CRUZ; COELHO; TORRES, 2020).

De acordo com Fingueruti (2019), o setor sucroalcooleiro brasileiro é responsável por contribuir com cerca de 2% do PIB brasileiro e 10% do valor bruto

total do agronegócio, que representa 20% do PIB nacional, colocando o açúcar em segunda posição na pauta exportadora do Brasil. Ainda assim, o produtor de açúcar tem lidado com altos custos de produção, baixa renovação, envelhecimento dos canaviais e queda da produtividade agrícola.

Previu-se sinais de manutenção da produção e da produtividade da cana-de-açúcar para a safra 2019–2020, a despeito da queda da exportação do açúcar por causa dos baixos preços no mercado mundial. A produção de brasileira de açúcar, que está na segunda posição no *ranking* mundial, foi estimada em 30,5 milhões de toneladas (CRUZ; COELHO; TORRES, 2020).

2.3 Matéria-prima do açúcar

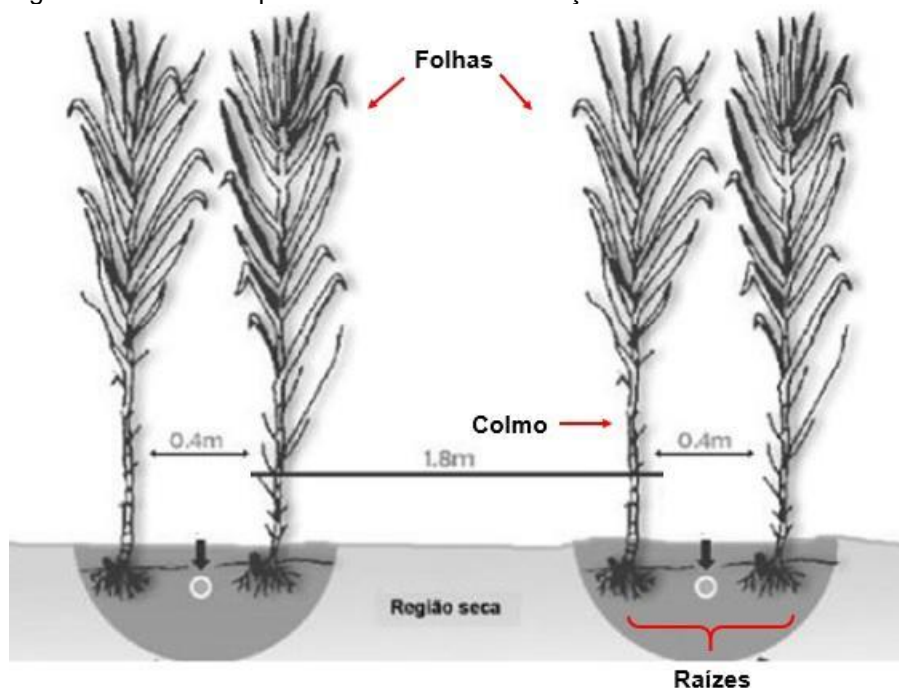
As primeiras variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil para fins industriais pertenciam à espécie *Saccharum officinarum*, a mais rica em açúcar e mais pobre em fibra, predomina a hibridação complexa dessa mesma espécie com outras espécies. Tal recombinação possibilita variedades caracterizadas pela resistência a pragas, maior quantidade de açúcar, boa quantidade de fibras e safras mais produtivas. O ciclo de crescimento e maturação da planta se repete anualmente, num curso de 12 a 18 meses (CASTRO, ANDRADRE, 2007).

A composição da cana-de-açúcar de acordo com Crema (2012) e ilustrada na Figura 1, é essencialmente dividida em três partes:

- Raízes profundas: onde toda riqueza orgânica e mineral do solo é absorvida.
- Folhas: responsáveis por realizar as funções de respiração, transpiração e elaboração dos aminoácidos, açúcares, proteínas e compostos lignocelulósicos.
- Colmo: parte que contém nós e entrenós, onde pode-se observar uma gema, que é protegida pela bainha da folha, parte onde é acumulado todo açúcar produzido pelas folhas, que contém praticamente 90% de caldo presente na cana-de-açúcar (que é constituído por 92% de caldo e 8% de fibras). Industrialmente essa composição é primordial para a eficiência da produção, visto que a mesma irá variar de acordo com diversos fatores, como clima, natureza do solo, adubação, estado de maturação, irrigação, florescimento,

sanidade da cultura, tipo de colheita, período da safra, condições e tempo de armazenamento.

Figura 1- Desenho representativo da cana-de-açúcar.



Fonte: Gavaet al., 2011.

Segundo Crema (2012, p. 26), o caldo da cana-de-açúcar pode ser definido como: “uma solução complexa de sacarose impura e diluída, cujas impurezas se encontram dissolvidas e em dispersão coloidal”.

Os componentes existentes, apresentados na Tabela 1 em companhia com as respectivas variações de concentração, são os açúcares (sacarose, glicose e frutose), os não açúcares (sais orgânicos e inorgânicos, proteínas, pectinas, gomas, ceras e gorduras) e diversas impurezas externas da própria cana-de-açúcar, as quais podem ser de origem vegetal e/ou mineral. A coloração do caldo, que é um líquido turvo, pode variar do castanho claro ao verde escuro; após a extração, a solução é ácida (CASTRO, ANDRADRE, 2007).

Tabela 1 - Composição do caldo de cana-de-açúcar e suas respectivas faixas de concentração encontradas.

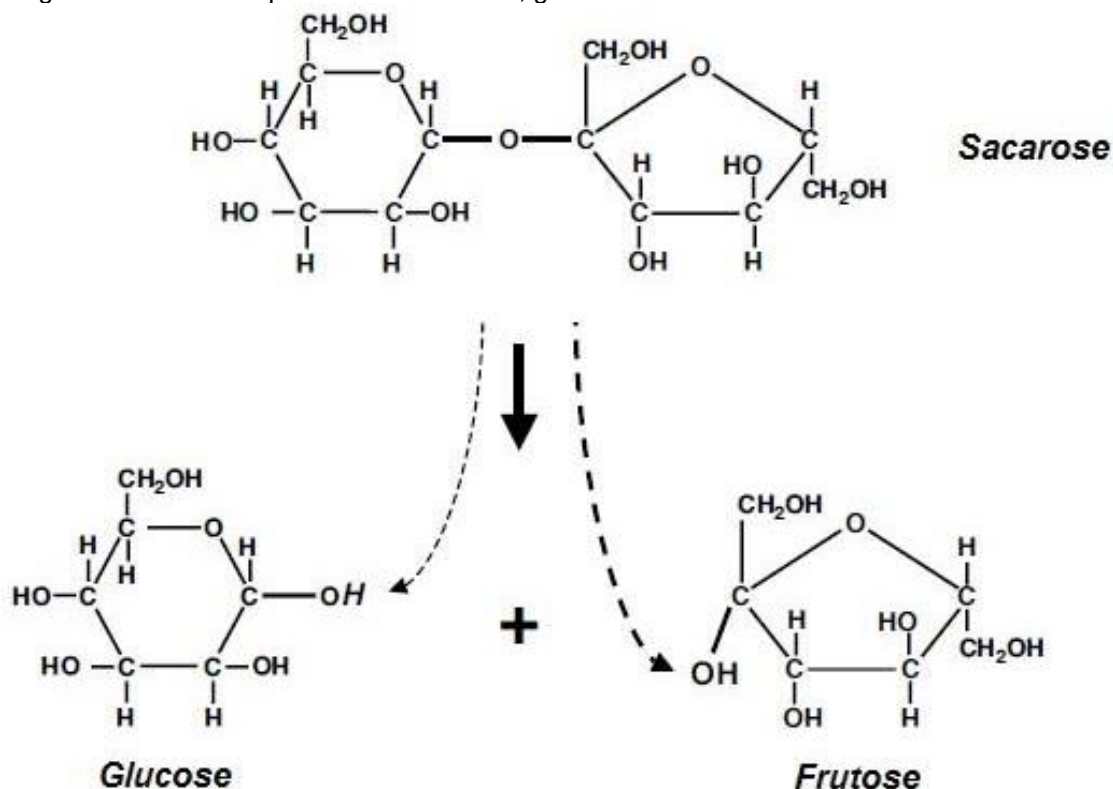
Componentes	Varição (%)
Sacarose	75,000 – 93,000
Glicose	2,000 – 4,000
Frutose	2,000 – 4,000
Sais	3,000 – 5,000
Ácidos inorgânicos	1,500 – 4,500
Ácidos orgânicos	1,000 – 3,000
Ácidos carboxílicos	1,100 – 3,000
Aminoácidos	0,500 – 2,500
Proteínas	0,500 – 0,600
Amido	0,001 – 0,050
Gomas	0,300 – 0,600
Ceras e gorduras	0,050 – 0,150
Corantes vegetais e outros	3,000 – 5,000

Fonte: Menezes (2012).

2.3.1 Açúcares

A sacarose, cuja fórmula química é $C_{12}H_{22}O_{11}$, é o constituinte de maior interesse no caldo e apresenta-se em grande proporção na produção de açúcar. A $C_{12}H_{22}O_{11}$ é um dissacarídeo do tipo trealose, que por hidrólise (absorção de uma molécula de água) forma uma molécula de glicose (dextrose) e uma molécula de frutose (levulose) (Figura 2). Isto é, a sacarose em solução sob a presença de agentes inversores sofre um processo de inversão de açúcares. A reação de inversão da sacarose não ocorre instantaneamente na ausência de agentes inversores, podendo demandar de várias horas para a inversão total (OLIVEIRA, 2020).

Figura 2- Estruturas químicas da sacarose, glucose e frutose.



Fonte: Sachman, 2005.

Tanto a glicose quanto a frutose são conhecidas como açúcares redutores, monossacarídeos de mesma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$), a glicose possui um grupo aldeído livre que pode ser oxidado por soluções alcalinas de sais de cobre, iodo e entre outros agentes oxidantes. Já na frutose o oxigênio está ligado ao Carbono 2, em vez de estar no Carbono 1 (CASTRO; ANDRADRE, 2007).

A glicose caracteriza-se por ser a fonte de energia de quase todos os seres vivos, além de ser encontrada nas mais diversas plantas, onde é armazenada na forma de amido e no sangue dos animais, por sua vez, como glicogênio. Outro monossacarídeo simples, a frutose, tem um grande poder adoçante, na sua forma natural, encontra-se em frutas de árvore, bagas, flores, mel e tubérculos, onde se encontra majoritariamente ligada à glicose, formando o dissacarídeo sacarose, estando também presente na sua forma livre, em maior ou menor quantidade, na maior parte destes. Esse dissacarídeo está presente numa variedade enorme de plantas e constituintes de plantas, enquanto industrialmente é extraída da cana-de-açúcar e da beterraba (ALEGRIO, 2017).

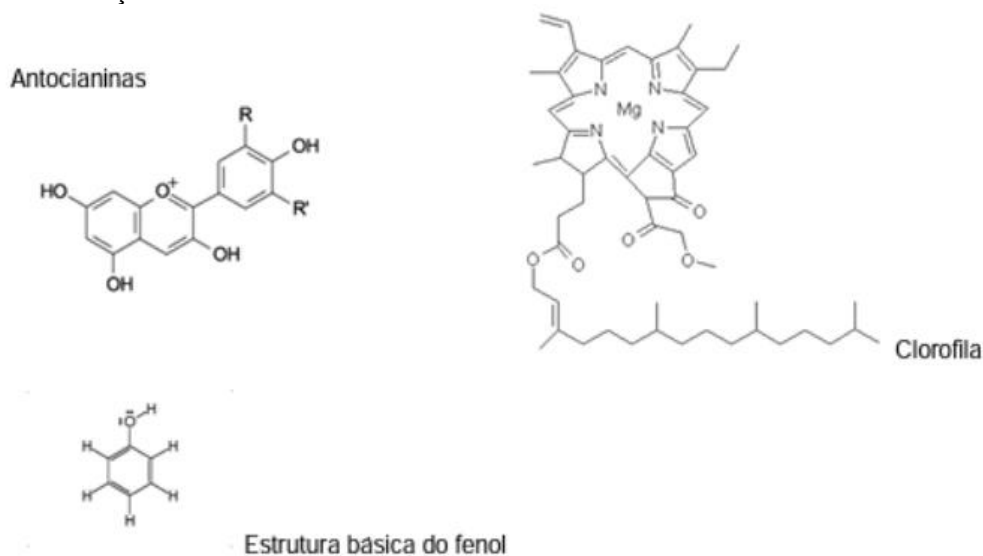
2.3.2 Não açúcares e demais componentes

Com exceção da sacarose, glicose e frutose, os demais componentes são chamados de não açúcares, os quais apresentam-se como elementos indesejáveis durante a produção de açúcar, principalmente quando o açúcar é destinado ao processo de refino. Isso ocorre pois quando estes elementos estão presentes no caldo de cana-de-açúcar após a clarificação, são responsáveis pela turbidez excessiva e redução na velocidade de precipitação, por estarem dissolvidos ou dispersos no meio líquido.

