UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE MEDICINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E DESENVOLVIMENTO NA REGIÃO CENTRO-OESTE

CARLA MAIARA LOPES CARDOZO

CARACTERIZAÇÃO DOS AÇÚCARES MASCAVO, DEMERARA, CRISTAL E REFINADO PRODUZIDOS NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS: ASPECTOS CENTESIMAIS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

CARLA MAIARA LOPES CARDOZO

CARACTERIZAÇÃO DOS AÇÚCARES MASCAVO, DEMERARA, CRISTAL E REFINADO PRODUZIDOS NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS: ASPECTOS CENTESIMAIS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste. Linha de pesquisa: Metabolismo e Nutrição. Área de concentração: Tecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Elaine Silva de Pádua Melo.

CARLA MAIARA LOPES CARDOZO

CARACTERIZAÇÃO DOS AÇÚCARES MASCAVO, DEMERARA, CRISTAL E REFINADO PRODUZIDOS NAS CINCO REGIÕES BRASILEIRAS: ASPECTOS CENTESIMAIS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste. Linha de pesquisa: Metabolismo e Nutrição. Área de concentração: Tecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Elaine Silva de Pádua Melo.

Banca Examinadora:

Prof. Dr: Valter Aragão do Nascimento – FAMED/UFMS

Profa. Dra: Priscila Aiko Hiane Siroma – FACFAN/UFMS

Profa. Dra: Andréia Cristina Lopes Corrêa – UNIDERP

Prof. Dr: Teófilo Fernando Mazon Cardoso - FACFAN/UFMS

Prof. Dr: Heurison de Sousa e Silva – UFPI

Profa. Dra: Rita de Cássia Avellaneda Guimarães - FACFAN/UFMS

Dedico este trabalho aos meu pais, Artemio (*in memorian*) e Amélia, pelos ensinamentos de amor, luta, honestidade, perseverança e fé.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, pela minha saúde e pela oportunidade de ter sido conduzida até este momento inigualável. Agradeço a Ele por abençoar cada instante de minha trajetória, dando-me sabedoria, coragem, concentração, discernimento, iluminando meus passos e amparando-me nos momentos difíceis. Deus sempre honrará tudo que fazemos com dedicação, persistência, disciplina e determinação, precisamos nos preocupar apenas em fazer a nossa parte.

Ao meu pai Artemio, que não mediu esforços para me proporcionar um ensino de qualidade. Obrigada por acreditar que investir em minha educação seria uma das coisas mais preciosas que poderia ter deixado para mim. Infelizmente você não pôde ver em Terra sua filha conquistar mais um objetivo, mas sei que onde quer que esteja está orgulhoso por mais este ciclo concluído em minha vida. Obrigada por tudo que fez por mim!

À minha mãe Amélia, meu exemplo de coragem, força e resiliência. Obrigada por ter dedicado a maior parte de sua vida para que eu me tornasse uma pessoa com valores e princípios. Apesar das inúmeras dificuldades, seu otimismo, entusiasmo, persistência e fé inabalável sempre foram o nosso alicerce. Obrigada por estar ao meu lado, incentivando-me, apoiando, acreditando em mim e em minha capacidade de alçancar os mais altos propósitos. Essa conquista também é sua Mãezinha. Obrigada por tudo!

À minha irmã Samara, que apesar de todas as nossas diferenças sempre me incentivou a continuar crescendo e conquistando meus objetivos. Obrigada por me fazer compreender e desenvolver a empatia.

Ao meu companheiro de vida Ademir Barbosa de Lima, pelo amor, respeito, carinho, cuidado, apoio, incentivo, paciência, companheirismo e por acreditar em mim nos dias que nem eu mesma acreditava. Deus nos colocou um na vida do outro no momento certo. Obrigada por cuidar tão bem de nós!

Ao meu orientador Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento, pela paciência, compreensão, disposição, solicitude, generosidade e excelência em orientar. Seus conselhos, ensinamentos e orientações sempre foram transmitidos com muita humildade, sabedoria e cuidado. Minha eterna gratidão e reconhecimento por tudo que fez por mim.

À minha coorientadora, amiga, conselheira e incentivadora Prof^a. Dr^a. Elaine Silva de Pádua Melo, pela orientação exemplar, generosidade, paciência, cuidado,

preocupação, direcionamento e apoio. Obrigada pela confiança em meu trabalho, por me acolher com carinho e atenção, por compartilhar comigo momentos difíceis e dolorosos aos mais felizes e vitoriosos, pela torcida mútua e por ser uma inspiração como pessoa, mulher, mãe e profissional. Obrigada pela preciosa amizade nessa jornada!

Ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, pelo suporte ao longo desta trajetória em que tive o privilégio de realizar o mestrado e o doutorado. Agradeço a todos os professores, pelos ensinamentos e por contribuírem para minha formação acadêmica.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, Ademir da Silva Alves Júnior, pela receptividade, atenção, compreensão e extrema competência na resolutividade das situações que lhe são atribuídas. Muito obrigada por acolher-me tão bem desde o mestrado.

A todos os colegas do Grupo de Espectroscopia e Bioinformática Aplicados a Biodiversidade e a Saúde (GEBABS), pela convivência, auxílio na realização desta pesquisa, boas risadas e estudos. A pesquisa nunca acontece de maneira isolada, é necessário o apoio, dedicação e comprometimento de uma equipe. A vocês, o meu muito obrigada!

Ao Prof. Dr. Teófilo Fernando Mazon Cardoso, técnicos e funcionários do Laboratório de Tecnologia Farmacêutica da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo suporte na realização de análises de espectroscopia.

Aos técnicos e funcionários da Unidade de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo suporte na realização de análises físico-químicas.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto do Nascimento Ramos, técnicos e funcionários do Laboratório de Biologia Molecular da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo suporte na realização de análises de espectroscopia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de fomento necessário ao financiamento de toda pesquisa.

Hoje, encerro este ciclo com muita gratidão por todos os momentos vivenciados, chegar até aqui depois de um árduo caminho é provar de um momento único e especial. Para a realização desta conquista foram necessários muito esforço, dedicação, disciplina, renúncias, paciência e perseverança. Essa experiência tornou-

me mais madura e experiente como pessoa e profissional e por isso, agradeço imensamente a todas as pessoas, mesmo aos que aqui não foram citados, mas que contribuiram para a concretização deste sonho.

A todos, o meu muito obrigada!

"Peça a Deus que abençoe seus planos e eles darão certo".

RESUMO

O conhecimento acerca da composição dos alimentos consumidos rotineiramente é essencial para se obter padrões de identidade dos produtos e a segurança dos alimentos e das populações. Devido ao elevado consumo de açúcar pela população mundial, objetivou-se caracterizar os aspectos centesimais, composição elementar e técnicas espectroscópicas dos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado produzidos nas cinco regiões brasileiras. Foram realizadas análises físico-químicas para avaliar os aspectos centesimais de umidade, cinzas, carboidratos redutores e não-redutores, composição elementar por ICP OES dos elementos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, Pb, S, Se, Si, Sr, V e Zn e técnicas de espectroscopia ultravioleta e visível (UV-VIS) e infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os resultados centesimais e elementares foram analisados pelos testes ANOVA unidirecional e ANOVA bidirecional e os resultados espectrométricos UV-VIS e infravermelho foram comparados com a literatura. Em relação às propriedades físico-químicas, a quantidade de carboidratos não redutores em todas as amostras da região Centro-Oeste não atenderam aos critérios estabelecidos. O teor de umidade variou de 0,04% a 2,67%, e o teor de cinzas, de 0,00% a 1,34%. Os carboidratos redutores variaram de 0,67% a 3,66%, enquanto os carboidratos não redutores variaram de 79,1% a 99,1%. Entre os elementos tóxicos, as concentrações variaram de 0,002 ± 0,000 (Cd) a 11,6 ± 0,5) (Al). Nas análises espectrométricas, foram observadas semelhanças entre os açúcares e entre as regiões, confirmando sua composição química autêntica. Picos associados ao teor de acúcar apareceram na faixa de comprimento de onda de 260-360 nm. A análise espectroscópica dos diferentes tipos de açúcar revelou sinais de 900 a 1500 cm⁻¹. Nossos resultados fornecem uma caracterização abrangente das propriedades físicoquímicas dos açúcares brasileiros, apoiando a padronização, a verificação de autenticidade, a detecção de adulteração, a avaliação da qualidade e a segurança alimentar.

Descritores: Segurança alimentar; Minerais; Oligoelementos; Composição de alimentos; Teias agrícolas.

Nota: O artigo proveniente desta tese encontra-se aceito no periódico Journal of Food Measurement and Characterization, com o título: "Characterization of four types of sugar produced in Brazil: Physicochemical aspects, elemental composition, and spectroscopic techniques".