A presença de diversos compostos pigmentantes como compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides, melanoidinas, melaninas e outros produtos referentes a degradação alcalina da frutose, caracterizam a cor predominante no caldo de cana. Além destes compostos, a cor do caldo pode ser proveniente da presença de compostos orgânicos e inorgânicos que estão presentes no colmo e nas cascas, com a maturação, variedade e tipos de solos (LIMA, 2012).

Ainda de acordo com Lima (2012), alguns estudos evidenciaram que a presença de compostos fenólicos em maiores concentrações aumenta a cor ICUMSA do caldo, como a presença de maiores concentrações de compostos flavonoides, sendo considerado o mais crítico para o processamento do açúcar e responsável por até 30% da cor do açúcar bruto. Alguns pigmentos fenólicos podem ser observados na figura abaixo (figura 3):

Figura 3– Estrutura química de compostos fenólicos pigmentantes presentes no caldo de cana-de-açúcar



Fonte: Lima, 2012.

Esses compostos também exercem grande influência na etapa de evaporação e cristalização, com um decréscimo na pureza e, conseqüentemente, diminuição da eficiência e rendimentos industriais (CASTRO, ANDRADRE, 2007).

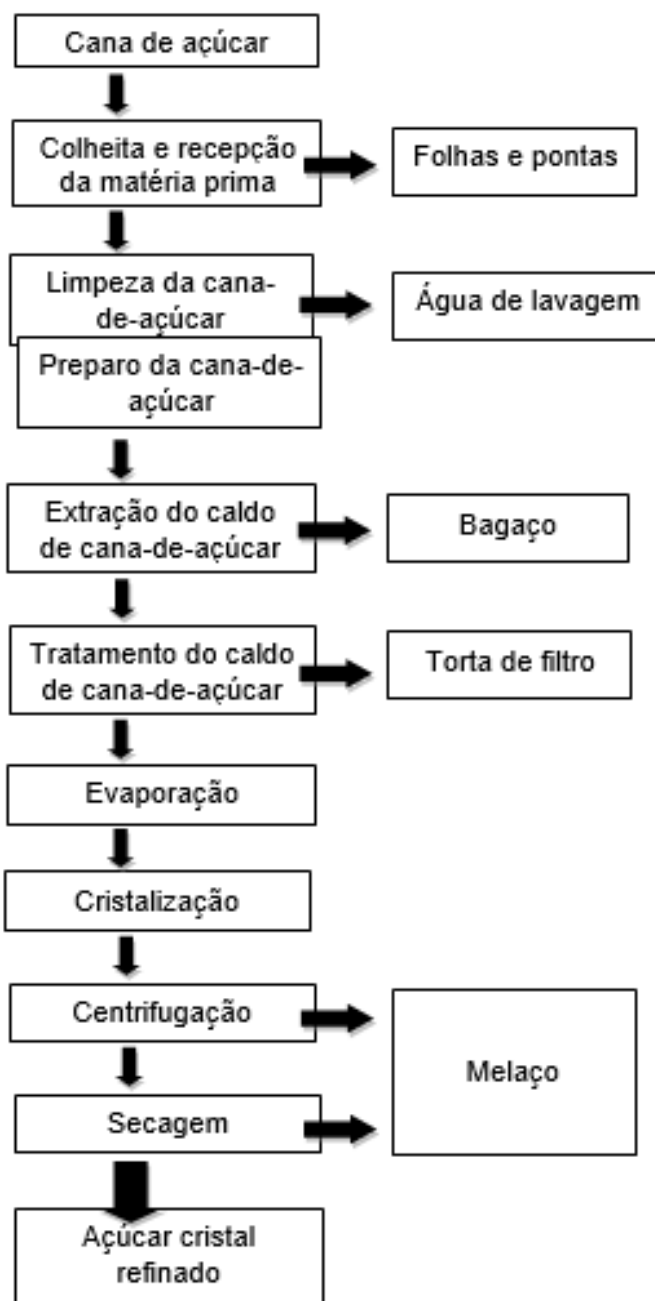
2.4 Processamento do açúcar

O processamento do açúcar objetiva, de forma resumida, extrair o caldo contido na cana-de-açúcar, assim como o seu preparo e concentração, culminando em diferentes tipos de açúcares, sendo que os mais conhecidos são: demerara, mascavo, cristal, refinado, líquido e VHP (*Very High Polarization*). Dentro desse processo de fabricação, pode-se classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já é produzido pela natureza, através da cana-de-açúcar, sendo somente concentrado no processo, nas suas várias modalidades (MACHADO, 2012).

O conhecimento da composição da matéria-prima e a compreensão das propriedades químicas e reações envolvidas de seus componentes durante as etapas de produção são essenciais para estabelecer uma tecnologia flexível e eficiente e, principalmente, rendimentos econômicos para o processo de extração e refinamento do açúcar cristal a partir da cana-de-açúcar (ALVES; CRESTANI, 2021).

A Figura 4 apresenta de forma simplificada o processo de produção de açúcar cristal refinado usualmente empregado pelas usinas sucroalcooleiras brasileiras, assim como as operações unitárias envolvidas e produtos obtidos durante o processo. Todas as etapas serão discutidas de forma abrangente nos próximos tópicos.

Figura 4 - Esquema simplificado do processamento de açúcar cristal.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

2.4.1 Colheita e recepção da matéria prima

O início do processamento é marcado pelo plantio da matéria-prima, o cultivo da cana-de-açúcar é realizado por rebrotamento, onde o primeiro corte é feito, aproximadamente 18 meses após o plantio e os demais, anualmente, por um período de 4 a 5 anos, com redução gradual do rendimento. A colheita da cana-de-açúcar pode ser realizada com a mesma verde, sem queimar ou queimada, de forma manual ou mecânica e ainda inteira ou picada. A etapa de recepção inicia-se com a pesagem, onde o peso da cana-de-açúcar recebida será a diferença entre o peso do veículo antes e depois da descarga da cana-de-açúcar, tal valor relaciona-se com a indicação do local da colheita e o número do veículo (LOPES, 2011).

Em seguida, ocorre a amostragem (em 3 diferentes locais no veículo em diferentes alturas em combinações distintas na parte superior, mediana e inferior do caminhão) e nesse processo um amostrador por sonda horizontal ou vertical é utilizado, o tubo é introduzido na cana-de-açúcar ainda nos treminhões a fim de retirar uma amostra de 2 Kg da amostra, sendo utilizada uma prensa hidráulica para extração do caldo (deve ser clarificado com uma mistura à base de cloreto de alumínio, hidróxido de cálcio e um auxiliar de filtração) para análise do SST °Brix, teor de água, teor de sacarose, teor de fibras, Pol (pureza). Além disso, será analisada laboratorialmente para a determinação dos açúcares totais recuperáveis (ATR), isto é, a quantidade de açúcar que a mesma possui. Finalmente, a estocagem é feita de modo que as possíveis faltas por motivo de chuva ou por falha no transporte sejam suprimidas, assim como, as eventuais quebras e avarias nos silos e nas mesas alimentadoras (PAYNE, 2010).

2.4.2 Limpeza da cana-de-açúcar

Após pesagem, a cana-de-açúcar colhida, manualmente, é conduzida para lavagem, para retirada da terra proveniente da lavoura, já que aquela colhida mecanicamente segue diretamente para o picador e desfibrador. As etapas essenciais para proporcionar uma limpeza efetiva parte da abertura do feixe, ação essa que é, geralmente, efetuada por um tambor nivelador situado acima da passagem da cana-de-açúcar, formando um colchão de cana-de-açúcar de aproximadamente 2 ou 3

colmos de espessura (operação é realizada visando garantir uma boa limpeza dos colmos) (CREMA, 2012).

A limpeza da cana-de-açúcar para retirada de pedras, seixos e areia é feita através de banho hidráulico, no qual por possuírem maior densidade vão para o fundo por diferença de densidade. A lavagem propriamente dita acontece em uma esteira com um fluxo turbulento de água eliminando a terra pelas ranhuras da rampa, enquanto a remoção de impurezas fibrosas (ponteiros, folhas e raízes) é feita por meio de rolos eliminadores de impurezas (JERONIMO, 2018).

2.4.3 Extração do caldo de cana-de-açúcar

A extração do caldo de cana-de-açúcar diz respeito ao processo físico de separação da fibra (bagaço) realizando, geralmente, por meio de dois processos: moagem ou difusão. Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana-de-açúcar desfibrada, durante a passagem do bagaço de uma moenda para outra, é realizada a adição de água de forma a auxiliar na extração da sacarose (ALCARDE, 2007).

De acordo com o mesmo autor, enquanto na difusão, a separação é feita pelo deslocamento da cana-de-açúcar desintegrada por um fluxo contracorrente de água. Com a utilização de difusores obtém-se eficiência de extração da ordem de 98%, contra os 96% conseguidos com a extração por moendas. A desvantagem do uso dos difusores é que estes carregam mais impurezas com o bagaço para as caldeiras, exigindo maior limpeza das mesmas devido à pior qualidade do bagaço.

Antes da cana-de-açúcar ser submetida ao processo de extração por moagem, realiza-se o processo de preparação visando aumentar a capacidade das moendas através da diminuição do tamanho da cana-de-açúcar e rompimento da estrutura da cana-de-açúcar, com o auxílio de picadores que trituram os colmos para desfibrar, facilitando a extração do caldo e moagem. As vantagens dessa etapa compreendem: o aumento do rendimento da usina, a regularidade de alimentação das moendas, a redução do consumo de energia, a homogeneização do teor de fibras nas canas e a redução do desgaste e quebra das moendas (ZANESCO, 2021).

A cana-de-açúcar desfibrada enviada à moenda, trata-se do primeiro terno e obtém-se o caldo primário, o qual segue o processo. Já o bagaço é retornado para o segundo terno da moenda, onde é embebecido com água para diluir o açúcar

existente no interior das células do bagaço. O caldo misto (caldo primário + caldo secundário) obtido no processo de moagem contém quantidades variáveis de impurezas em suspensão, como o bagacilho provenientes da própria cana-de-açúcar (MESSA; NESPOLO, 2017).

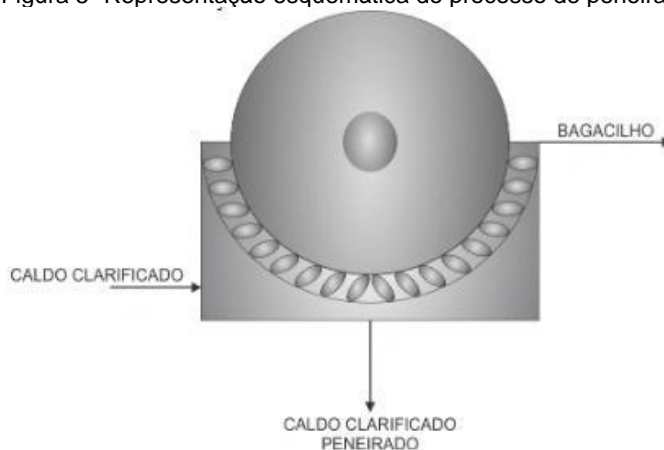
2.4.4 Tratamento químico do caldo de cana-de-açúcar

As impurezas grossas são removidas, inicialmente, ao peneirar o caldo misto, ainda assim, as impurezas menores podem estar solúveis, insolúveis ou no estado coloidal e deverá receber tratamentos físico-químicos, para sua clarificação, a fim de eliminar as impurezas remanescentes no caldo extraído. A importância do processo de peneiramento está relacionada com a otimização do processo ao evitar problemas como incrustações e entupimento de canalizações, tubulações de aquecimento, bombas e evaporadores, entre outros (ALVES; CRESTANI, 2021).

2.4.4.1 Peneiramento

Após a decantação, uma parte das fibras ainda se encontra presente no caldo clarificado tornando necessário, visto que o caldo que segue para o evaporador deve conter o mínimo possível de fibras. Em função da dinâmica de produção das usinas, o caldo resultante é dividido em duas correntes: 80% do montante é encaminhada para a produção de açúcar, enquanto o restante segue para a produção de etanol (ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 5- Representação esquemática do processo de peneiramento



Fonte: Alves *et al.*, 2018.

2.4.4.2 Tratamento com agentes clarificantes

Alguns desses tratamentos serão detalhados de acordo com Andrade e Castro (2006):

- Sulfitação: corresponde ao uso de anidrido sulfuroso (SO_2) com o intuito de auxiliar na redução do pH, diminuição da viscosidade do caldo, formação de complexos com açúcares redutores, preservação do caldo contra alguns microrganismos, prevenção do amarelamento do açúcar (cristal branco) por algum tempo durante o armazenamento.
- Fosfatação: o uso de ácido fosfórico (P_2O_5) é responsável por auxiliar na remoção de materiais corantes e parte dos coloides do caldo.
- Aplicação do óxido de magnésio: sob efeito da temperatura a formam precipitados que promovem a remoção das impurezas sem afetar o teor de sacarose.

Outros métodos também podem ser utilizados, e vêm sendo discutidos na literatura:

- Bicarbonatação: fundamentado na decomposição do bicarbonato de cálcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] por aquecimento com a produção de carbonato de cálcio (CaCO_3 , muito insolúvel) e o dióxido de carbono (CO_2), que, na presença, reagirá produzindo mais carbonato de cálcio (ARAÚJO, 2007).
- Processos Oxidativos Avançados (POA): Os oxidantes químicos são dosados nas soluções em baixa concentração, na ordem de mg.L^{-1} e oxidam primeiro as substâncias de caráter redutor (glicose, frutose), que estão em concentração de 0,6 - 2,0% (6000 - 20000 mg.L^{-1}), seu efeito leva a produzir novas substâncias orgânicas que podem interferir na cristalização da sacarose (ARAÚJO, 2017).
- H_2O_2 : Nesse processo, o agente clarificante age degradando a glicose e frutose parcialmente, que levam a produção de novos compostos que alteram a cor do açúcar como produto final e reage de forma incompleta sobre os corantes (ARAÚJO, 2017).

- Ozônio: Nesse tratamento a dosagem exerce influência, a depender da pureza do caldo, que em contato com ozônio apresenta pH e condutividade praticamente constantes, e progressiva diminuição da cor. O ozônio age na clivagem de ligações duplas C=C, presentes em compostos como os flavanóides, xantanos e carotenoides que fazem parte da composição do caldo da cana de açúcar (ARAÚJO, 2017).

2.4.4.3 Caleação

O objetivo desse tratamento, também chamado de calagem, é promover a reação do óxido de cálcio (CaO) com o sulfito (SO_3^{2-}) e com o ácido fosfórico (P_2O_5), formando sulfito e fosfato de cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), insolúveis em pH neutro. Após a adição de leite de cal, a mistura é aquecida com vapor d'água a alta pressão e as impurezas contidas no caldo formam uma borra que é separada do caldo, através de decantadores, que fazem a separação através das diferenças de densidades. O pH do caldo atinge a faixa de 7,2 - 7,8 (JERONIMO, 2018).

A alteração do pH poderá ser efetuada antes ou depois do aquecimento, dependendo do processo aplicado e do tipo de açúcar a ser produzido. O pH exato de uma calagem de um caldo irá variar com a composição de modo que seus ajustes sejam frequentes aos pontos de controles essenciais (MESSA; NESPOLO, 2017).

A qualidade da cana-de-açúcar é essencial para o processo, já que com uma cana-de-açúcar de boa qualidade, ocorre uma boa clarificação, ou seja, há uma boa floculação da matéria em suspensão, decantação rápida e fluxo de caldo limpo. Se ela possuir má qualidade é impossível obter uma boa clarificação e uma decantação rápida. O fator determinante é a presença de dextrana que através de uma ação protetora dos coloides, impede uma boa floculação. Nesses casos uma caleação mais alta pode mostrar-se útil, mesmo que os efeitos na cristalização do açúcar sejam menos favoráveis (CHIANESE; KRAMER, 2012).

2.4.4.4 Flasheamento

No *flasheamento*, o caldo é aquecido até uma temperatura de 105°C por meio de trocadores de calor em série, nos quais o caldo flui, aumentando gradativamente

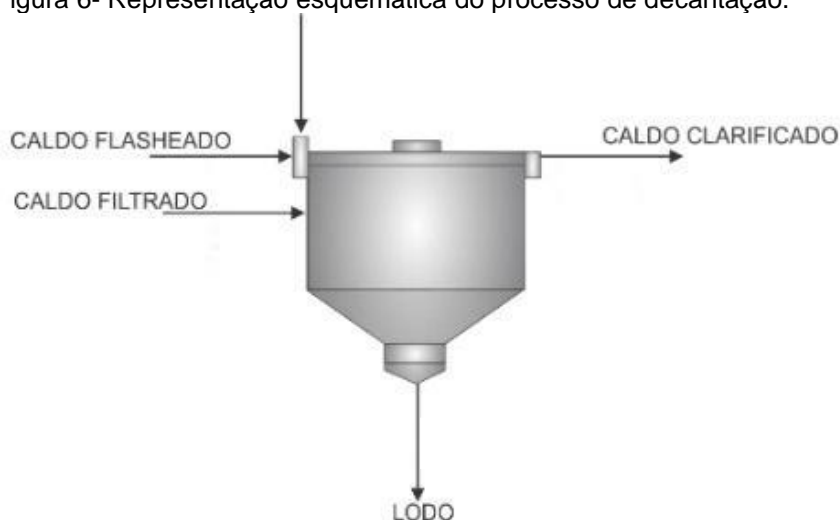
sua temperatura, essa é adequada para o processo de decantação, onde o caldo está praticamente isento de bactérias contaminantes não esporuladas. O aquecimento proporciona também a degradação das proteínas do caldo acarretando a diminuição da formação de espuma nas dornas de fermentação do álcool (ALBUQUERQUE, 2011).

A porção do ar adicionado em excesso na queima do enxofre permanece dissolvida no caldo dificulta a separação das impurezas na fase de decantação. Assim, o caldo é submetido a um balão *flash* com o intuito de eliminar esse ar. O objetivo desse mecanismo é alcançado por meio da expansão brusca do caldo, em virtude da variação de pressão na tubulação proporcionando uma ebulição violenta. O caldo *flasheado* é encaminhado para o decantador a cerca de 98°C (ALVES *et al.*, 2018).

2.4.4.5 Decantação

O processo de decantação (Figura 6) objetiva remover as impurezas coaguladas formadas pelo tratamento com agentes clarificantes que, por serem mais densas que o meio líquido se depositam no fundo do decantador, de onde são eliminados na forma de lodo (material sedimentado) e, o caldo clarificado sai pela parte superior do decantador, já isento da maioria das impurezas encontradas no caldo misto (GALO, 2013).

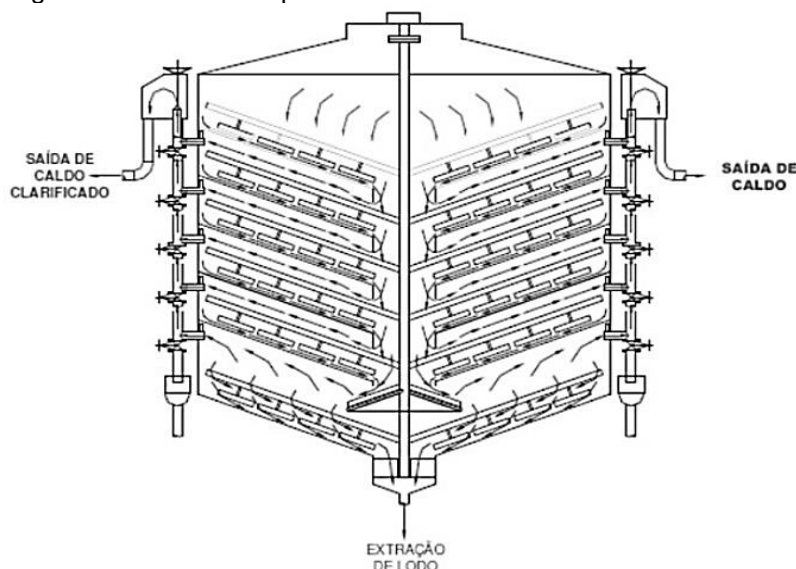
Figura 6- Representação esquemática do processo de decantação.



Fonte: Alves *et al.*, 2018.

Essa etapa pode durar de 1 a 3 horas a depender do tipo de decantador utilizado, comumente aplicam-se floculantes na entrada do decantador com a finalidade de otimizar a remoção das impurezas. Os equipamentos são constituídos de um tanque *flash* onde o caldo sofre ebulição a pressão atmosférica eliminando os gases, é imprescindível que a temperatura esteja estável na faixa de 105 a 110°C para uma correta remoção do ar. O tipo de decantador representado mais utilizado nas usinas de açúcar é o do tipo Dorr (Figura 7), sua frequente utilização se dá pela quantidade de bandejas responsáveis por elevar a área de decantação (ALBUQUERQUE, 2011).

Figura 7- Decantador tipo Dorr.



Fonte: Adaptado de Ribeiro, Blumer e Horii, 1999.

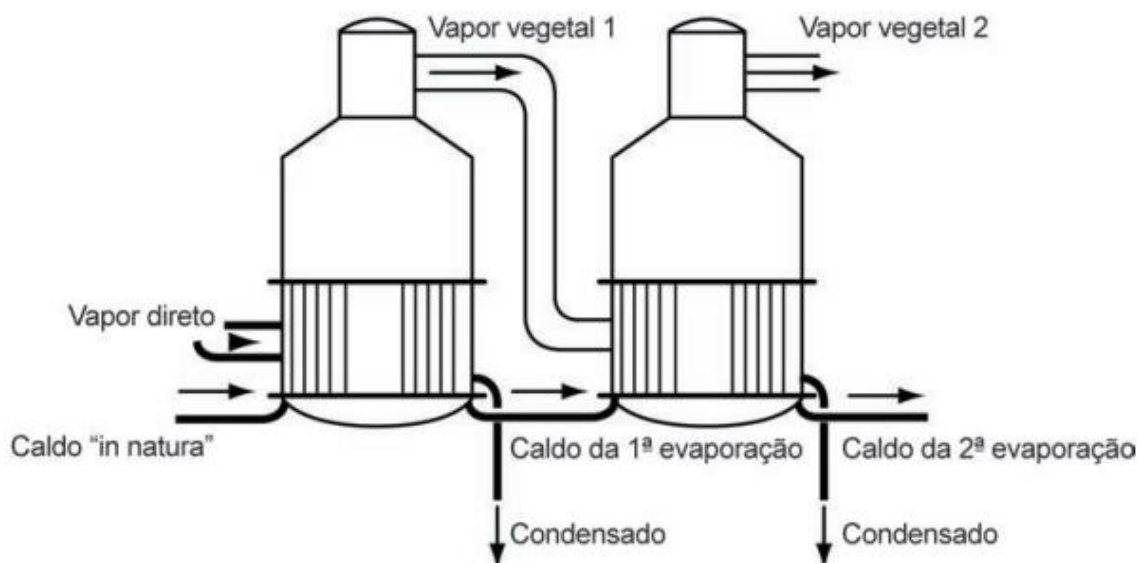
2.4.4.6 Filtração

O lodo advindo da decantação é composto de partículas sólidas que, por diferença de densidade, depositam-se no fundo do tanque, sendo recolhido pela caixa de lodo e, assim, encaminhado para a filtração. São utilizados dois tipos de filtros: rotativo e prensa, no primeiro adiciona-se bagacilho para aumentar a consistência e porosidade, promovendo uma melhor filtração, já no filtro prensa é tratado com polímero catiônico. O caldo filtrado é recirculado no processo voltando ao decantador, enquanto a torta formada é enviada para ser utilizada como fertilizante em lavouras (ALVES; CRESTANI, 2021)

2.4.5 Evaporação

Essa etapa representa o primeiro estágio de concentração do caldo tratado, este contém cerca de 85% de água, que é evaporada até que se atinja 40% em água, tornando-se um xarope grosso e amarelado. O caldo deve ser concentrado até a faixa de 55 – 65° Brix (que corresponde ao valor do teor de sólidos solúveis contidos no caldo), passando a ser denominado xarope, o valor recomendado é 65° Brix. Considerando a necessidade de economizar vapor, ela é feita em evaporadores com múltiplo efeito concorrente, ou seja, o vapor gerado na caixa de evaporação precedente é utilizado como fonte de aquecimento para a caixa posterior. Na figura 8 apresenta-se um exemplo de um evaporador em duplo efeito:

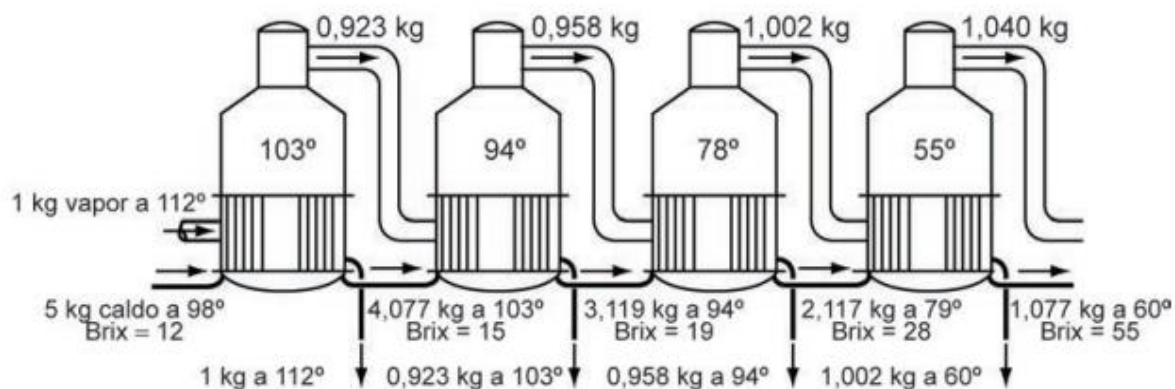
Figura 8– Evaporador em duplo efeito.