ABSTRACT

Knowledge about the composition of foods routinely consumed is essential to obtain product identity standards and the safety of food and populations. Due to the high sugar consumption worldwide, we aimed to characterize and authenticate the physicalchemical properties, elemental composition, and spectroscopic features of brown, demerara, crystal and refined sugars produced in the five Brazilian regions. Physicalchemical and spectroscopic analyses were conducted to assess moisture, ash, reducing and non-reducing carbohydrates, and elemental composition using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP OES), Ultraviolet and Visible Spectroscopy (UV-VIS), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results from physical-chemical analyses were evaluated with one-way and two way ANOVA tests, while the UV-VIS and infrared spectroscopic data were compared with existing literature. Concerning physicochemical properties, the amount of nonreducing carbohydrates did not meet the standard criteria for all samples, with all samples from the Central-West region failing to comply with the regulations. Moisture content ranged from 0.04% to 2.67%, and ash content ranged from 0.00% to 1.34%. Reducing carbohydrates varied from 0.67% to 3.66%, while non-reducing carbohydrates ranged from 79.1% to 99.1%. Among the toxic elements, concentrations ranged from 0.002 (± 0.000) (Cd) to 11.6 (± 0.59) (Al). In spectrometric analyses, similarities were observed between the sugars and among the regions, confirming their authentic chemical composition. Peaks associated with sugar content appeared in the wavelength range of 260-360 nm. Spectroscopic analysis of the different sugar types revealed signals from 900 to 1500 cm-1. Our findings provide a comprehensive characterization of the physical-chemical properties of Brazilian sugars, supporting standardization, authenticity verification, detection of adulteration, quality assessment, and food safety.

Descriptors: Food safety; Minerals; Trace elements; Food composition; Agricultural webs

Note: The article resulting from this thesis has been accepted by the Journal of Food Measurement and Characterization, with the title: "Characterization of four types of sugar produced in Brazil: Physicochemical aspects, elemental composition, and spectroscopic techniques".

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (A) plantação de cana-de-açúcar, (B) folhas e caule da cana-de-açúcar, (C
cana-de-açúcar descascada e (D) derivados da cana-de-açúcar24
Figura 2 - (A) açúcar mascavo, (B) açúcar demerara, (C) açúcar cristal e (D) açúca
refinado28
Figura 3 - (A) Molécula de glicose — C ₆ H ₁₂ O ₆ em cadeia ciclíca e (B) Molécula de
sacarose – C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ em cadeia acíclica33
Figura 4 - Mapa do Brasil ilustrando as respectivas Regiões de estudo: (A) Região
Sul, (B) Região Sudeste, (C) Região Centro-Oeste, (D) Região Norte e (E) Região
Nordeste45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais países produtores de cana-de-açúcar2	4
Tabela 2. Principais estados produtores de cana-de-açúcar nas Regiões Sul, Sudeste	∋,
Centro-Oeste, Norte e Nordeste2	5
Tabela 3. Grupo, classe e tipo dos diferentes açúcares de estudo2	7
Tabela 4. Tipos de açúcares, regiões e respectivos códigos4	4
Tabela 5. Tipos de açúcar e locais de produção conforme cada região brasileira4	5
Tabela 6. Dados do Programa operacional para o sistema de digestão4	8
Tabela 7. Condições operacionais para análise de ICP OES4	9
Tabela 8. Informações analíticas do método ICP OES: elementos, equações d	е
calibração, limite de detecção (LOD), limite de quantificação (LOQ) e coeficiente d	е
correlação (R ²)5	0
Tabela 9. Percentual de umidade em amostras de diferentes tipos de açúcare	S
produzidos no Brasil (média ± desvio padrão)5	3
Tabela 10. Percentual de cinzas em amostras de diferentes tipos de açúcare	S
produzidos no Brasil (média ± desvio padrão)5	5
Tabela 11. Percentual de glicose em amostras de diferentes tipos de açúcares da	S
cinco regiões brasileiras (média ± desvio padrão)5	7
Tabela 12. Percentual de sacarose em amostras de diferentes tipos de açúcares da	S
cinco Regiões Brasileiras (média ± desvio padrão)6	0
Tabela 13. Dados analíticos sobre o conteúdo elementar presente nos diferentes tipo	S
de açúcares produzidos nas cinco regiões brasileiras por ICP OES. As unidades estã	0
expressas em mg/80g ± desvio padrão6	3

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Percentual de umidade dos diferentes tipos de açúcares conforme cada	ı
região brasileira	.53
Gráfico 2. Percentual de cinzas dos diferentes tipos de açúcares, conforme cada	
região brasileira	.56
Gráfico 3. Percentual de carboidratos redutores em glicose dos diferentes tipos de	!
açúcares, conforme cada região brasileira	.58
Gráfico 4. Percentual de carboidratos não-redutores em sacarose dos diferentes	
tipos de açúcares, conforme cada região brasileira	.60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC Açúcar Cristal
AD Açúcar Demerara

AOAC Association of Official Analytical Chemists

AM Açúcar Mascavo AR Açúcar Refinado

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CO Centro-Oeste

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento

DRI Dietary Reference Intakes
EAC East African Community

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

FDA Food and Drug Administration

FTIR Fourier Transform Infra-red Spectroscopy

HQ Hazard Quotient

ICP-OES Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy
ICUMSA International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis

IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry

LOD Limits of Detection
LOQ Limits of Quantification

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

N Norte NE Nordeste

OMS Organização Mundial da Saúde
POF Pesquisa de Orçamentos Familiares

RfD Reference Dose

S Sul

SE Sudeste

TACO Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

USDA United States Departament of Agriculture

UV-VIS Ultravioleta e Visível

UL Tolerable Upper Intake Level

VHP Very High Polarization

VVHP Very Very High Polarization

LISTA DE SÍMBOLOS

Alumínio Αl As Arsênio Ва Bário Cálcio Ca Cd Cádmio Co Cobalto Cr Cromo Cu Cobre Fe Ferro

H₂O₂ Peróxido de hidrogênio

HCI Ácido Clorídrico HNO₃ Ácido Nítrico K Potássio kg Quilograma Mg Magnésio

mg/kg Miligrama por quilo

μg Micrograma Mn Manganês

Na₂CO₃ Carbonato de sódio anidro

Nanômetro nm Ρ Fósforo Pb Chumbo S Enxofre Se Selênio Si Silício Sr Estrôncio V Vanádio Zn Zinco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	.20
2.	REVISÃO DE LITERATURA	.23
	2.1 Cana-de-açúcar	.23
	2.2 Produção de açúcar	.26
	2.2.1 Açúcar mascavo	.28
	2.2.2 Açúcar demerara	.30
	2.2.3 Açúcar cristal	.31
	2.2.4 Açúcar refinado	.31
	2.3 Composição nutricional dos açúcares	.32
	2.4 Impactos do consumo excessivo de açúcar	.34
	2.5 Segurança alimentar e nutricional	.36
	2.6 Técnicas Instrumentais utilizadas na caracterização dos diferentes tipos açúcares	
	2.6.1 Umidade por secagem em estufa	.37
	2.6.2 Cinzas por incineração	.38
	2.6.3 Carboidratos redutores em glicose	.38
	2.6.4 Carboidratos não-redutores em sacarose	.39
	2.6.5 Espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (IOES)	
	2.6.6 Espectroscopia ultravileta-visível (UV-VIS)	.41
	2.6.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	.42
3.	OBJETIVOS	.43
	3.1 Objetivo geral	.43
	3.2 Objetivos específicos	.43
4.	METODOLOGIA	.44
	4.1 Aquisição das amostras	.44
	4.2 Identificação das amostras	.44
	4.3. Aspectos Centesimais	.46
	4.3.1 Determinação do teor de umidade	.46
	4.3.2 Determinação do teor de cinzas	.46
	4.3.3 Determinação de carboidratos redutores em glicose	.47
	4.3.4 Determinação de carboidratos não-redutores em sacarose	.47
	4.4 Composição elementar	.48
	4.4.1 Quantificação elementar: digestão das amostras	.48

4.4.2 Quantificação elementar por espectrometria de emissão óptica com indutivamente acoplado (ICP OES)	-
4.5 Técnicas espectroscópicas	51
4.5.1 Análise por espectrometria ultravioleta visível (UV-VIS)	51
4.5.2 Análise por espectrometria no infravermelho por transformada de (FTIR)	
4.6 Análise estatística	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 Aspectos Centesimais	53
5.1.1 Dados da determinação de umidade	53
5.1.2 Dados da determinação de cinzas	55
5.1.3 Dados da determinação de carboidratos redutores em glicose	57
5.1.4 Dados da determinação de carboidratos não-redutores em sacaros	e59
5.2 Composição elementar	62
5.2.1 Dados da quantificação de macro, microelementos e elementos tóx ICP OES	-
5.2.2 Alumínio (AI)	66
5.2.3 Arsênio (As)	66
5.2.4 Bário (Ba)	67
5.2.5 Cálcio (Ca)	67
5.2.6 Cádmio (Cd)	68
5.2.7 Cobalto (Co)	69
5.2.8 Cromo (Cr)	69
5.2.9 Cobre (Cu)	70
5.2.10 Ferro (Fe)	71
5.2.11 Potássio (K)	71
5.2.12 Magnésio (Mg)	72
5.2.13 Manganês (Mn)	73
5.2.14 Fósforo (P)	74
5.2.15 Chumbo (Pb)	74
5.2.16 Enxofre (S)	75
5.2.17 Selênio (Se)	75
5.2.18 Silício (Si)	76
5.2.19 Estrôncio (Sr)	77
5.2.20 Vanádio (V)	77
5.2.21 Zinco (Zn)	78

5.3 Técnicas espectroscópicas	79
5.3.1 Dados da análise de espectroscopia por UV-VIS	79
5.2.2 Análise de espectroscopia por infravermelho	81
6. CONCLUSÃO	84

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar pertence a família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*, tendo como nome científico *Saccharum officinarum Linn*. É originária do Sudeste da Ásia e na Nova Guiné, um arquipélago situado na província da Indonésia (LEBOT, 1999; AMARAL et al., 2015). A cana-de-açúcar, como matéria-prima, envolve a produção de distintos produtos, como o etanol, aguardente, fermento, açúcares, rapadura, vinhaça, bagaço e melaço. Além disso, a cana-de-açúcar pode ser utilizada na produção de doces, balas, sucos, refrigerantes e bolos (SINGH *et al.*, 2015; BABU *et al.*, 2022).