Fonte: Lopes, 2011.

Nesse caso, observa-se que o vapor entra no primeiro caixa ou corpo evaporador, que está acoplado ao segundo corpo evaporador e transfere o vapor vegetal 1 até o segundo compartimento, gerando o caldo da primeira evaporação (com o vapor direto) e o caldo da segunda evaporação (com o vapor vegetal 1). Após esse processo tem-se o vapor vegetal 2, o que levou a realização de experimentos que acoplavam três ou quatro corpos evaporadores, como pode ser observado na figura abaixo:

Figura 9– Evaporador em quádruplo efeito.



Fonte: Lopes, 2011.

De acordo com Lopes (2011, p. 139): “O sistema de múltiplo efeito passou a ser denominado conforme o número de evaporadores acoplados de duplo efeito (duas caixas), tríplice efeito (três caixas), quádruplo efeito (quatro caixas) etc.”. Como pode-

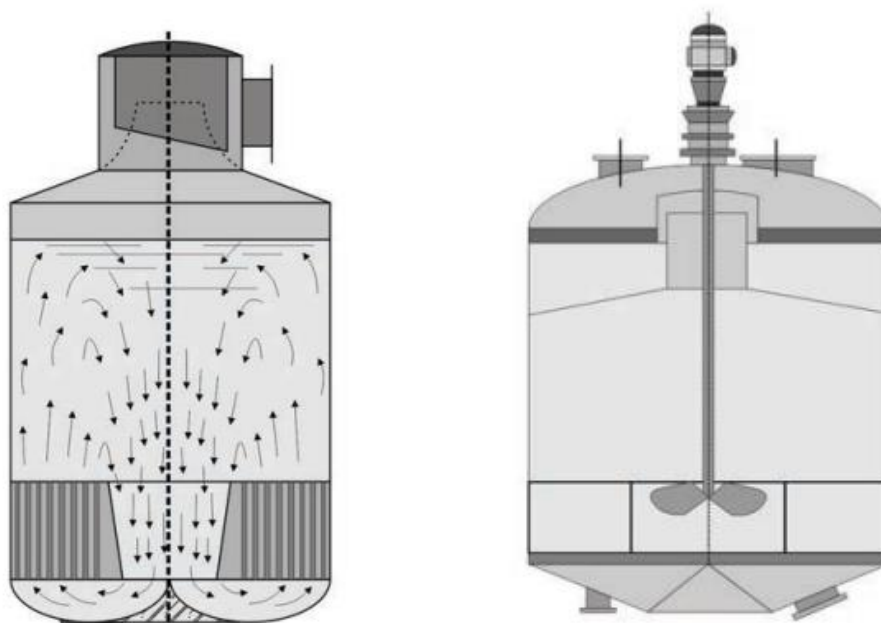
se observar na figura, cada caixa necessita de diferentes temperaturas entre o vapor de aquecimento e a temperatura de ebulição do líquido em seu interior, permitindo a transferência de calor.

A água condensada nessa etapa é direcionada para alimentar as caldeiras (MACHADO, 2012). A concentração do xarope é de suma importância, visto que quando ela é baixa, ocorre o aumento do consumo de vapor e do tempo de cozimento, bem como perdas de capacidade dos equipamentos.

2.4.6 Cozimento e cristalização

De acordo com Andrade e Castro (2006), o cozimento tem como principal objetivo a produção de uma maior porcentagem de cristais, assim como a promoção de uniformidade no tamanho desejado dos cristais de açúcar. Nessa etapa, o xarope recebe uma carga de vapor, através de um distribuidor de vapor, levando-o até a supersaturação tomando consistência de mel. A partir do início da formação dos cristais de açúcar, que após crescerem em tamanho e aumentarem o volume da massa cozida, eles são descarregados nos cristalizadores, onde se completa a cristalização do açúcar cristal refinado. Durante o crescimento dos cristais, a massa deve estar em constante movimento que ocorre por dois fatores: movimento convectivo e pela formação de bolhas de vapor. Sendo assim, os cristalizadores possuem um sistema de hélices para ajudar na movimentação, como mostrado na figura abaixo:

Figura 10- Tacho com sistema de agitação forçada, à esquerda o movimento da massa cozida e a esquerda as hélices que auxiliam na movimentação.



Fonte: Lopes, 2011.

Sabendo que a separação da sacarose das impurezas associadas nas soluções sacarinas é o objetivo fundamental na fabricação de açúcar, tal propósito é alcançado através da cristalização da sacarose, fase subsequente à separação dos cristais por meio de força centrífuga. A presença de não-açúcares no mel exerce influência adversa no processo da cristalização, uma vez que a separação dos mesmos, por meio da cristalização, exige repetidas cristalizações, tantas quantas sejam economicamente possíveis (ANDRADE; CASTRO, 2006; JERONIMO, 2018).

2.4.7 Centrifugação

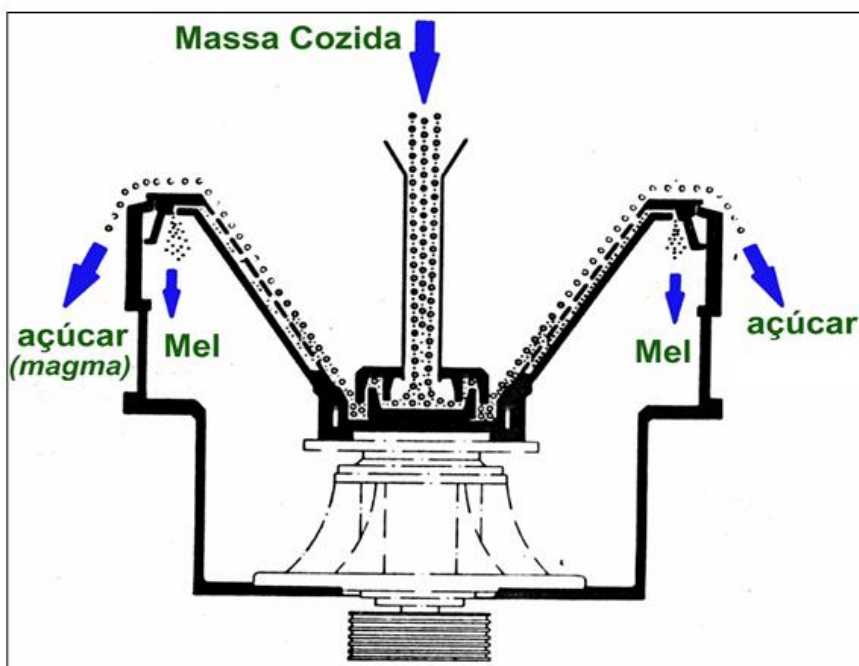
A etapa de centrifugação consiste, de forma geral, na separação do melaço que envolve os cristais de açúcar, etapa fundamental para obtenção de um produto de qualidade; sob a força centrífuga o melaço sai através das perfurações e dirige-se à caixa dos méis. As centrífugas podem ser classificadas em: contínuas e descontínuas (LOPES, 2011).

As máquinas de cesto cilíndrico operam em bateladas, normalmente, e são utilizadas na produção de açúcar cristal, demerara e VHP, onde ocorre primeiramente a remoção do mel em excesso, depois a expulsão adicional do mel e por último a redução do filme de mel ao redor dos cristais e contínuas que, geralmente, são

utilizadas para açúcares intermediários e possuem a desvantagem de quebra dos cristais de açúcar, produzindo poeiras que passam com o melaço através da tela (PAYNE, 2010).

As máquinas podem ser observadas nas figuras abaixo:

Figura 11 – Centrifugador contínuo.

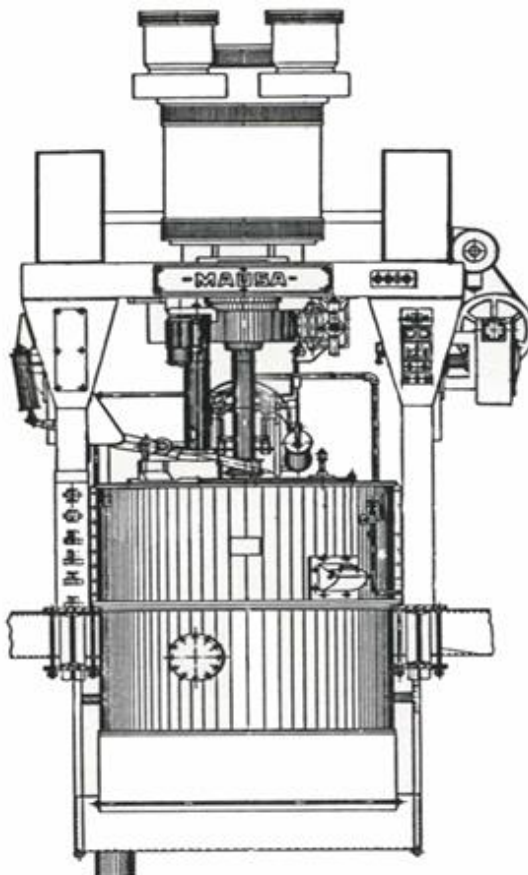


Fonte: Paulino, 2009.

Nesse modelo, o cesto é tipo cônico vertical e a alimentação se dá no ápice do cone. A separação centrífuga ocorre no cesto cônico e os cristais e o mel se separam nas paredes do cesto enquanto se movem para a periferia. Com a subida da massa sobre a tela, os méis são separados dos cristais de açúcar (PAULINO, 2009; LOPES, 2011).

No centrifugador descontínuo, utiliza-se a massa de primeira numa operação em duas massas e as massas de primeira e de segunda numa operação em três massas, muito utilizado para operar açúcar comercial (LOPES, 2011). O modelo desse tipo pode ser observado na figura abaixo:

Figura 12 - Centrifugador descontínuo.



Fonte: Paulino, 2009.

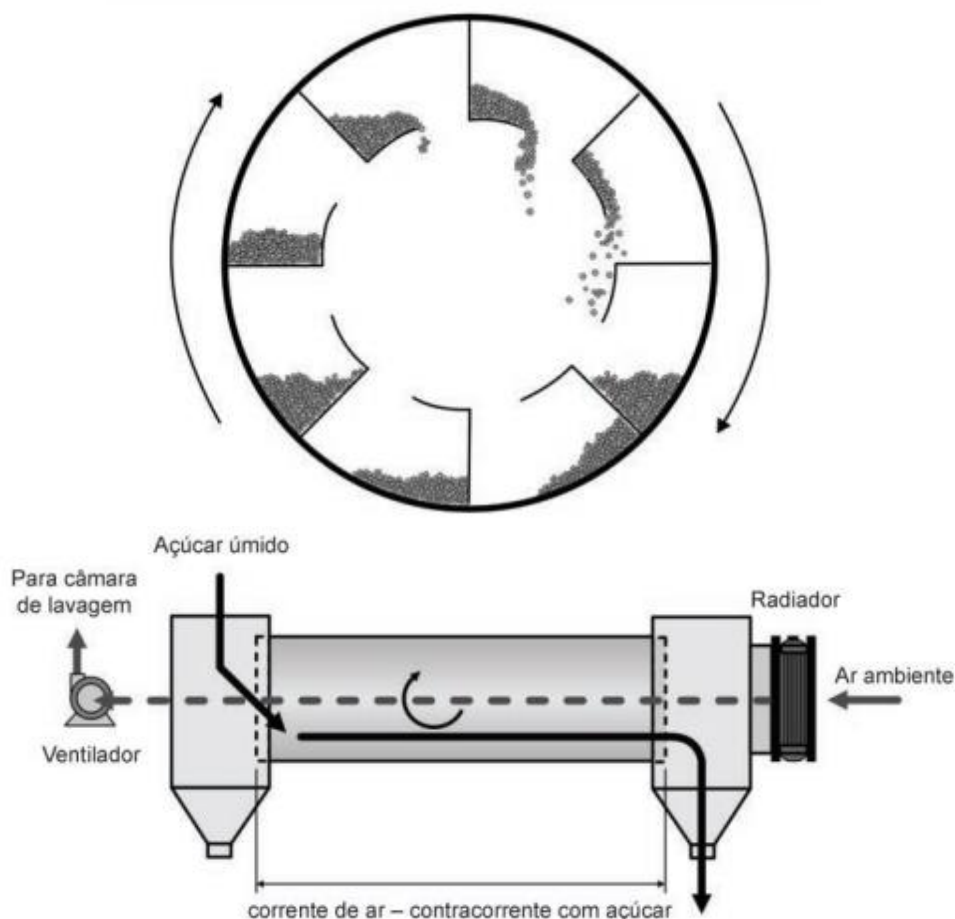
Nesse modelo de centrifugador, há uma separação dos méis e do açúcar, em que a massa A é colocada na centrífuga, lavada com água gerando primeiro um mel pobre e, na segunda lavagem (com vapor) sai o mel rico (PAULINO, 2009). A duração do ciclo de operação depende da força centrífuga aplicada, ou seja, corresponde a somatória do “tempo de carga da máquina, aceleração, tempo de extração do mel, tempo de frenagem do cesto, tempo de descarga do açúcar e tempo de limpeza do cesto” (LOPES, 2011, p. 165).

2.4.8 Secagem

Na etapa de secagem, o melaço é enviado para a fabricação de álcool, enquanto o açúcar é destinado ao secador para a retirada do teor de água livre contida nos cristais. Assim, independentemente do tipo de açúcar, faz-se necessária à realização da secagem do açúcar de tal forma que a sua umidade seja reduzida aos níveis de 0,1 – 0,2% (MACHADO, 2012).

Esse processo consiste basicamente em: evaporação e resfriamento até que seja atingida a temperatura de ensaque. Uma corrente de ar, proporcionada por um ventilador de capacidade adequada, contrária ao deslocamento do açúcar, o ar carregado de pó de açúcar é enviado por meio de dutos a um sistema de separação de pó, onde poderá haver perdas de açúcar para a atmosfera. A temperatura do açúcar na saída dos secadores deve ser mantida preferencialmente na faixa de 30 - 40°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem, fatores que influenciam a qualidade. Os secadores mais utilizados são os secadores horizontais e os verticais de bandejas (ANDRADE; CASTRO, 2006). Esse processo pode ser visualizado na figura abaixo que demonstra a vista frontal e lateral externa de um secador rotativo horizontal:

Figura 13 - Vista frontal e circulação de açúcar e ar no interior de um secador rotativo horizontal.



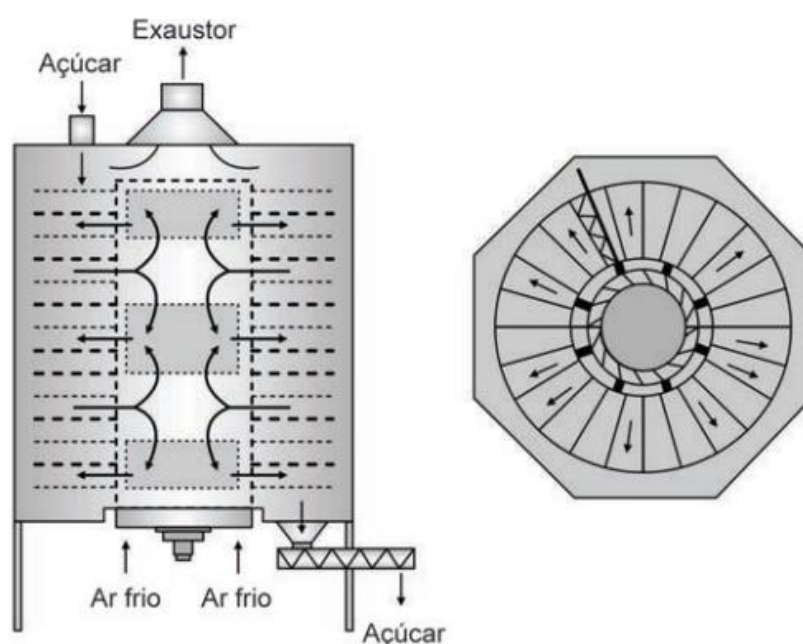
Fonte: Lopes, 2011.

Na vista frontal é possível observar o cilindro metálico horizontal, rotativo, montado num pequeno ângulo com a horizontal, provido interiormente de palhetas

destinadas a recolher o açúcar que permite que o açúcar caia repetidamente em forma de cascata (LOPES, 2011).

O secador vertical de bandeja tem funcionamento em cascata, em que o açúcar entra pela parte superior, acumulando o açúcar na primeira bandeja, que são passados para as bandejas inferiores por meio da ação de raspadeiras até que saíam pela parte inferior. No interior, o ar quente passa pela cortina de cristais de açúcar que se forma entre as bandejas, promovendo a sua secagem. O exemplo de secador vertical pode ser observado na figura abaixo:

Figura 14 - Secador vertical de bandejas.



Fonte: Lopes, 2011.

A velocidade do ar de aquecimento também se configura como um parâmetro importante, essa mesma deve ser regulada para permanecer na faixa de $1 - 5 \text{ m.s}^{-1}$. Todavia, definição da melhor velocidade é estabelecida por levantamentos realizados sobre eventuais arrastes de cristais finos de açúcar. Se, em determinada velocidade, esse arraste estiver ocorrendo de forma significativa, devem-se adotar velocidades menores (MACHADO, 2012).

2.4.9 Armazenamento

O açúcar seco e, posteriormente, despejado diretamente em um saco localizado em cima de uma balança, de forma a realizar as operações de ensaque e

pesagem. Máquinas industriais de costura realizam o fechamento dos sacos de 50kg ou *big-bag* de 1200kg, o açúcar é então estocado em condições adequadas de umidade e temperatura visando manter a qualidade do produto (PAYNE, 2010).

2.4.9.1 Armazenamento em sacas

As sacas utilizadas nesse armazenamento, geralmente, são de algodão, polietileno e mistura de algodão e polietileno. As embalagens maiores, conhecidas como *big-bag*, são de polietileno e destinam-se ao fornecimento de grandes quantidades a indústrias de alimentos. Para casos específicos, como o açúcar demerara, utilizam-se sacos plásticos impermeáveis visando a impedir a deterioração do produto, uma vez que o filme de licor-mãe é higroscópico e possibilita o desenvolvimento de bactérias que podem trazer prejuízos a qualidade do açúcar (MACHADO, 2012).

2.4.9.2 Armazenamento a granel

A grande vantagem desse tipo de armazenamento é a maior lentidão dos possíveis processos de deterioração, quando comparado ao de sacas. Aqui, o açúcar das porções laterais torna-se úmido e forma uma camada protetora que, por sua vez, atua como barreira à penetração de umidade nas porções centrais. Logo, quanto maior a espessura da camada protetora, mais lentamente ocorrerá à infiltração de umidade (MACHADO, 2012).

2.5 Processamento do açúcar refinado

A refinaria tem como principal finalidade remover a cor e reduzir a quantidade dos não açúcares presentes no açúcar cristal bruto, este é utilizado como matéria-prima com o objetivo de produzir um açúcar comercial mais puro (em termos de sacarose), mais rentável e com maior aceitação no mercado nacional e externo devido ao seu melhor aspecto visual (polarização, cor e granulometria) (CREMA, 2012).

O processo convencional para a produção de açúcar refinado é constituído por etapas onde o açúcar cristal bruto obtido após a secagem, provindo da usina com cor ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*) em torno de

200 a 400 UI (unidades de ICUMSA), é enviado para a refinaria para ser dissolvido em água, com agitação e recirculação com trocadores de calor que utilizam vapor saturado e posteriormente são levados para a clarificação com agentes clarificantes (CARPANEZI, 2010).

2.5.1 Dissolução do açúcar cristal e clarificação da calda de açúcar

A primeira etapa de produção do açúcar refinado consiste em diluir o açúcar cristal bruto originando uma solução densa, chamada “calda de açúcar” com 65 – 70 Brix. Essa dissolução é feita em tanques especiais, os dissolvedores, com agitação e recirculação com trocadores de calor que utilizam vapor saturado, o tempo de retenção é aproximadamente trinta minutos (CARPANEZI, 2010).

Posteriormente, a calda é tratada por agentes clarificantes (químicos e poliméricos, como leite de cal e anidrido sulfuroso) visando a coagulação e precipitação de materiais corantes solúveis e pequenas partículas sólidas, formando pequenos flocos com densidade suficiente para serem retirados por processo de separação sólido-líquido, promovendo assim a clarificação. O tratamento físico-químico é efetuado de acordo com o tipo de açúcar que se deseja produzir (ORDÓÑEZ, 2005).

2.5.2 Filtração e evaporação

Nessa etapa, a calda de açúcar é filtrada para retirada de algumas impurezas e flocos residuais. Logo após esse processo, é concentrada através de evaporadores, com temperatura de no máximo 120°C, visando a pré-concentração ao retirar parte do conteúdo de água presente na calda de açúcar e obter uma massa quente e úmida de açúcar, com cristais sem forma definida. A massa de açúcar, provinda da evaporação ainda contém certa quantidade de água, sendo necessário concentrar ainda mais, obtendo-se no final uma massa cozida de 95 – 96°Brix (RIBEIRO, 2003).

2.5.3 *Cristalização, secagem e armazenamento*

Na cristalização ocorre a nucleação dos cristais de sacarose presentes na massa cozida de açúcar. Após a evaporação, a massa de açúcar é imediatamente transferida para um tanque com agitação mecânica, onde é submetida a uma leve agitação, acontecendo a nucleação rápida, tem-se o açúcar refinado com cerca de 97 – 98° Brix. Esse açúcar refinado obtido contém ainda uma quantidade de água, logo, a etapa de secagem essencial para a retirada dessa umidade.

Os secadores de açúcar, geralmente, são rotativos e proporcionam a passagem de ar quente e frio contra a corrente com a finalidade de secar e resfriar. Após a secagem e resfriamento, o açúcar refinado é enviado para silos e posteriormente às empacotadeiras e armazenados sob condições adequadas de temperatura e umidade (CARPANEZI, 2010).

2.6 Tipos de açúcares refinados

De acordo com Carpanezi (2010), os açúcares refinados podem ser classificados como granulado e o amorfo. Na Figura 8 do açúcar refinado granulado e o amorfo.

Figura 15 - Tipos de açúcares cristais refinados.



Fonte: Magalhães, 2012.

2.6.1 *Açúcar refinado granulado*

Este é obtido ao receber tratamento por agentes clarificantes para eliminação das impurezas, passando pelo processo de cristalização controlada em um cozedor à vácuo, obtendo-se um açúcar com cristais bem definidos e granulometria homogênea,

seja fina, média ou grossa. Apresenta baixa coloração, brancura excepcional, ausência de corantes e empedramento para assegurar a fluidez e baixo teor de umidade (CREMA, 2012).

2.6.2 Açúcar refinado amorfo

Obtido da mesma forma que o açúcar refinado granulado, entretanto sua solidificação se dá através de um choque térmico. Este tipo de açúcar possui granulometria muito fina e irregular, com baixa coloração, brancura excepcional e é extremamente higroscópico.

Na Tabela 2 estão apresentadas as especificações para ambos os açúcares cristais refinados.

Tabela 2 - Especificações dos açúcares cristais refinados.

Parâmetros físico-químicos	Granulado	Amorfo
Polarização mínima (%)	99,8	99,0
Cor máxima (UI)	20	60
Teor de cinzas máximo (%)	0,02	0,20
Umidade máxima (%)	0,04	0,30
SO ₂ máximo (mg.kg ⁻¹)	2	40

Fonte: Crema (2012).

2.7 Controle de qualidade

Todos os diferentes tipos de açúcares apresentam características particulares que devem estar de acordo com parâmetros de especificação previamente determinados. A Portaria nº 152 de 6 de dezembro de 2013 classifica os mesmos em função da identidade e qualidade: o Grupo I compreende os açúcares destinados à alimentação humanas, enquanto no Grupo II estão aqueles destinados às indústrias alimentícias e outras finalidades (BRASIL, 2013). Além disso, a Resolução nº 12 de 24 de julho de 1978 determinou alguns itens de especificação para os diferentes tipos de açúcares (BRASIL, 1978).

Para garantir um alto nível de qualidade do açúcar é importante o controle rigoroso de diversos itens específicos. De acordo os principais parâmetros para os açúcares com Crema (2012) e Oliveira, Esquiaveto e Silva Júnior (2007).