Mundialmente, a cana-de-açúcar tem como seus principais produtores, o Brasil, Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Colômbia, Estados Unidos, Filipinas e Indonésia, que juntos totalizam cerca de 1,9 bilhões de toneladas (BABU et al., 2022). No Brasil, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 2023 e 2024 o país registrou uma produção de 713,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2024).

A Região Sudeste é líder na produção de cana-de-açúcar, com um total de 469 milhões de toneladas neste mesmo período, seguida pela Região Centro-oeste (CONAB, 2024). A estimativa para o Brasil em 2025 é que a produção seja de 689,8 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Esta alta produção de cana-de-açúcar reflete no aumento da produção de seus derivados, principalmente o açúcar.

Como principal derivado, a cana-de-açúcar é reponsável pela produção global de 75% de açúcar (BABU et al., 2022). Neste processo de obtenção do açúcar são necessários uma sequência de etapas até o produto final, que incluem a lavagem da matéria-prima, extração e clarificação do caldo da cana, seguido de evaporação, cristalização, centrifugação, secagem e envase do produto final (BRASIL, 2018).

Dentre os principais tipos de açúcares classificados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA) e pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), estão o açúcar mascavo, demerara, cristal e refinado que diferenciam-se de acordo com seu grau de processamento (BOWMAN, 2017, BRASIL, 2018).

Por ser um produto de uso corriqueiro, o consumo excessivo de açúcar está associado ao sobrepeso e obesidade (ENDY et al., 2024), diabetes tipo 2 (LEAN, MORENGA, 2016), doenças cardiovasculares (KRITTANAWONG et al., 2023) e cáries dentárias (ALHABDAN et al., 2018). Nos Estados Unidos, a ingestão diária de

açúcar é 20% maior entre os homens do que entre as mulheres (BOWMAN et al., 2020). No Brasil, estima-se que o consumo de açúcar seja 50% maior do que o recomendado pela World Health Organization (WHO), ou seja, cada brasileiro, consome cerca de 80 g de açúcar/dia, sendo que o limite máximo para um adulto é de 25 a 50 g (WHO, 2015).

Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2017-2018), 85,4% da população adiciona açúcar a alimentos e bebidas (BRASIL, 2020). Devido a este elevado consumo de açúcar pela maior parte da população, realizar um monitoramento constante e determinar as características desses produtos têm um papel significativo, de modo que o padrão de qualidade, segurança alimentar e autenticidade sejam cumpridos a fim de garantir que o consumidor possa adquirir um produto produzido conforme os regulamentos legais (CHARTRAND, MESTER, 2019; CHOI, 2020).

Para tanto, a determinação da composição centesimal de umidade, cinzas, carboidratos redutores e não-redutores são alguns dos métodos utilizados para controle de qualidade e eficiência de processamento (AZLAN et al., 2020, FARINELLI, TOMAS MELO, 2021). Além disso, a quantificação de macroelementos (Ca, K, P, Mg, S), microelementos (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Sr, V, Zn) e elementos tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Pb) são importantes para evitar contaminações acidentais durante o processo de produção do açúcar até sua compra pelo consumidor (LEE et al., 2018).

A espectroscopia ultravioleta-visível (CHEN et al., 2021) e a espectroscopia infravermelha por transformada de Fourier (SAADI et al., 2023) são essenciais na identificação de adulterações. Embora tais técnicas já tenham sido aplicadas a alimentos como mel (GUELLIS et al., 2020, KURIAKOSE et al., 2023), açafrão (HEGAZI et al., 2022), leite (CHU et al., 2024), café (KARGARGHOMSHEH et al., 2024) e vinho (CASALE et al., 2010) em diferentes tipos de açúcares, tais métodos ainda são escassos.

A falta de padronização na produção de açúcar pode ser um problema na preparação de produtos alimentícios, pois podem apresentar características organolépticas indesejáveis, alterando o resultado de preparações que utilizam açúcar como ingrediente, o que levaria à reprovação pelos consumidores, dificultando a comercialização do açúcar (ALVES et al., 2024).

A adulteração do açúcar pode afetar tanto a qualidade do produto quanto a saúde do consumidor, tornando crucial que órgãos reguladores e consumidores

estejam cientes e vigilantes contra tais práticas (ALVES et al., 2024). Enquanto esses métodos de detecção estão avançando, a natureza evolutiva das técnicas de adulteração continua a desafiar as estruturas regulatórias e a segurança do consumidor (DU, 2024).

Diante disso, o presente estudo fornece uma ampla caracterização dos diferentes tipos de açúcares comercializados no Brasil e o pioneiro na utilização de técnicas espectroscópicas em diferentes tipos de açúcares, contribuindo com o monitoramento e controle de qualidade desses produtos. Além disso, este estudo fornece informações relevantes para o desenvolvimento de programas de vigilância destinados a garantir a segurança do abastecimento de alimentos e minimizar a exposição humana a agentes tóxicos.

Assim, este estudo tem como objetivo caracterizar quatro diferentes tipos de açúcares produzidos no Brasil sob os aspectos centesimais de umidade, cinzas, carboidrato redutor em glicose, carboidratro não-redutor em sacarose; composição elementar dos elementos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, Pb, S, Se, Si, Sr, V e Zn e técnicas espectroscópicas por espectroscopia no ultravioleta e visível (UV-VIS) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta robusta cultivada mundialmente em regiões tropicais e subtropicais de boa drenagem, de clima quente e com solos férteis, propícias para esse tipo de cultura. Pertence a família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*, com diferentes espécies, tendo como nome científico *Saccharum officinarum*. Este nome se refere à espécie original da cana-de-açúcar e supõe-se que tenha se originado no arquipélago Indonésio (BABU *et al.*, 2022).

Em termos de evolução, considera-se o gênero *Saccharum* como uma diversificação do milho. Além disso, esta espécie de cana-de-açúcar é considerada nobre, devido a capacidade de seu caule em absorver maiores quantidades de sacarose e por tolerar diversas condições de estresse (SINGH *et al.*, 2015; BABU *et al.*, 2022).

Segundo Lebot (1999), com o uso de técnicas de rastreamento molecular sugere-se que a cana-de-açúcar ocorreu no Sudeste Asiático e na Nova Guiné há cerca de 10.000 anos e posteriormente cultivada na Índia. Após este período, durante o século V d.C, uma estratégia para a cristalização do açúcar foi inventada por um cientista indiano que facilitou o armazenamento e o transporte de substâncias de açúcar cristalizado (LEBOT, 1999).

A cana-de-açúcar foi uma das primeiras culturas introduzidas no Brasil, tendo seu início em 1530 no século XVI, no início do período colonial e se adaptou muito bem às condições climáticas do país, sendo cultivada em áreas tropicais ou subtropicais. Em meados do século XVII, o Brasil tornou-se o maior produtor de açúcar de cana-de-açúcar do mundo, na época destinado ao abastecimento da Europa, num ciclo que durou 150 anos (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

No período dos engenhos, a cana-de-açúcar foi a principal base da economia do Nordeste brasileiro, sendo que a principal força de trabalho empregada foi a mão de obra escravizada, primeiramente indígena e, em seguida, a africana, um período que seguiu até o fim do século XIX. Com o tempo, houve um declínio na economia dos engenhos, pois foram sendo substituídas pelas usinas (SENA et al., 2014).

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta grande versatilidade, tanto para utilidades alimentícias como para indústria química, pois além de ser a principal

matéria-prima para a produção de açúcar, álcool, aguardente, fermento, açúcar mascavo, rapadura e melado, desde muito tempo, pode ser utilizada para diversos processos como produção de doces, balas, sucos, refrigerantes, bolos, rapadura, inclusive alimentação animal (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2008).

A cana-de-açúcar contribui com pelo menos 70% da produção de açúcar mundial (KONG et al., 2015; BABU et al., 2022). No cenário atual, o Brasil permanece sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (CONAB, 2024). A Figura 1 ilustra as diferentes fases da cana-de-açúcar, desde a plantação até a produção dos seus derivados.

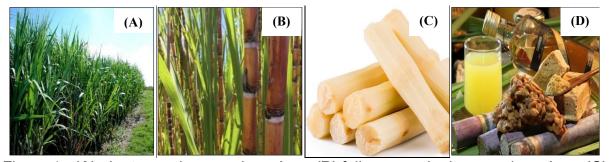


Figura 1 - **(A)** plantação de cana-de-açúcar, **(B)** folhas e caule da cana-de-açúcar, **(C)** cana-de-açúcar descascada e **(D)** derivados da cana-de-açúcar. Fonte: Embrapa.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil registrou um novo record na safra de 2023/2024 com uma produção de 713,2 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Na Tabela 1 estão apresentados os principais países produtores de cana-de-açúcar.

Tabela 1. Principais países produtores de cana-de-açúcar.

Países	Produção em toneladas
Brasil	746.828.157
Índia	376.900.000
China	108.718.971
Tailândia	104.360.867
Paquistão	67.173.975
México	56.841.523
Colômbia	36.276.860
Estados Unidos	31.335.984
Filipinas	24.730.820
Indonésia	21.744.000
Total Mundial	1.907.024.730

Fonte: Babu et al. (2022)

Em relação às regiões brasileiras, a Região Sudeste tem como principal produtor o estado de São Paulo. O Centro-Oeste é segunda maior Região produtora de cana-de-açúcar no país (CONAB, 2024). Na Região Sul, o estado do Paraná se destaca como o quinto maior produtor nacional de cana-de-açúcar. A produção de produtos como melaço, açúcar mascavo e rapadura no Rio Grande do Sul tem grande importância social e econômica (SAMPAIO et al., 2020).

Na Tabela 2 estão apresentados os principais estados produtores de cana-deaçúcar nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Tabela 2. Principais estados produtores de cana-de-açúcar nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Região	Estado	Produção em toneladas
Sul	Paraná	34.454.276
Sudeste	São Paulo	420.724.619
Centro-Oeste	Goiás	73.525.072
Norte	Tocantins	2.534.723
Nordeste	Alagoas	17.050.772

Fonte: IBGE, 2022.

O caldo obtido da cana-de-açúcar conserva muitos dos nutrientes presentes no caule da planta, como açúcares, principalmente sacarose, glicose em menor proporção, minerais essenciais, vitaminas, proteínas, ceras, graxas e compostos fenólicos (JAFFÉ, 2015). Em termos quantitativos, o caldo de cana contém água (75–85%), açúcares não-redutores (10–21%), açúcares redutores (0,3–3%), substâncias orgânicas (0,5–1%), substâncias inorgânicas (0,2–0,6%) e substâncias nitrogenadas (0,5–1%) (SREEDEVI et al., 2018).

A quantidade e a presença dos nutrientes irão depender dos processamentos utilizados para extrair o caldo da cana. Conforme o tipo de procedimento empregado na extração, o caldo tende a reduzir o teor de açúcar e a deteriorar as fibras naturais e outros compostos. Os fitoquímicos predominantes no caldo de cana-de-açúcar são os ácidos fenólicos (ácido hidroxicinâmico, ácido caféico e ácido sinápico) e os polifenóis e flavonóides (apigenina, luteolina e derivados de tricina (AZLAN et al., 2020).

Estudos realizados *in vitro* e *in vivo* demonstraram que os extratos de cana-deaçúcar podem ter efeitos benéficos, que incluem a estimulação da resposta imune, prevenção da anemia, melhora da ingestão de ferro e proteção contra envenenamento pelo elemento químico arsênio, estudos apontam ainda atividades anticarcigênicas, antiproliferativas, antioxidante e citoprotetora da cana-de-açúcar (JAFFÉ, 2012; NAYAKA et al., 2009). Tais propriedades, resultam dos efeitos de metabólitos secundários que estão presentes na planta, como polifenóis e flavonóides (JAFFÉ, 2012).

Por esse motivo, os açúcares menos processados, como o açúcar mascavo e demerara, geram muito interesse como adoçantes saudáveis e com potencial terapêutico, de modo que a alimentação seja mais saudável e possa atuar, de modo secundário, contra as doenças crônicas (GENEROSO et al. 2009; BRASIL, 2014; ROCHA et al., 2021). Entretanto, para se realizar as melhores escolhas referentes aos açúcares, é essencial que se faça a investigação e a caracterização das propriedades físico-químicas desses açúcares.

2.2 Produção de açúcar

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em seu Regulamento Técnico para Açúcares e Produtos para Adoçar e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em seu Regulamento Técnico do Açúcar, definem o açúcar como a sacarose obtida através do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) ou do suco de beterraba (*Beta alba* L.) os quais podem apresentar diferentes granulometrias e formas de apresentação, excluíndo os açúcares líquidos (BRASIL, 2005; BRASIL, 2018).

A regulamentação apresenta os requisitos de classificação, identidade, rotulagem e qualidade dos açúcares para que os produtos sejam obtidos, processados, embalados, armazenados, transportados e conservados em condições que não sejam propícias à produção, desenvolvimento ou acúmulo de substâncias físicas, químicas ou biológicas que possam colocar em risco a saúde do consumidor. Além disso, a legislação que se refere às Boas Práticas de Fabricação também servem de orientação e devem ser reproduzidas rigorosamente (BRASIL, 2002; BRASIL, 2005; BRASIL, 2018).

Os açúcares são comercializados, apreciados e utilizados principalmente como adoçante por todo o mundo há mais de 2000 anos, devido às suas propriedades palatáveis e nutricionais (JAFFÉ, 2012). Por esse motivo, uma variedade de tipos de

açúcares é produzida a partir da mesma matéria-prima e para as mais diversas finalidades culinárias, sejam elas caseiras ou industriais (BABU et al., 2022).

Os processos que envolvem a produção de cada tipo de açúcar, envolvem diferentes processos e tecnologias até a obtenção do produto final. No Brasil, os açúcares são classificados em grupos, classes e tipos (PAYET, SING, SMADJA, 2005; BRASIL, 2018).

Em relação aos grupos, os açúcares são divididos conforme o destino proposto, podendo ser para a alimentação humana com a venda direta ao consumidor ou para as indústrias alimentícias, podendo também ter outras finalidades industriais.

O primeiro grupo é classificado em duas classes: cristal branco e cristal bruto, estes por sua vez, são classificados em tipos. Os tipos de açúcar cristal branco são: (I) cristal; (II) refinado amorfo ou refinado; (III) refinado granulado; (IV) açúcar de confeiteiro. Já os tipos de açúcar cristal bruto são: (I) demerara; *Very High Polarization* (VHP) e *Very Very High Polarization* (VVHP) (BRASIL, 2018).

O segundo grupo é classificado em três classes: branco, bruto e líquido. Os tipos de açúcar branco, são: cristal; refinado granulado; refinado amorfo ou refinado e açúcar de confeiteiro. Os tipos de açúcar bruto, são: demerara, VHP e VVHP. Os tipos de açúcar líquido, são: líquido e líquido invertido. Todos os tipos de ambos os grupos de açúcares, podem ainda ser classificados como: fora de tipo ou desclassificado quando não atenderem os parâmetros estabelecidos (BRASIL, 2018).

Na Tabela 3 estão descritas a classificação dos açúcares utilizados neste estudo conforme o grupo, classe e tipo.

Tabela 3. Grupo, classe e tipo dos diferentes açúcares de estudo.

Açúcares	Grupo	Classe	Tipo
Mascavo	*	*	*
Demerara	1	Cristal bruto	Demerara
Cristal		Cristal branco	Cristal
Refinado		Cristal branco	Refinado amorfo

Nota: *O açúcar mascavo não possui grupo, classe ou tipo.

Fonte: BRASIL, 2018.

Neste estudo, foram abordados os quatro tipos de açúcares mais consumidos e conhecidos comercialmente, são eles: mascavo, demerara, cristal e refinado. Na Figura 2 estão ilustrados cada tipo de açúcar.

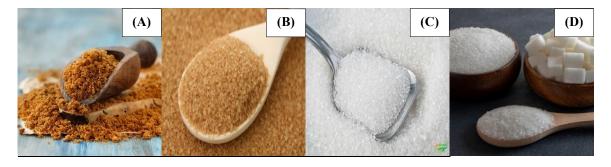


Figura 2 - (A) açúcar mascavo, (B) açúcar demerara, (C) açúcar cristal e (D) açúcar refinado.

Fonte: Canva.

2.2.1 Açúcar mascavo

Até o fim do século XIX o principal derivado da cana-de-açúcar era o açúcar mascavo, sendo que o Brasil já consolidava-se como o maior produtor mundial. No entanto, a partir da metade do século XX, houve o início da transição nutricional, com aumento no consumo de alimentos ricos em gorduras e açúcares, a produção foi reduzida e o açúcar mascavo foi sendo gradativamente substituído por açúcares do tipo cristal e refinado (EMBRAPA, 2014).

Na década de 50, o açúcar mascavo acabou perdendo seu valor comercial e sua produção passou a ser realizada apenas em pequena escala. Atualmente o açúcar mascavo tornou-se novamente um alvo de consumo e valorização, devido a crescente busca por produtos com ingredientes naturais e orgânicos (SÓLIS-FUENTES et al., 2019; BATTACCHI et al., 2020).

O açúcar mascavo é o tipo de açúcar que identificamos por ser o mais bruto, escuro e úmido. É consumido como adoçante ou incorporado como ingrediente nas indústrias de bebidas e confeitaria, respondendo por quase 60% do açúcar consumido por esses setores (MOHAN, SINGH, 2020). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, o açúcar mascavo é denominado como açúcar de cana não centrífugo por ser um adoçante natural e minimamente processado (FAO, 1994).

Os açúcares mascavo são compostos de 88% a 93% de sacarose e são caracterizados por um sabor e odor característicos (PAYET et al., 2005). Já os açúcares do tipo cristal e refinado, considerados os mais tradicionais e conhecidos como "açúcar de mesa" consistem em cerca de 99% de sacarose (SEGUÍ, 2015).

A depender do país ou região em que é produzido, o açúcar mascavo recebe nomes diferentes. Na Colômbia, Guatemala, Panamá, Equador e Bolívia é conhecido como açúcar de panela, na Venezuela é chamada de papelón, na Argentina denomina-se como açúcar integral, piloncillo no México e tapa dulce na Costa Rica. Nos países asiáticos recebe os nomes de jaggery, moscavado e kokuto. Nos Estados Unidos recebe o nome de raw sugar, brown sugar ou muscovado (JAFFÉ, 2012; SÓLIS-FUENTES et al., 2019).