- Polarização: define a porcentagem de sacarose no açúcar, cujo valor varia de acordo com o tipo de açúcar. É considerado um produto de elevada pureza quando os teores ultrapassam 99,7%, com os 0,3% restantes correspondendo aos açúcares redutores. Aqueles que apresentam polarização abaixo de 99,5% nunca são usados para consumo direto.
- Cor (UI): Parâmetro dado em unidades ICUMSA, é considerando o principal aspecto em termo de qualidade do açúcar. Geralmente, faz-se uma associação onde o açúcar com menor cor, apresenta melhor qualidade.
- Resíduo insolúvel: Dado em mg.kg^{-1} , representa as partículas minúsculas de bagaço, sílica, gomas, sais minerais, entre outros. Sua presença é notada sensorialmente pela língua e é classificado em escala visual comparativa que vai de 0 a 10.
- Umidade: Costumeiramente dado em %, define o teor de água presente na amostra e representa um importante parâmetro no que diz respeito a conservação da qualidade do açúcar em termos de crescimento de microrganismos.
- Teor de cinzas: Também dado em porcentagem, trata-se de impurezas como terra, areia. Valores acima dos limites permitidos podem causar alterações sensoriais do produto, além de uma coloração escura e aspecto arenoso.
- SST ($^{\circ}\text{Brix}$): refere-se aos sólidos solúveis totais e corresponde aos compostos carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas, gorduras e minerais que podem estar presentes no colmo.
 - % fibras: Reflete na eficiência da extração da moenda. Quanto mais alta a fibra da cana, menor será a eficiência de extração (GALO, 2013).
 - %Pureza: é estimada pela razão de %Pol pela $^{\circ}\text{Brix}$ multiplicado por 100. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar. Todas as substâncias que apresentam atividade óptica podem interferir na pol, como açúcares redutores (glicose e frutose), polissacarídeos e algumas proteínas (GALO, 2013).

3 METODOLOGIA

Foi realizada, nesse trabalho, uma revisão integrativa da literatura, que se trata de um estudo secundário realizado a partir de estudos primários, ou seja, uma busca detalhada dos trabalhos desenvolvidos acerca de um determinado tema utilizando critérios de seleção específicos para inclusão e exclusão de estudos (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008). O material selecionado foi devidamente analisado e foi executada a leitura analítica, levando a discussão dos resultados.

Optou-se por utilizar os seguintes critérios de busca: incluir artigos científicos que estejam disponíveis, na íntegra, nas plataformas SciELO, Google Acadêmico e Periódicos Capes, além de *websites* oficiais de revistas científicas, obras publicadas entre os anos de 2001 à 2021, materiais como teses de doutorado, dissertações de mestrado e monografias de graduação e excluir os artigos que tratem de revisões bibliográficas, livros, artigos incompletos, artigos pagos ou que não apresentem dados relevantes para a discussão levantada nesse trabalho.

Como descritores de busca, utilizou-se: cana-de-açúcar, açúcar cristal, refinado, análises físicas, análises químicas, análises físico-químicas, análises biológicas, entre outros (e seus correspondentes na língua inglesa: *crystal sugar, refined sugar, physicochemical analyses, biological analyses*). Os descritores foram relacionados utilizando o operador booleano AND nos motores de busca, utilizando filtros como o ano, língua (português e inglês), disponibilidade do material completo, presença dos descritores no título, resumo ou palavras-chave.

Inicialmente, foram encontrados cerca de 398 artigos a partir dos descritores colocados nas plataformas de busca. Com a utilização dos filtros, algumas obras foram excluídas e restaram 85 artigos. A partir de então, realizou-se a leitura do título, resumo e palavras-chave, para determinar o foco temático de cada trabalho levando a 18 artigos selecionados. Após a leitura minuciosa do conteúdo dos trabalhos, foram selecionados apenas 9 trabalhos que atendiam aos critérios de inclusão e exclusão e tratavam da temática abordada nesse trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da revisão da literatura, realizada nos periódicos de busca, foram selecionados nove (9) artigos que atendiam aos critérios selecionados para esse estudo. Os artigos selecionados apresentaram pesquisas realizadas utilizando como objeto de pesquisa o açúcar refinado e envolviam análises físico-químicas, cromatográficas, para determinar e/ou investigar características relevantes desse material de consumo alimentício, tanto para avaliar novas técnicas de análise, quanto estudos realizados em diferentes materiais coletados (diferentes países, produtores, refinarias).

No Quadro 1 estão colocados, em ordem cronológica, os artigos selecionados, contendo as informações de seleção principais utilizadas como método de seleção dos artigos: autores, título, palavras-chave, objetivos.

Nos processos industriais, a busca por novas metodologias que auxiliam na diminuição das perdas, na otimização dos processos e aumento da qualidade dos produtos é um dos principais objetivos a longo prazo. Portanto, o planejamento e desenvolvimento de pesquisas envolvendo esses aspectos são de grande importância para as empresas, sendo realizadas, principalmente, por pesquisadores em laboratórios associados às empresas ou pesquisadores da própria empresa.

Nessa revisão, alguns estudos foram voltados para a investigação de novas metodologias envolvendo o controle de qualidade ou análises do açúcar refinado, como determinação do teor de sacarose (MORGANO; MORIYA; FERREIRA, 2002), estimativa da cor do açúcar (MOODLEY; PADAYACHEE; GOVENDER, 2004), melhoramento da turbidez (MASEKO; SINGH; MOTSA, 2011) e a influência de polissacarídeos no processo de filtragem (HAMMAM et al., 2020).

Quadro 1 – Informações dos artigos selecionados da revisão integrativa.

	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Objetivos
1	Morgano; Moriya; Ferreira et al. (2002)	Determinação Quantitativa do Teor de Sacarose em Açúcar Cristal por Espectroscopia FT-IR/ATR e Regressão Multivariada.	FT-IR; Espectroscopia; PLS; Regressão multivariada; Açúcar.	O objetivo principal do trabalho foi avaliar a determinação de sacarose no açúcar cristal utilizando a técnica por espectroscopia no infravermelho em comparação à técnica de polarimetria.
2	Moodley; Padayachee; Govender (2004)	Evaluation of the saccharoflex 2000 reflectance measuring instrument for refined sugar colour estimation at huletts refinery.	Colour measurement, ICUMSA, refined sugar, reflectance.	Nesse trabalho o objetivo foi avaliar a eficácia de um da medição de reflectância do instrumento Saccharoflex 2000 na estimativa da cor do açúcar cristal em uma refinaria em Durban, África do Sul.
3	Maseko; Singh; Motsa (2011)	Steps taken to improve refined sugar turbidity at the Pongola sugar refinery.	Turbidity, refinery, Pongolamill.	O objetivo do trabalho foi acompanhar o processo de melhoramento da turbidez para aumentar a qualidade do açúcar cristal produzido em uma refinaria localizada na Pongola, África do Sul.
4	Pohl; Stecka (2011)	Elemental Composition of White Refined Sugar by Instrumental Methods of Analysis.	White sugar; sample preparation; analysis; trace elements; instrumental methods.	O objetivo desse trabalho foi avaliar os métodos instrumentais utilizados para determinar a composição elementar do açúcar refinado branco.
5	Engida; Bultosa; Bussa (2013)	Physicochemical Quality of Ethiopian Plantation White Sugar from Three Sugar Factories.	Finchaa; Metahara; Physicochemical quality; Plantation white sugar; Soft drinks; Wonji.	Análises físico-químicas de três açúcares brancos de plantações diferentes comparado a um açúcar refinado controle para uso em refrigerantes carbonatados.
6	Bettani et al. (2014)	Avaliação físico-química e sensorial de açúcares orgânicos e convencionais.	Cor, textura, composição química, açúcar.	Este estudo teve como objetivo avaliar as características físico-químicas e sensoriais de diferentes açúcares: açúcar orgânico cristal, açúcar orgânico demerara, açúcar cristal convencional, açúcar cristal refinado e açúcar mascavo.
7	Silva (2017)	Caracterização e determinação de minerais em amostras de açúcares brasileiros.	Análises químicas; nutrientes minerais; qualidade; cana-de-açúcar.	O estudo objetivou avaliar o perfil mineral de açúcares brasileiros utilizando a espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado. Os minerais investigados foram: enxofre, potássio, fósforo, cálcio, cobre, manganês, magnésio, silício, ferro e zinco.

8	Lee et al. (2018)	Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars.	Physicochemical properties; Cellular antioxidant activity; Sugar composition; Mineral content; Sensory compounds.	Foram investigados três açúcares comerciais refinados e quatro não refinados comercializados na Coréia foram investigados quanto aos parâmetros físico-químicos, como pH, sólidos solúveis, turbidez, cor, dentre outros.
9	Hamam et al. (2020)	Effect of Polysaccharides on Filterability during Refined Sugar Manufacture.	Filterability; starch; dextran; raw sugar; refined sugar; talidor.	O estudo teve como objetivo investigar a influência de polissacarídeos, como amido e dextrano, do açúcar bruto tem sobre a capacidade de filtração, provocando problemas na qualidade do açúcar refinado.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Outros estudos selecionados envolveram análises físico-químicas de açúcares de diferentes plantações (ENGIDA; BULTOSA; BUSSA, 2013), características físico-químicas de diferentes tipos de açúcar, incluindo o açúcar refinado (BETTANI et al., 2014), o perfil mineral de açúcares brasileiros (SILVA, 2017), e investigação de parâmetros físico-químicos de diferentes açúcares comerciais (LEE et al., 2018), tratando de discussões voltadas para avaliação da qualidade da matéria prima e o produto produzido e consumido em diferentes regiões do mundo. Percebe-se, portanto, que o ponto em comum dos estudos desse material de consumo é a busca pelo conhecimento da qualidade do produto e novas formas de alcançar esse padrão de qualidade.

Para melhor desenvolver a discussão, o Quadro 2 relata informações sobre a metodologia e os principais resultados dos artigos, onde os artigos relacionados no Quadro 1, fornecendo uma visão mais detalhada dos trabalhos e favorecendo o aprofundamento do conhecimento sobre cada assunto levantado. A coleta dessas informações fez parte do processo metodológico adotado e contribuiu para compreender detalhadamente cada artigo selecionado.

Como já mencionado, ao longo dos anos foram sendo desenvolvidas novas estratégias de análise que possam otimizar o processo de controle de qualidade para que o produto possa ser utilizado de forma segura tanto para o consumo humano, quanto para fins industriais.

Quadro 2 – Metodologia e principais resultados dos artigos.

	Metodologia	Resultados
1	Para o desenvolvimento do trabalho, foi criado um modelo de regressão utilizando um padrão de sacarose. As amostras foram coletadas em diferentes usinas de São Paulo. Os espectros de infravermelho das amostras de açúcar (dissolvidas em água bidestilada) foram realizados espectrômetro Nicolet FT-IR (modelo 520), equipado com cristal de reflectância de selenito de zinco (circlecell), material inerte à água. Para comparar os resultados, foram realizadas as análises de polarimetria, com as medidas de rotação ótica da solução clarificada das amostras de açúcar.	A partir das curvas de regressão obtidas utilizando o método dos mínimos quadrados parciais foi possível obter resultados sobre o teor de sacarose nas amostras de açúcar com boa precisão e exatidão. O erro padrão de previsão foi baixo e a repetitividade do método de infravermelho foi melhor do que a do método polarimétrico. Portanto, os dados apontam que essa técnica pode ser uma opção similarmente boa para determinar tanto a sacarose quanto outros componentes, como umidade e sólidos.
2	Nesse trabalho, foram realizados testes de cor utilizando o método ICUMSA e utilizando resultados de reflectância do aparelho Saccharoflex 2000. Foram preparadas 12 amostras de açúcar refinado para obtenção dos valores ICUMSA e as medidas de reflectância. Os resultados obtidos foram plotados para gerar dados de calibração utilizando uma curva de regressão linear.	Os resultados encontrados nesse estudo apontaram que o uso do aparelho frente ao método tradicional foi adequado, trazendo benefícios para sua aplicação dentro da indústria, como redução do tempo de medição, economia de mão de obra, redução de custos com produtos químicos (bom para a empresa e para o meio ambiente), redução da perda de açúcar por erros na medição de cor e otimização das configurações da água de lavagem da centrífuga.
3	Para otimizar a turbidez do açúcar refinado em uma usina, foi realizada a investigação por análise do primeiro, segundo, terceiro e quarto açucares e identificou-se que a contaminação por resíduos de sulfito de cálcio e carbonato de cálcio foram a causa dos altos valores de turbidez. Como estratégia de mudança, o protocolo de melhoria foi voltado para as práticas de operação e manutenção da estação de filtro, onde são realizados os processos de carbonatação e sulfitação.	O primeiro passo foi identificar problemas nas máquinas que poderiam ser corrigidas, o segundo passo foi a automação das estações de filtro a fim de manter a qualidade do licor filtrado. Os resultados dessas estratégias mostraram a importância da abordagem de gerenciamento de projetos, levando à otimização da operação e manutenção da estação de filtro. Além disso, a automação da estação de filtro forneceu as informações de diagnóstico para identificar situações fora de controle em tempo real.