No México, tradicionalmente a produção de açúcar mascavo ainda é realizada manualmente em moinhos e por produtores que em sua maioria desconhecem de sua composição e propriedades. A regulamentação para o controle de qualidade e padronização ainda estão em andamento (SÓLIS-FUENTES et al., 2019).

Sua composição é rica em açúcares naturais, fitocompostos e minerais que quando não refinados retêm vários elementos essenciais do caldo da cana, como vitaminas, aminoácidos, proteínas e antioxidantes (LEE et al., 2018; AZLAN et al., 2010). O processo para sua produção, inclui: extração do caldo da cana-de-açúcar; evaporação que envolve três etapas: clarificação, evaporação e concentração (VELÁSQUEZ et al., 2019).

Este processo de obtenção do açúcar mascavo, permite que as propriedades da matéria-prima permaneçam praticamente inalteradas, pois não há a etapa de refinamento do açúcar e portanto, é possível obter um produto que preserva principalmente, o cálcio, ferro, magnésio, fósforo, potássio, zinco, sais minerais, vitaminas, aminoácidos, antioxidantes, compostos fenólicos e flavonoides (LEE et al., 2018; SÓLIS-FUENTES et al., 2019; AZLAN et al., 2020).

Devido a presença deste compostos oriundos da cana-de-açúcar, o açúcar mascavo oferece diversos benefícios à saúde contribuindo para o sistema imunológico com efeitos citoprotetores, antioxidantes e desintoxicantes, além de auxiliar na prevenção de hipertensão e diabetes (SÓLIS-FUENTES et al., 2019). Jaffé (2015), também relatou a presença de diferentes compostos bioativos no açúcar mascavo em distintos países e demonstrou que há uma grande variação no conteúdo dos componentes do açúcar mascavo, mesmo quando produzidos em escala regional.

Outro estudo que substituiu parcialmente o açúcar branco pelo açúcar mascavo na produção de geleia de kiwi e morango, demonstrou que uso do açúcar mascavo aumentou o conteúdo total de fenol e flavonoides, sendo que o teor de flavonoides foi compatível com o teor presente na cana-de-açúcar e açúcar mascavo. Além disso, a

atividade antioxidante da geleia de kiwi aumentou em três vezes, substituindo 75% do açúcar branco por açúcar mascavo (CERVERA-CHINER et al., 2021).

Cervera-Chiner et al. (2021), afirmam ainda que reformular produtos com ingredientes mais naturais podem melhorar a qualidade nutricional do alimento e a saúde dos consumidores. Sampaio et al. (2023) sugere que substituir os açúcares refinados por açúcares menos processados podem ser uma boa escolha para o consumo, por apresentarem efeitos benéficos à saúde humana devido à presença de minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante.

Apesar da importância deste tipo de açúcar, estudos apontam que o açúcar mascavo têm sido facilmente adulterado o que enfatiza a necessidade de padrões de identidade do produto, já que, normalmente o custo deste tipo de açúcar tende a ser mais elevado quando comparado ao açúcar cristal (EMBRAPA, 2023).

Embora o Brasil seja um dos maiores produtores mundiais de açúcar mascavo, respondendo por 4,0% da produção global de 11,35 milhões de toneladas em 2020, não há até o presente momento uma regulamentação específica quanto à produção e caracterização do açúcar mascavo no país. Assim sendo, os fabricantes estabelecem os seus próprios padrões de identidade e qualidade (BRASIL, 2018). Além disso, conforme descrito na CL 2015/19-CS da Comissão do Codex Alimentarius, (2019) não se alinha com as especificações de órgãos normatizadores internacionais como o USDA e a EAC (Comunidade da África Oriental).

2.2.2 Açúcar demerara

O açúcar demerara mantém uma camada de melaço residual, o que lhe confere uma cor amarelada. A classe de açúcar denominada cristal bruto, é o açúcar proveniente da fabricação pelas usinas através do processo de extração e clarificação do caldo da cana-de-açúcar, seguidos de evaporação, cristalização, centrifugação e secagem do produto final. Fazem parte da classe cristal bruto, os açúcares: demerara, VHP e VVHP (BRASIL, 2018). O açúcar do tipo demerara é definido como o açúcar, cuja polarização seja maior que 96°Z (noventa e seis graus *Zucker*) (BRASIL, 2018).

2.2.3 Açúcar cristal

A classe de açúcar denominada cristal branco, é o açúcar é obtido a partir da extração e clarificação do caldo da cana-de-açúcar com branqueamento, por evaporação, cristalização, centrifugação, secagem resfriamento e peneiramento do produto final. Este tipo de açúcar pode ser comercializado em duas formas: moída ou triturada (BRASIL, 2018).

Esta classe engloba os tipos de açúcar: cristal; refinado amorfo ou refinado; refinado granulado e açúcar de confeiteiro. O açúcar cristal e o refinado são os tipos mais conhecidos e utilizados rotineiramente pela população e em confeitarias, sendo que ambos possuem a característica única de proporcionar aos alimentos uma doçura satisfatória em bebidas e preparações culinárias (SEGUÍ et al., 2015; BRASIL, 2018).

2.2.4 Açúcar refinado

O açúcar refinado amorfo ou refinado pertence a classe cristal branco e é produzido através do processo de dissolução do açúcar, podendo este, ser branco ou bruto, purificação da calda, evaporação, concentração da calda, batimento, secagem, resfriamento e peneiramento do produto final. Devido às etapas de produção do açúcar refinado torná-lo um açúcar de alta pureza, seu valor nutricional é baixo e, portanto, fornece calorias vazias (BRASIL, 2018; LEE et al., 2018).

O açúcar refinado é o tipo de açúcar mais consumido em todo o mundo. No entanto, durante seu processamento a maior parte dos componentes benéficos da cana-de-açúcar são parcial ou totalmente perdidos no decorrer das etapas de purificação, originando um produto com alta pureza, mas carente em compostos bioativos e minerais (SAMPAIO et al., 2023).

Por esse motivo, os açúcares minimamente processados, como o açúcar mascavo, estão sendo mais procurados pelos consumidores, pois são considerados como um produto funcional, de alto valor nutricional e composição expressiva de minerais essenciais, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgânicos e compostos fenólicos (JAFFÉ, 2015).

Além de fornecer doçura às preparações e produtos culinários, o açúcar também atua em outras funções nos alimentos como na conservação de alimentos, reduzindo o crescimento microbiano; como função antioxidante que contribui para

reduzir a descoloração e deteriorização do produto; agregando cor a partir da caramelização, realçando o sabor e o aroma; textura devido a interação do açúcar com a água e fermentação, pois a combinação do açúcar com leveduras favorece a produção de pães, vinhos e cervejas (VACLAVIK, CHRISTIAN, 2014).

Os estudos que investigam a contaminação de açúcares por metais pesados e suas consequências à saúde humana são escassas. Devido ao processo para a obtenção do açúcar e sua alta pureza, o valor nutricional do açúcar branco é muito baixo e fornece um grande número de calorias vazias, além disso há o aumento da concentração de elementos tóxicos (VARZAKAS; CHRYSSANTHOPOULOS, 2012).

É natural que a qualidade dos açúcares não-refinados possam diferir entre os lotes devido à variação nos materiais de origem, uso de tecnologias de processamento muitas vezes não padronizadas pelas indústrias e tempo de uso dos equipamentos (GENEROSO et al., 2009; GUERRA; MUJICA, 2010). Sendo assim, o interesse na análise inorgânica dos açúcares é de relevância para a detecção de elementos tóxicos que possam estar presentes nesses produtos (RODUSHKIN et al., 2011).

2.3 Composição nutricional dos açúcares

Os açúcares são carboidratos, que por sua vez, são formados por hidratos de carbono e classificados conforme sua características químicas, podendo ser: monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos ou polissacarídeos (ZAITOUN, GHANEM, HARPHOUSH, 2018). Os monossacarídeos são carboidratos simples constituídos de apenas uma molécula, como: a glicose, frutose e galactose (BRUICE, 2014).

Os dissacarídeos possuem apenas dois monossacarídeos ligados entre si, como exemplo, podemos citar: a sacarose, lactose e a maltose. Quando há de três a dez monossacarídeos ligados entre si, temos os oligossacarídeos, exemplificados pela rafinose e estaquiose e acima de dez monossacarídeos, temos os polissacarídeos que são representados pelo amido, glicogênio e a celulose. (ZAITOUN, GHANEM, HARPHOUSH, 2018).

Dentro desta classificação dos carboidratos, os monossacarídeos podem ser denominados de carboidratos redutores, pois possuem a capacidade de reduzir sais de cobre, prata e bromo em soluções alcalinas devido a presença de grupos aldeídos ou cetonas livres (BRUICE, 2014). No entanto, os dissacarídeos, oligossacarídeos e

polissacarídeos não possuem grupos aldeídos ou cetonas livres e por isso não possuem a capacidade de reduzir sais, sendo denominados carboidratos não-redutores (BRUICE, 2014).

Os carboidratos redutores e não-redutores são expressos em glicose e sacarose, respectivamente. A glicose é um monossacarídeo, ou seja, um carboidrato simples que apresenta fórmula molecular C₆H₁₂O₆. Constituída por seis carbonos, sendo, portanto, um tipo de aldohexose. A glicose pode ser apresentada na forma de cadeia aberta ou acíclica e na forma cíclica ou em anel, é totalmente solúvel em água, o que lhe permite tornar-se uma solução neutra. No metabolismo celular, os carboidratos em geral são considerados como a principal fonte de energia do sistema nervoso central (EDWARDS et al., 2016).

A sacarose, também chamada de "açúcar de mesa", é um dissacarídeo composto por uma molécula de glicose e uma molécula de frutose, normalmente obtida pelo processo de refinamento, resultando em um produto final cristalino branco, e usado como padrão para medição de doçura (KENT, 2013). A frutose também é classificada como monossacarídeo na forma de hexose, podendo ser apresentada em cadeia cíclica ou acíclica e está presente na cana-de-açúcar e diversos tipos de frutas (BRUICE, 2014).

As Figuras 3A E 3B ilustram as estruturas de uma molécula de glicose e sacarose em cadeia aberta, respectivamente na forma de cadeia aberta.

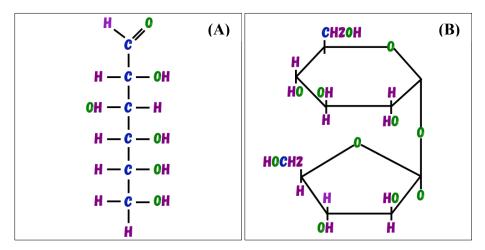


Figura 3 - **(A)** Molécula de glicose $-C_6H_{12}O_6$ em cadeia ciclíca e **(B)** Molécula de sacarose $-C_{12}H_{22}O_{11}$ em cadeia acíclica. Fonte: O Autor.

Além da estrutura molecular, os açúcares apresentam em sua composição macroelementos (Ca, K, P, Mg, S), microelementos (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Sr, V, Zn) e elementos tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Pb).

Denomina-se metais tóxicos o grupo de elementos que, ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5g/cm³ (POVINELLI, 1987, EGREJA FILHO, 1993; POURRET, 2019). No entanto, ressalta-se que independentemente do elemento, se a quantidade máxima de consumo ultrapassar o limite máximo recomendado, podem tornar-se tóxico e causar danos à saúde humana (JYOTHI, 2020).

Portanto, para a saúde pública é de suma importância assegurar à população o consumo adequado de nutrientes existentes em uma dieta balanceada, do mesmo modo que a existência de elementos tóxicos acima dos níveis permitidos devem ser evitada, pois com exceção da exposição ambiental diária aos elementos tóxicos, a maior parte da ingestão de metais pesados ocorre através a alimentação (FAVARO et al., 2000).

2.4 Impactos do consumo excessivo de açúcar

Uma alimentação saudável é aquela que atende a todas as exigências do corpo, ou seja, não está abaixo, nem acima das necessidades do nosso organismo. Além de ser fonte de nutrientes, a alimentação envolve diferentes aspectos, tais como: valores culturais, sociais, afetivos e sensoriais. Para isso, uma alimentação saudável deve seguir 6 pilares fundamentais, ou seja, ela deve ser variada, equilibrada, suficiente, acessível, colorida e segura (BRASIL, 2014). Contudo, todos esses pilares devem estar associados aos alimentos *in natura* ou minimamente processados (BRASIL, 2014).

O comportamento alimentar dos indivíduos corresponde não só aos hábitos alimentares, mas, também, às práticas de seleção, aquisição, conservação e preparo relativos à alimentação. Tem suas bases na infância, transmitidas pela família e sustentadas pelas tradições, crenças e tabus que passam de geração para geração (BRASIL, 2014). Além disso, a preferência do ser humano pelo sabor doce têm início no nascimento e persiste por toda a vida (TAN et al., 2020).

O açúcar é utilizado pelo organismo humano como fonte de energia, porém seu consumo excessivo pode ter relação direta com a obesidade, diabetes mellitus tipo II

(JOHNSON et al., 2017), hipertensão arterial, resistência a insulina, síndrome metabólica (CALCATERRA et al., 2023), alterações cognitivas (GILLESPIE et al., 2023), cárie (ALHABDAN et al., 2018), doenças cardiovasculares (KRITTANAWONG et al., 2023), esteatose hepática (HUNEAULT et al., 2023), entre outras associadas ao consumo excessivo dos carboidratos.

Sabe-se que as causas do sobrepeso e obesidade são multifatoriais, no entanto, o consumo de altas quantidades de energia provenientes de açúcares e produtos ultraprocessados, juntamente com a inatividade física, são fatores que contribuem significativamente para o seu desenvolvimento (ENDY et al., 2024). Estudos apontam que o consumo de açúcar em excesso possa acarretar "vício", o que resulta em um consumo compulsivo de alimentos com alto valor energético (GREENBERG, PEDRO, 2021).

Estudo realizado por Debras et al. (2020), indica que uma alimentação rica em açúcares podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de câncer, principalmente de mama e próstata quando associada à obesidade. Além disso, o consumo em excesso de açúcares interfere na microbiota intestinal, pois aumentam a permeabilidade do intestino, ocasionando disbiose e consequentemente deixando o indíviduo mais propenso a infecções e outras doenças relacionadas ao trato gastrointestinal (ARNONE et al., 2022)

Nos EUA, a ingestão diária média de açúcares adicionados aos alimentos em 2017-2018 foi de 17 colheres de chá por dia para crianças e adultos. Em particular, os homens americanos consomem 20% mais colheres de chá de açúcar adicionado do que as mulheres (BOWMAN, 2020).

Estima-se que no Brasil, o consumo de açúcar seja de 50% acima do recomendado pela OMS, isso significa que, cada brasileiro, consome cerca de 80 g de açúcar/dia, sendo que o limite máximo recomendado para um adulto é de 25 a 50 g. Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2017-2018), 85,4% da população adiciona açúcar a alimentos e bebidas (BRASIL, 2018). A OMS estabelece que o consumo de açúcares não ultrapasse 10% o valor energético total diário (CODELLA, TERRUZZI, LUZI, 2017).

Segundo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, na década de 1930, o consumo médio anual de açúcar era de 15 quilos por habitante. Já nos anos 1940, esse número aumentou para 22. Na década de 1950, o consumo passou a ser de 30 quilos por pessoa, passando para 32 nos anos 1960. Em 1970, a média era de

40 quilos e, em 1990, esse índice estabilizou-se em 50 quilos por habitante (BRASIL, 2007).

Atualmente, o açúcar continua presente na dieta humana em quantidades significativas, com consumo anual de aproximadamente 25 a 60 kg de açúcar para os adultos, colocando o Brasil na quarta colocação como o maior consumidor de açúcar no mundo (RODUSHKIN et al., 2011). Esses dados demonstram a ampla difusão deste produto no país e no mundo e a necessidade de um rígido controle de qualidade e segurança para o consumidor.

2.5 Segurança alimentar e nutricional

No Brasil, o Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional define a Segurança Alimentar e Nutricional como a garantia a todo cidadão ao direito de acesso regular e permanente a alimentos com qualidade biológica, sanitária, nutricional e tecnológica (SIMELANE et al., 2020). Além disso, a Lei nº 11.346 de 15 de setembro de 2006 dispõe sobre a criação do Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil com o intuito de assegurar o direito humano à uma alimentação adequada.

A OMS/OPAS ressalta que a segurança alimentar é uma responsabilidade de todos e compartilhada entre governos, produtores e consumidores, tendo como objetivo garantir que os alimentos que consumimos sejam seguros e saudáveis com a redução da carga de doenças transmitidas por alimentos e pela contaminação de agentes químicos em todo o mundo (OMS, 2019).

Neste contexto, aos governos e produtores é dada a responsabilidade de monitorar constantemente os pocessos que envolvem a cadeia alimentar. Para os consumidores, é imprescindível que nutricionistas, juntamente com todos os profissionais de saúde, orientem a população quanto a aquisição do produto, armazenamento, manipulação e modo de preparo para que os riscos de insegurança alimentar, no que refere à contaminações e consumo de alimentos de baixa qualidade nutricional sejam minimizados (FAO, 2020).

Com isso, a análise de diferentes tipos de açúcares produzidos em diferentes locais do Brasil e do mundo, tem importância para a saúde pública no que se refere ao controle de qualidade da matéria-prima até o consumo pela população. Nota-se também a deficiência na padronização dos rótulos dos produtos, neste caso, dos

açúcares, que não possuem todas as informações ou nenhuma informação da procedência do produto referentes ao local de produção, empacotamento e distribuição.

A rotulagem de um produto proporciona ao consumidor funções que irão ter impacto nas escolhas alimentares e identificação da procedência do produto adquirido (CECCHINI, GUERRA, 2015). Neste aspecto, vale salientar que também é papel dos profissionais de saúde orientar a população em geral na compreensão e identificação dos rótulos dos produtos.

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, é obrigatório que todo produto alimentício contenha a informação de origem. Este dado é importante para que o consumidor tenha ciência da procedência do que ele consome, como quem é o fabricante e onde foi desenvolvido. No entanto, observa-se que em algumas embalagens não há esta informação ou quando há, não fica clara a informação de que o produto foi produzido, distribuído e embalado no mesmo local. Isso mostra uma relevante deficência na padronização e fiscalização dos produtos rotineiramente consumidos pela população.

2.6 Técnicas instrumentais utilizadas na caracterização dos diferentes tipos de açúcares

2.6.1 Umidade por secagem em estufa

O método de secagem em estufa é o mais comumente utilizado e aceito para a determinação de umidade em alimentos e baseia-se na remoção da água do alimento ou produto por aquecimento. Além da água, se houverem substâncias voláteis no alimento, tambem será perdido nesse processo. O procedimento é lento e pode levar de 3 a 6 horas em uma temperatura de 105° C a depender do tipo de alimento, que poderá ter em seu conteúdo, água em maior ou menor quantidade (LUTZ, 1985; AOAC, 2012; BRASIL, 2018).