4	<p>Para verificar o desempenho analítico de cada técnica, foram realizados os preparos das amostras de açúcar para cada método, sendo relatado o procedimento de cinzelamento para aplicação em métodos como o de espectroscopia de absorção atômica por chama e espectroscopia de absorção atômica com atomizador de grafite.</p>	<p>Os métodos foram verificados e foi percebido que sua facilidade e bom desempenho analítico explicam sua utilização comum na determinação de oligoelementos no açúcar. No entanto, foram percebidas algumas limitações quanto à complexidade da matriz do açúcar, e a necessidade de várias etapas de digestão e a mineralização do açúcar aumentam o risco de contaminação. Esses fatores levam a crer que processos não destrutivos precisam ser investigados, visando minimizar o uso de reagentes, aumentar a confiabilidade, reduzir o tempo de preparo de amostras e utilizar um preparo de amostra voltado para a “química verde”.</p>
5	<p>Amostras de três plantações diferentes foram investigadas quanto às propriedades físico-químicas. Foram realizados testes de polarização, cor, turbidez, pH, redução do teor de açúcar, teor de sulfito, condutividade das cinzas, teor de umidade, teor de dextrana, teor de matéria insolúvel, distribuição de tamanho de partícula, teores de Fe, Cu e Pb. Todos os testes foram realizados em triplicata e os dados foram comparados usando Duncan's Multiple Range Tests (DMRT) com $p < 0.05$.</p>	<p>Os resultados foram comparados com os parâmetros das indústrias de refrigerantes carbonatados. Foram percebidas diferenças consideráveis principalmente nos níveis de polarização, teor de sulfito, cor e matéria insolúvel entre as três amostras de açúcar. Dois dos açúcares apresentaram resultados de padrão de qualidade semelhantes ou melhores que o parâmetro colocado. No entanto, mesmo atendendo a alguns dos requisitos, todos os açúcares apresentaram alguma limitação para atender as demandas das indústrias de refrigerante. Assim, os resultados apontaram para a necessidade de agregar novas tecnologias de refino, para atender as demandas da indústria local e exportações.</p>
6	<p>Foram obtidos 3 kg de cada amostra investigada, sendo codificadas de A à H dividindo-as em: açúcares cristal orgânicos (A, B), açúcar cristal convencional (C), açúcares demerara orgânicos (D, E, F), açúcar mascavo orgânico (G) e açúcar refinado convencional (H). Foram realizados testes para os parâmetros físico-químicos: Umidade pelo método de perda de peso por secagem; Polarização, Fenólicos e Aminoácidos, Cor U.I, pH e Turbidez. Além disso foi realizada a análise sensorial quanto a cor, granulidade visual, sabor doce, aroma característico de açúcar, solubilidade do açúcar na boca por 20 indivíduos não treinados.</p>	<p>Os resultados encontrados para os parâmetros físico-químicos dos diferentes tipos de açúcar investigados divergiram dos valores colocados pela legislação, no entanto, alguns não puderam ser comparados devido à ausência de uma legislação específica para determinados tipos de açúcar, principalmente o demerara, mascavo e orgânicos. Os aspectos sensoriais foram bastante heterogêneos, como esperado. As amostras mostraram diferentes resultados para os parâmetros aparência, aroma e textura.</p>
7	<p>A metodologia empregada foi a determinação dos minerais nos açúcares utilizando a espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado. A metodologia envolveu a digestão das amostras de açúcar do tipo cristal, demerara, refinado e mascavo, moagem e preparo das pastilhas.</p>	<p>Os resultados obtidos apontaram para a determinação de 10 minerais, sendo eles: Mn, Mg, K, S, P, Zn, Ca, Cu, Fe, Si, em todas as amostras. As amostras que apresentaram maior percentual dos minerais foram as de açúcar demerara e mascavo, destacando a concentração de Ca, Mg, K, Fe, Si e S. Além do método principal, outros métodos foram testados para determinação de minerais. Os resultados foram positivos.</p>

8	<p>As amostras de açúcar refinado e não refinado foram investigados para os parâmetros de pH, sólidos solúveis, umidade, teor de cinzas, turbidez, valores de cor, perfil microbiano, poder de redução e quanto a presença de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil e 2,2 Atividades de eliminação de radicais ' -azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico), atividade antioxidante celular e fitoconstituente total (ou seja, fenólico, flavonóide, mineral, sacarose, glicose e frutose) usando protocolos analíticos padrão, como cromatografia líquida de alto desempenho, cromatografia gasosa de ionização de chama, espectrometria de massa e espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado.</p>	<p>Os resultados das propriedades físico-químicas de todas as amostras se mostraram dentro dos padrões estabelecidos. A propriedades nutricionais e antioxidantes foram afetadas pelo grau de refino dos açúcares, sendo que os não refinados apresentaram resultados satisfatórios para esses componentes. O teor de sacarose foi maior nos açúcares refinados.</p>
9	<p>Foram coletadas amostras de açúcar no filtro de prensa (carbonatação) na saída do talidor (ácido fosfórico – tratamento com cal). Foram determinadas as quantidades de amido e dextrana de acordo com métodos presentes na literatura. A filtrabilidade foi medida utilizando papel de filtro (papel de filtro stander tamanho 200mm), usando a solução de açúcar a 60°C.</p>	<p>A filtrabilidade indicou relação direta com a proporção de amido e dextrana, em que foi menor com o aumento da quantidade de dextrana. No filtro prensa a proporção dos polissacarídeos alta levou a uma baixa filtrabilidade. Esses problemas refletem na qualidade do açúcar refinado.</p>

Fonte: Próprio autor (2021).

Em razão disso, estudos são voltados para determinar a contaminação do açúcar, seja na matéria-prima e no produto, como Sinha et al., (2011) e Ramasubramanian e Paramasivam (2016), que investigaram métodos de extração de inseticidas e pesticidas de amostras de açúcar bruto e açúcar comercial para detectar a presença desses contaminantes. O desenvolvimento dessas técnicas influencia no controle de qualidade da produção do país, assim como envolve novos métodos otimizados para a determinação de agentes químicos. A atenção para esses aspectos no controle de qualidade envolve a necessidade de minimizar os impactos que o uso desses agentes químicos provoca tanto na natureza quanto na saúde dos consumidores.

Em termos de análises físico-químicas, alguns parâmetros são considerados principais no controle de qualidade do açúcar, como o teor de sacarose, cor, resíduos sólidos, umidade, dentre outros. O teor de sacarose é um desses parâmetros, visto que a sacarose é o principal componente do açúcar, sendo o foco de interesse por estar presente em abundância na cana-de-açúcar. Portanto, conhecer o teor de sacarose é uma das análises necessárias para definir a pureza do produto obtido na refinaria. A polarimetria é uma das técnicas utilizadas para definir esse parâmetro de controle de qualidade de açúcar, sendo a polarização à medida que define a porcentagem de sacarose no açúcar.

Visando driblar algumas limitações do método, Morgano, Moriya e Ferreira (2002) abordaram a utilização da espectroscopia do infravermelho com transformada de Fourier para obter resultados sobre o teor de sacarose. Esse método se mostrou promissor, no entanto, em outros trabalhos mais recentes percebe-se o uso da polarimetria para definir o teor de sacarose em amostras de açúcar, quando investigados os parâmetros físico-químicos, tanto nacionalmente quanto internacionalmente (ENGIDA; BULTOSA; BUSSA, 2013; BETTANI et al., 2014).

Outro parâmetro colocado como principal para o controle de qualidade é a cor, que se trata de uma medida principal para o controle de qualidade. A Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar (ICUMSA), por exemplo, trata dos métodos para análise do açúcar. Um dos parâmetros em que se percebe a presença dessa comissão de forma explícita é a cor, que é medida a partir do método ICUMSA e a unidade é dada em UI (unidade de ICUMSA).

No trabalho de Moodley, Padayachee, Govender (2004), a cor foi investigada a partir da comparação entre a medida realizada pelo método ICUMSA e a utilização do

instrumento Saccharoflex 2000, que mede a reflectância e pode fornecer resultados mais rápidos para a cor do açúcar. A utilização dessa metodologia evidenciou alguns benefícios frente ao método ICUMSA, como redução do tempo de medição, economia de mão de obra, redução de custos com produtos químicos, dentre outros fatores que influenciam na otimização do processo industrial.

Em outros estudos mais recentes, citados na revisão, pode-se perceber que esse parâmetro é citado como um dos parâmetros físico-químicos importantes para investigar a qualidade do açúcar (ENGIDA; BULTOSA; BUSSA, 2013) ou, até mesmo, definir aspectos sensoriais para diferentes tipos de açúcar (BETTANI et al., 2014), mas estes utilizam o método ICUMSA, chegando a resultados próximos do padrão para as amostras utilizadas em cada caso.

No estudo de Lee et al. (2018) buscaram outra metodologia empregada para a determinação desse parâmetro, em que foi utilizado como instrumento um espectrocolorímetro Tristimulus (DP-400, Konica Minolta Inc., Chiyoda-ku, Tóquio, Japão) calibrado com uma placa de referência de porcelana branca. Foram determinadas também as coordenadas de cor do espaço de cor uniforme (L^* - luminosidade, a^* - vermelho/verde, b^* - amarelo/azul) a partir de medidas de refletância e cromaticidade, baseando-se em outra referência (BYUN et al., 2013).

Os valores encontrados a partir dessa metodologia diferem tanto do método ICUMSA quanto do método utilizado por Moodley, Padayachee, Govender (2004). Apesar da variedade de métodos e da representatividade de seus resultados, percebe-se que o método ICUMSA é referência para definir esse parâmetro físico-químico do açúcar.

Esses procedimentos fazem parte do processo de otimização das etapas pelas quais a matéria prima e o açúcar bruto passam até se tornar o produto. No processo de otimização, a organização e planejamento são fundamentais para localizar erros e determinar melhorias no processo industrial.

Como uma das etapas de controle de qualidade importantes, a análise da turbidez é uma das medidas realizadas após o processo de clarificação, uma das etapas de refino, em que cal, carvão ativado e um agente clarificador é utilizado para remover as impurezas que ficam suspensas no caldo após a filtração. Portanto, a qualidade do caldo que sai das estações de filtro interfere na eficácia da clarificação e, conseqüentemente, nos resultados de turbidez do caldo após esse processo.

Nessa perspectiva, no trabalho de Maseko; Singh; Motsa (2011) relatam o processo de melhoramento da turbidez para aumento da qualidade do açúcar produzido em uma refinaria. Nesse processo, foram necessárias algumas etapas importantes no gerenciamento da produção, sendo necessário identificar a causa do problema e aplicar uma nova estratégia para minimizar as limitações presentes nessa etapa. Assim, foi observado que o problema estava localizado nas estações de filtro, que necessitavam de maior atenção quanto aos detalhes de operação e limpeza. Além disso, a automação das estações mostrou-se uma mudança significativa na otimização dessa etapa da operação.

Outro problema que pode interferir na capacidade de filtração do caldo foi relatado por Hammam et al. (2020), que investigou a relação entre a proporção de polissacarídeos e a filtrabilidade com amostras de caldo coletadas na etapa de filtração. A presença de grandes quantidades de amido e dextrana na amostra apresentou uma baixa filtrabilidade, sendo coletadas em tempos diferentes e calculada a taxa de filtrabilidade em ml/min.

As análises químicas também podem envolver a análise elementar e a presença minerais (Fe, K e Si), que são componentes importantes para a qualidade do produto. No caso da análise elementar, foram utilizadas técnicas de espectroscopia de absorção atômica por chama e espectroscopia de absorção atômica com atomizador de grafite, sendo percebidas algumas limitações quanto a digestão das amostras e o uso excessivo de reagentes, apesar de seus bons resultados para determinação de oligoelementos (POHL; STECKA, 2011).

Na determinação de minerais, o estudo de Silva (2017) aborda uma metodologia que envolve a utilização da espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado, além de outras duas técnicas (LIBS e EDXRF) como métodos comparativos que podem determinar outros minerais (Mg e Mn pelo método LIBS). Seus resultados mostraram a presença de minerais importantes para a indústria e para a nutrição humana, e a proposta apresentou a possibilidade de utilizar outros dois métodos para a determinação de minerais em amostras de açúcar como alternativas de análises qualitativas de controle de qualidade nas usinas com processos de preparo de amostra mais simples e bastante eficazes.

5 CONCLUSÃO

A produção do açúcar cristal refinado, no setor sucroalcooleiro, compreende a mais importante parcela do mercado. O açúcar produzido nas refinarias não abastece somente o consumidor de açúcar de mesa, mas o mercado internacional, indústrias de produtos que utilizam o açúcar como ingrediente essencial, como empresas de refrigerantes. Portanto, tanto no mercado nacional quanto no mercado internacional, a produção de açúcar movimenta milhões e tem sua importância para a economia do país.

Assim, para garantir a qualidade do produto é necessário atender aos padrões de qualidade, atentando para cada etapa da produção do açúcar, com protocolos rígidos de controle de qualidade e observação dos parâmetros de qualidade adequados para cada tipo de açúcar.

Nessa revisão, foram abordados estudos que envolviam a análise físico-química na produção do açúcar refinado. Os artigos selecionados envolviam abordagens metodológicas inovadoras, propostas de otimização de processos, análises de diferentes tipos de açúcar, dentre outros. A discussão levantada propôs observar a abordagem de metodologias científicas aplicadas ao controle de qualidade industrial, buscando analisar diferentes perspectivas para um mesmo fim.

Foi possível observar nos estudos que a abordagem das pesquisas visa o melhoramento das condições de produção dentro das empresas, buscando desenvolver métodos que facilitem as análises de rotina sem perder a qualidade dos resultados e otimizando a qualidade do produto final, que é levado ao consumidor. As abordagens analisadas buscam atender as necessidades de produção e consumo, com novas tecnologias mais eficazes e menos destrutivas para o meio ambiente.

Todos os estudos apresentaram resultados promissores e percebe-se que ao longo dos anos, foram essas pesquisas que modificaram tantos processos e desenvolveram a produção do açúcar para a realidade atual. Portanto, conclui-se que esse estudo alcançou o objetivo principal de abordar uma revisão sobre as análises físico-químicas do açúcar cristal refinado no processo de produção, desde o açúcar bruto até o produto final.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. M. Processo de fabricação do açúcar. **Editora Universitária - UFPE**, n. 443, 2011.
- ALCARDE, A. R. Processamento da cana-de-açúcar. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária–Embrapa**, 2007.
- ALEGRIO, J. G. M. **Relação da ingestão de açúcar (frutose, glicose e sacarose) com a variação de marcadores inflamatórios**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra, 2017.
- ALVES, G. G.; SANTOS, G. C.; ISAAC, I. S.; GAMA, L.; GRANADO, S. A. **Analysis and development of a sugar and alcohol industry project**. 2018. 231f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018
- ALVES, L. R.; CRESTANI, C. E. Filtração e microfiltração na produção de açúcar comercial sem tratamento químico. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetininga, v. 8, n. 021022, p. 1-19, 2021.
- ANDRADE, S. A. C.; CASTRO, S. B. Engenharia e tecnologia açucareira. **Departamento de Engenharia Química CTG – UFPE**, 2006.
- ARAÚJO, FAD de. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. **Revista Ciências e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2007.
- ARAÚJO, Frederico Augusto Dantas de. **Intensificação do processo de purificação do caldo da cana-de-açúcar por decantação química e adsorção**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/28385><https://attena.ufpe.br/handle/123456789/28385>. Acesso em: 23 set. 2021.
- BARCLAY, A.; SANDALL, P.; SHWIDE-SLAVIN, C. The ultimate guide to sugars and sweeteners. **The Experiment**, v. 279, 2014.
- BETTANI, S. R.; LAGO, C. E.; FARIA, D. A. M.; BORGES, M. T. M. R.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Avaliação físico-química e sensorial de açúcares orgânicos e convencionais. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 2, p. 155-162, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 152 de 6 de dezembro de 2013. **Regulamento Técnico do Açúcar**, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003: aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2003.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 18 de 24 de março de 2008: dispõe sobre o regulamento técnico que

autoriza o uso de aditivos edulcorantes em alimentos, com seus respectivos limites máximos. **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 45 de 03 de novembro de 2010: dispõe sobre aditivos alimentares autorizados para uso segundo as Boas Práticas de Fabricação (BPF). **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 47, de 30 de agosto de 2018: estabelece o Regulamento Técnico do Açúcar, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto. **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2018.

BYUN, S. M.; NO, H. K.; HONG, J. H.; LEE, S. I.; PRINYAWIWATKUL, W. Comparison of physicochemical, binding, antioxidant and antibacterial properties of chitosans prepared from ground and entire crab leg shells. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 48, n. 1, p. 136–142, 2013.

CARPANEZI, E. L. Relatório interno da refinaria: processos. **Usina Guarani**, v. 44, 2010.

CASTRO, S. B. C.; ANDRADE, S. A. C. Tecnologia do açúcar. **Ed. Universitária UFPE**, v. 382, 2007.

CHIANESE, A.; KRAMER, H. J. M. Industrial crystallization process monitoring and control. **WeinheimGermany: Wiley-VCH**, v. 1, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série Histórica das Safras**. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CREMA, L. C. **Clarificação por flotação com ar dissolvido (FAD) da calda de açúcar cristal para produção de açúcar refinado**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2012.

CRUZ, A., COELHO, M., TORRES, D. Dinamismo e competitividade do Brasil nos mercados doméstico e internacional de açúcar. **Revista de Política Agrícola**, 2020.

DE PAULA, Luana Nascimento; ALVES, Adriano Rosa; NANTES, Eliza Adriana Sheuer. A importância do controle de qualidade em indústria do segmento alimentício. **Revista Conhecimento Online**, v. 2, p. 78-91, 2017.

ELIAS, L. P.; TORRES, L. B.V. Emprego do açúcar demerara na elaboração de geleia de laranja com cranberry (*Vacciniummacrocarpon*). **Revista Nutrivisa**. v. 4, p. 48–60, 2017.

ENGIDA, Endale; BULTOSA, Geremew; BUSSA, Negussie. Physicochemical quality of Ethiopian plantation white sugar from three sugar factories. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, n. 7, p. 2250-3153, 2013.

FINGUERUT, Jaime. Setor sucroenergético representa 2% do PIB brasileiro, afirma diretor do ITC. **Jornal da Cana**, 2019. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/setor-sucroenergetico-representa-2-do-pib-brasileiro-afirma-diretor-do-itc/>. Acesso em: 23 set. 2021.

FREITAS, A. F. S; MORAIS, A. C. S. (RE)Conhecimento de doces caseiros tradicionais da cidade 1 de Baturité – CE. **Instituto Federal do Ceará**, 2017.

GALO, N. P. **Controle de qualidade da cana-de-açúcar para industrialização**. 2013. 42 fl. Monografia (Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucroenergético – MTA). Universidade Federal de São Carlos -Centro de Ciências Agrárias. Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucroenergético –MTA, 2013.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

HAMMAM, T. S.; ZAGHLOOL, M. M.; EL-SHERIF, S. A.; EL-NAGGAR, E. A.; FERWEEZ, H. Effect of Polysaccharides on Filterability during Refined Sugar Manufacture. **AsianJournalofResearchand Review in Agriculture**, p. 79-81, 2020.

JERONIMO, E. M. Produção de açúcar mascavo, rapadura e melado no âmbito da agricultura familiar e sua importância na alimentação humana. **SRM**, p. 111-120, 2018.

LEE, J. S.; RAMALINGAM, S.; JO, I.G.; KWON, Y. S.; BAHUGUNA, A.; OH, Y. S.; KIM, M. Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. **Food ResearchInternational**, v. 109, p. 614-625, 2018.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, 2012. 61 f.

LOPES, Cláudio Hartkopf. **Tecnologia de produção de açúcar de cana**. São Carlos: EdUFSCar, 2011. 183 p. – (Coleção UAB-UFSCar).Disponível em: https://www.academia.edu/download/59443475/TS_ClaudioLopez_TecnologiaProdAcucar20190529-65293-1clknp.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

MACHADO, S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Inumas Goiás, 2012

MAGALHÃES, A. C. C. **Aula: Álcool e Açúcar – Unidade II – Fabricação do Açúcar**. Universidade Federal de Uberlândia. Departamento de Engenharia Química, Uberlândia, v. 87, 2012

MANDRO, J. L. **Processo de peroxidação de açúcar tipo VHP na produção de açúcar refinado**: implicações químicas, tecnológicas e microbiológicas. 2016. 97f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola)-Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade de São Paulo, 2016.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa Nº42**, de 13 de novembro de 2017, 2017.

MARANHO, M. F. **O moinho e o engenho**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, University of São Paulo, 2006. 1720f. doi:10.11606/T.8.2006.tde-11072007-111150

MASEKO, Q. et al. Steps taken to improve refined sugar turbidity at the Pongola sugar refinery. In: **Annual congress of south african sugar technologists association**. 2011. p. 499-509.

MATOS, D. M.; MARQUES, F. R. S. Histórico do açúcar e propostas de valorização da confeitaria regional. **Conexão UNIFAMETRO 2019: Diversidades tecnológicas e seus impactos sustentáveis**, 2019.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto Contexto Enferm.**, v. 17, n. 4, p. 758-64, 2008.

MENEZES, J. A. S. **Aspectos físicos e químicos do caldo de cana que afetam a capacidade fermentativa das células de levedura**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

MESSA, S.; NESPOLO, C. Produção e composição de diferentes tipos de açúcar. **Jornal Sul Brasil**, v. 202, n. 9, p. 1, 2017.

MOODLEY, M.; PADAYACHEE, N. K.; GOVENDER, V. Evaluation of the Saccharoflex 2000 reflectance measuring instrument for refined sugar colour estimation at hulets refinery. In: **Proc S AfrSugTechnol Ass**. 2004. p. 78.

MORGANO, M. A.; MORIYA, C.; FERREIRA, M. M. C. Determinação Quantitativa do Teor de Sacarose em açúcar cristal por Espectroscopia FT-IR/ATR e Regressão Multivariada. **BrazilianJournal**, v. 6, p. 77-83, 2003.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>. Acesso em: 12 ago. 2021.

OLIVEIRA, A. F. M.; GALLI, L. C. L. A.; LOUZADA, R.; FIGUEIRA, S. R. F.; MORAES, A. F. Competitividade internacional das exportações de açúcar no período de 1991-2014. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v. 20, p. 75-88, 2017.

OLIVEIRA, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA JUNIOR, J. F. Impactos dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia: Sugar specifications parameters and this impact on the food industry. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 99 -102, 2007.

Oliveira, Emanuel Neto Alves de. **Tecnologia e processamento de frutas: doces, geleias e compotas**. Editora IFRN: Natal, 2018.

OLIVEIRA, L. R. M. **Estudo da inversão da sacarose para redução de açúcar em refrigerante**. Monografia (Graduação) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, 2020.

OMETTO, Aldo Roberto. **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos, SC, 2000.

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos. **Artmed**, v. 294, 2005.

PACHER, A.M. **O processo do ensino da confeitaria clássica nas disciplinas de confeitaria, nos cursos superiores de gastronomia em Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Itajaí, 2014.

PAULINO, Oscar F. T. **Produção de açúcar**. Curso de Pós Graduação Gestão do Setor, 2009.

PAYNE, J. H. Operações unitárias na produção de açúcar de cana. **Nobel S.A.**, 2010.

POHL, Pawel; STECKA, Helena. Elemental composition of white refined sugar by instrumental methods of analysis. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 41, n. 2, p. 100-113, 2011.

PRADO, Gustavo Otero. **Clarificação do caldo de cana**. Monografia de Graduação. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

RAMASUBRAMANIAN, Thirumalaiandi; PARAMASIVAM, Mariappan. Development and validation of a multiresidue method for the simultaneous determination of organophosphorus insecticides and their toxic metabolites in sugarcane juice and refined sugar by gas chromatography with flame photometric detection. **Journal of separation science**, v. 39, n. 11, p. 2164-2171, 2016.

REIN, P. Cane sugar engineering. **Bartens**, v. 768, 2007.

RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar. **ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição**, v. 2, n. 66, 1999.

RIBEIRO, P. R. A usina de açúcar e sua automação. SMAR - **Divisão Açúcar e Álcool**, v. 2, p. 151, 2003.

SACHMAN, M. The Soft Drinks Companion - A Technical Handbook for the Beverage Industry. **CRC Press**, 2005.

SILVA, Anna Flavia de Souza. **Caracterização e determinação de minerais em amostras de açúcares brasileiros**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SINHA, S. N.; BHATNAGAR, V. K.; DOCTOR, P.; TOTEJA, G. S.; AGNIHOTRI, N. P.; KALRA, R. L. A novel method for pesticide analysis in refined sugar samples using a gas chromatography–mass spectrometer (GC–MS/MS) and simple solvent extraction method. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 379-386, 2011.

TOWNSEND, Claudio Ramalho. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. EMBRAPA-CPAF Rondônia, p. 2-5, 2000.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Sugar: World Markets and Trade**. Washington: USDA, 2021. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/z029p472x?locale=en>. Acesso em: 25 jul. 2021.

VAN HORN, L.; JOHNSON, R. K.; FLICKINGER, B. D.; VAFIADIS, D. K.; YIN-PIAZZA, S. Translation and implementation of added sugars consumption recommendations. **American Heart Association Added Sugars Conference**, v. 122, n. 23, p. 2470-2490, 2010.

WHO. World Health Organization. **Guideline: Sugars intake for adults and children**. Geneva, 2015.

WOJTCZAK, Maciej; BIERNASIAK, Joanna; PAPIEWSKA, Agnieszka. Evaluation of microbiological purity of raw and refined white cane sugar. **Food Control**, v. 25, n. 1, p. 136-139, 2012.

YAN, Y. L.; HU, Y.; GÄNZLE, M. G. Prebiotics, FODMAPs and dietary fiber — conflicting concepts in development of functional food products. **Current Opinion in Food Science**, v. 20, p. 30–37, 2018.

ZANESCO, P. C. **Síntese e análise do processo de produção do açúcar: dimensionamento da geração de vapor**, 2021.