A precisão deste método depende de fatores como, a temperatura de secagem, o tamanho das partículas de cada amostra, a quantidade e posição das amostras e da formação de crosta na superfície da amostra. O resíduo obtido após o aquecimento é chamado de resíduo seco. O teor de umidade da amostra é determinado por fórmula

específica, levando em consideração o peso total da amostra, o peso do resíduo seco após os ciclos de secagem e o peso inicial da amostra (LUTZ, 1985; AOAC, 2012).

2.6.2 Cinzas por incineração

Cinzas ou resíduo por incineração é um método que ocorre a partir do aquecimento de um alimento ou produto em uma temperatura que pode variar de 550 a 570° C. Por vezes, o resíduo final pode não representar toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse processo de aquecimento. Além disso, a determinação de cinzas, pode ser combinada com a determinação de umidade, utilizando-se o resíduo seco obtido na secagem em estufa (LUTZ, 1985; AOAC, 1996).

A precisão deste método depende de fatores como o tipo, a composição e a solubilidade da amostra. O teor de cinzas é determinado por fórmula específica, levando em consideração o peso total da amostra, o peso das cinzas resultantes do aquecimento e o peso inicial da amostra (LUTZ, 1985; AOAC, 1996).

2.6.3 Carboidratos redutores em glicose

Os compostos redutores presentes na cana-de-açúcar e em seus produtos derivados são constituídos principalmente por glicose e sacarose (BRASIL, 2018). A metodologia oficial no Brasil utilizada para a determinação de açúcares, é o método titulométrico de oxirredução de *Eynon-Lane*. Este método é capaz de detectar somente os monossacarídeos presentes na amostra e nos casos em que há a combinação de mais moléculas, realiza-se uma prévia hidrólise com ácidos ou enzinas (LUTZ, 1985; AOAC, 1995).

A determinação de carboidratos redutores ocorre ao adicionar o titulante na solução de *Fehling*. Com isso, os monossacarídeos reduzem o íon Cobre II (Cu) de coloração azulada em meio tartárico alcalino, para óxido de cobre I (Cu₂O), com coloração avermelhada, o qual precipita no meio. A fervura da solução de *Fehling* fazse necessária para acelerar a reação e também para não ocorrer a oxidação indesejada do Cu I (Cu₂O) para Cu II. O processo de titulação deve ser realizado em menos de três minutos, devido a decomposição dos açúcares, que estão expostos

aos efeitos prolongados do calor (PEREIRA, 1933; LUTZ, 1985; AOAC, 1995; BRASIL, 2018).

Este método mostra-se ser eficaz na determinação quantitativa de glicose nos diferentes tipos de açúcares analisados. Segundo Takeushi et al. (2021) o método titulométrico analítico de *Eynon-Lane* foi desenvolvido a cerca de 300 anos e ainda possui relevância significativa na determinação de um componente, mesmo após a criação de novos métodos com o mesmo intuito.

A fórmula para obter o percentual de açúcares redutores em glicose nas amostras leva em consideração uma constante de percentual; o volume (em ml) em que a amostra foi diluída; o fator de *Fehling*; o peso da amostra e o volume gasto na titulação. Seu resultado é expresso em porcentagem (LUTZ, 1985; AOAC, 1995).

2.6.4 Carboidratos não-redutores em sacarose

Para que os carboidratos não-redutores sejam quantificados pelo método de *Eynon-Lane* é necessário realizar uma hidrólise prévia, também chamada de inversão, que induz a quebra de ligações glicosídicas, alterando uma molécula complexa em moléculas menores, ou seja, um dissacarídeo pode ser dissociado em monossacarídeo, utilizando como catalisadores: água, ácido ou enzima na presença de calor. No presente estudo, foi realizado a hidrólise da sacarose, um dissacarídeo que em sua estrutura possui, dois monossacarídeos: glicose e frutose. (LUTZ, 1985; AOAC, 1995; BRUICE, 2014).

Esta dissociação é observada após os açúcares sofrerem oxidação e reagirem aos íons cúpricos da solução de *Fehling*, o cobre II é reduzido a cobre I formando uma coloração avermelhada. A fórmula para obter o percentual de carboidratos não-redutores em sacarose nas amostras leva em consideração o resultado obtido na determinação de carboidratos redutores; uma constante de percentual; o volume (em ml) em que a amostra foi diluída; o fator de *Fehling*; o peso da amostra e o volume gasto na titulação. Seu resultado é expresso em porcentagem (LUTZ, 1985; AOAC, 1995).

2.6.5 Espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)

A literatura demonstra que o ICP OES têm um papel relevante na determinação de macroelementos, microelementos e elementos tóxicos em diferentes estudos, como no solo (SHEHU et al., 2023), água (GUPTA et al., 2023), plantas (SANTOS et al., 2022), cosméticos (SANTANA et al., 2022) e alimentos (LEITE et al., 2022; ALJUHAIMI et al., 2024; SALAMANCA et al., 2024). Este método é utilizado para quantificar elementos químicos e consiste na absorção atômica com chama, o que permite ao equipamento detectar aproximadamente 70 elementos, a depender da matriz de interesse (TAVARES, 2013).

Os minerais, assim como as vitaminas, exercem funções que permitem ao organismo humano a realização de atividades metabólicas indispenáveis ao funcionamento do corpo. Os elementos podem ser facilmente encontrados no solo devido a contaminação por mineração, queima de combustíveis e poluição atmosférica que consequentemente serão absorvidos pelas plantas serão consumidas pelos animais e humanos (CAVALCANTE, 2016).

No presente estudo, utilizou-se diferentes tipos de açúcares para que pudessemos analisar suas características em relação à sua composição elementar, já que na produção da cana-de-açúcar há uma extensa utilização de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos que possuem quantidades consideráveis de metais tóxicos (CAVALCANTE, 2016).

Para a realização do método é necessário uma sequência de etapas minuciosas até o resultado. A primeira é o processo de digestão da amostra de estudo consiste em decompor a matéria orgânica utilizando ácidos concentrados, os mais utilizados são o nítrico e sulfúrico. Esta primeira etapa é considerada como sendo a mais crítica, quando tratamos de uma digestão em bloco por sistema aberto, pois pode haver o risco de contaminação da amostra e a perda de analitos devido a volatilidade dos elementos (MELO, SILVA, 2008).

A segunda etapa consiste na elaboração de uma curva padrão para a realização da leitura no equipamento. O terceiro momento refere-se ao uso do equipamento em si, que envolvem processos de padronização, escolha dos elementos e leitura das amostras que são analisadas em triplicata pelo equipamento.

A quarta etapa se dá com a tabulação dos dados e respectivos cálculos para que tenhamos finalmente a quantificação dos elementos em mg/kg.

Cada elemento possui uma função na saúde humana, sendo assim, entender o papel de cada uma é imprescindível, pois a deficiência ou o excesso de minerais podem acarretar diversas alterações metabólicas, clínicas, morfológicas e imunológicas. Os mineirais são classificados em dois grupos: macro (Ca, K, P, Mg, S), microelementos (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Sr, V, Zn) e elementos tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Pb).

Os elementos considerados não essenciais ao organismo, que neste contexto estará denominado como metais tóxicos, pois podem estar presentes nos alimentos e quando ingeridos em excesso ou por longo prazo podem acarretar diversos prejuízos à saúde humana como alterações metabólicas, gênicas, cardiovasculares, respiratórias, renais, reprodutivas e neurológicas (HAMDY, 2018; GARZA-LOMBO, 2018).

2.6.6 Espectroscopia ultravioleta-visível (UV-VIS)

As técnicas espectrofotométricas são baseadas na absorção de energia eletromagnética através de moléculas que irão emitir sinais de acordo com a sua concentração e estrutura. Conforme o intervalo de frequência da energia eletromagnética adotada, a espectrofotometria de absorção pode ser dividida em três maneiras: ultravioleta, visível e infravermelho, que podem ser utilizadas como técnicas na identificação e quantificação de diferentes substâncias (BRASIL, 2010).

Devido às vantagens das técnicas espectrométricas, tais como o menor custo e a simplicidade operacional, documentos oficiais como as Farmacopeias Francesa, Europeia e Brasileira ainda adotam a espectrometria UV-Visível como método oficial para a análise quantitativa de vários marcadores em materiais vegetais, entre eles os flavonoides (BRASIL, 2010). Segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008) os métodos espectrofotométricos na região do UV-VIS não devem ser considerados obsoletos e ultrapassados.

Refere aos espectrofotômetros utilizados na região do ultravioleta e visível, estes são compostos essencialmente por: fonte de radiação; seletor de comprimento de onda; celas de absorção para inserção de soluções de amostras no feixe de luz

monocromática; detector de radiação e uma unidade de leitura e de processamento de sinal (BRASIL, 2010).

2.6.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectrofotômetros no infravermelho médio, são caracterizados por obterem espectros na faixa de 4000 a 400 cm⁻¹ e utilizam o interferômetro ao invés do monocromador e a radiação policromática incide sob a amostra e os espectros são obtidos no domínio da frequência com auxílio da transformada de Fourier (BRASIL, 2010).

A espectroscopia no infravermelho médio, fornece evidências da presença de grupos funcionais presentes na estrutura de uma substância, podendo ser utilizada na identificação de um composto ou para investigar sua composição química. Os átomos que formam as moléculas possuem frequências específicas de vibração, que variam de acordo com a estrutura, composição e o modo de vibração da amostra. A propriedade física medida é a capacidade da substância para absorver, transmitir, ou refletir radiação infravermelha (ANJOS et al., 2015)

Diante de todas as evidências torna-se imprescindível a realização de estudos sobre a transferência de contaminantes tóxicos através da cadeia alimentar podem nos oferecer informações importantes para a construção e desenvolvimento de programas de vigilância com o intuito de garantir aos consumidores, a segurança do abastecimento alimentar e minimizar a exposição humana aos agentes tóxicos (BAYAT *et al.*, 1995; DOLAN; CAPAR, 2002).

Outro motivo para o incentivo à vigilância desses produtos é que existem correlações entre o conteúdo de oligoelementos nos solos e nos açúcares brutos, tornando a análise dos açúcares um protocolo essencial em estudos ambientais. Além disso, as análises de quantificação dos elementos químicos são importantes para as indústrias que produzem e realizam o refinamento dos açúcares para que atentem-se às variações nos teores dos oligoelementos nos produtos formados durante as repetidas etapas do processamento do açúcar (RODUSHKIN et al., 2011).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Caracterizar os aspectos centesimais, composição elementar e técnicas espectroscópicas dos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado produzidos nas cinco regiões brasileiras.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar o teor de umidade, cinzas, carboidratos redutores e não-redutores dos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado.
- Quantificar os macroelementos (Ca, K, P, Mg, S), os microelementos (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Sr, V, Zn) e os elementos tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Pb) nos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado.
- Medir a absorbância dos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado por espectrofotometria ultravioleta-visível (UV-VIS).
- Avaliar a composição química dos açúcares mascavo, demerara, cristal e refinado por espectrofotometria no Infravermelho médio (FTIR).

4. METODOLOGIA

4.1 Aquisição das amostras

Para este estudo, foram adquiridos os seguintes tipos de açúcares: açúcar mascavo, açúcar demerara, açúcar cristal e açúcar refinado. A aquisição das amostras de açúcares foram realizadas no ano de 2021, em supermercados locais de cada região brasileira: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. No total foram adquiridos 24 pacotes de açúcares de 1 kg. No momento da aquisição das amostras, as mesmas encontravam-se em temperatura ambiente, com as embalagens seladas, dentro de seus prazos de validade e foram armazenadas em local limpo, seco e arejado até o momento das análises.

4.2 Identificação das amostras

Os diferentes tipos de açúcares adquiridos foram codificados de acordo com as abreviaturas do tipo de açúcar analisado, seguido das regiões de origem. Os tipos de açúcares, as regiões brasileiras e os respectivos códigos utilizados para a identificação das amostras estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. Tipos de açúcares, regiões e respectivos códigos.

Regiões	Tipos de Açúcares						
	Mascavo	Demerara	Cristal	Refinado			
Sul	AM-S	AD-S	AC-S	AR-S			
Sudeste	AM-SE	AD-SE	AC-SE	AR-SE			
Centro-Oeste	AM-CO	AD-CO	AC-CO	AR-CO			
Norte	AM-N	AD-N	AC-N	AR-N			
Nordeste	AM-NE	AD-NE	AC-NE	AR-NE			

Para que uma amostra de açúcar fosse adquirida levou-se em consideração os diferentes locais de produção, distribuição e empacotamento descritos na embalagem do produto conforme as respectivas regiões de interesse. Na Tabela 5 estão apresentados os tipos de açúcares e locais de produção conforme cada região brasileira.

T	_	, ,		. ~	•		~ ' '' '
l ahala h	LINOS de a	CHCar A IOCS	NE AB N	radiicaa (~ntorma	cada redi	ão brasileira.
i abcia J.	TIPUS UC A	çucai c ioce	iis uc p	nouução (caua i cgi	ao brasilcira.

Tipos		Locais	de Produção		
de açúcar	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste
АМ	Jaboti-PR [*] Santo Antônio da Patrulha- RS [#]	Maria da Fé-MG [*] Linhares- ES ^{***}	Campo Grande- MS [#]	Castanhal- PA***	Feira Nova- PE##
AD	Usina Alto Alegre Colorado-PR**	Barra Bonita-SP*	Nova Olímpia- MT**	Ulianópolis- PA** Castanhal- PA***	Lagoa de Itaenga-PE [^]
AC	Usina Alto Alegre Colorado-PR**	Frutal- MG***	Nova Olímpia- MT ^{**}	Ulianópolis- PA** Ananindeua- PA ^{###}	São Miguel dos Campos- AL [^] Timbaúba- PE [^]
AR	Usina Alto Alegre Colorado-PR**	Barra Bonita-SP*	Caarapó-MS***	Santa Isabel- PA [#]	Camutanga -PE [^]

^{*}Produzido; **Produzido e embalado; ***Produzido e distribuído; #Embalado; ##Embalado e distribuído; ##Distribuído; ^Não apresentam na embalagem o local de produção, empacotamento ou distribuição.

Na Figura 4 está ilustrado o mapa do Brasil destacando as respectivas Regiões de estudo.



Figura 4 - Mapa do Brasil ilustrando as respectivas Regiões de estudo: **(A)** Região Sul, **(B)** Região Sudeste, **(C)** Região Centro-Oeste, **(D)** Região Norte e **(E)** Região Nordeste.

Fonte: O Autor.

4.3. Composição Centesimal

4.3.1 Determinação do teor de umidade

O procedimento constituiu-se em pesar 5 g das amostras em cápsula de porcelana, tarada 24 horas antes do procedimento, em estufa a 105° C. As amostras foram aquecidas por pelo menos 3 horas. Após esse tempo, as cápsulas contendo as amostras foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e em seguida pesadas em balança analítica. Este processo de aquecimento e resfriamento das amostras foi repetido até a obtenção de um peso constante. O termo "peso constante" refere-se aos valores obtidos de duas ou mais pesagens sucessivas da amostra e que diferem-se em no máximo 0,0005 g/g de amostra (LUTZ, 1985; AOAC, 2012).

O cálculo do percentual de umidade foi realizado conforme a equação 1, onde: U = umidade; P = peso total (cápsula + amostra); A = amostra seca (cápsula + amostra seca); 100 = constante de percentual; Pa = peso da amostra. O método foi realizado em triplicata para cada amostra.

Eq. (1)

$$U(\%) = \frac{P - A}{Pa} \times 100$$

4.3.2 Determinação do teor de cinzas

O procedimento consistiu-se em pesar 5 g das amostras em cadinho tarado, 24 horas antes do procedimento, em mufla a 550° C. Em seguida, as amostras foram incineradas no bico de *Bunsen* e tranferidas diretamente para mufla a 550° C onde permaneceram cerca de 8 horas até a obtenção das cinzas. Posteriomente, os cadinhos com as cinzas foram resfriados em dessecador até a temperatura ambiente e pesados em balaça analítica. As cinzas ficaram brancas ou ligeiramente acinzentadas (LUTZ, 1985; AOAC, 2012).

O cálculo para o percentual de cinzas na amostra se dá pela equação 2, onde: C = cinzas; Pf = peso final (cadinho + cinzas); Pi = peso inicial (cadinho vazio); 100 = constante de percentual; Pa = peso da amostra. A execução do método foi realizada em triplicata para cada amostra.

$$C(\%) = \frac{Pf - Pi}{Pa} \times 100$$

4.3.3 Determinação de carboidratos redutores em glicose

O método foi realizado a partir do método titulométrico de oxirredução de *Eynon-Lane*, descrito pela AOAC (1995) que constituiu-se na diluição de 5 g de amostra em 100 mL de água destilada e para a titulação, foi preparada uma mistura de 5 mL de solução de *Fehling* A e B com 25 mL de água destilada em um *Erlenmeyer* de 500 mL. Após a ebulição da solução de *Fehling*, titulou-se a amostra em gotas até a mudança da cor azul para vermelho-tijolo e o volume gasto na titulação foi anotado para aplicação na equação. Dessa forma, o percentual de carboidratos redutores em glicose foi obtido pela equação 3, onde: CR = carboidratos redutores; 100 = constante de percentual; D = volume (em ml) em que a amostra foi diluída; F = fator de *Fehling*; P = peso da amostra; T = volume gasto na titulação. As amostras para a determinação de carboidratos redutores em glicose foram analisadas em triplicata.

Eq. (3)

$$CR(\%) = \frac{100 \text{ x x F}}{P \text{ X T}}$$

4.3.4 Determinação de carboidratos não-redutores em sacarose

A determinação de carboidratos não-redutores em sacarose foi obtida pelo método titulométrico de oxirredução de *Eynon-Lane*, conforme AOAC (1995) que constituiu-se na transferência de 20 mL da diluição da amostra obtida nos carboidratos redutores para um balão volumétrico, acrescido de 3 mL de HCl e posto em banhomaria a 100 ± 2° C por 20 min. Após o resfriamento neutralizou-se a solução com Na₂CO₃, e o balão volumétrico foi avolumado com água destilada, seguido de homogeneização. Para a titulação, foi preparada uma mistura de 5 mL de solução de *Fehling* A e B e 25 mL de água destilada. Após a ebulição da solução de *Fehling*, titulou-se a amostra em gotas até a mudança da cor azul para vermelho-tijolo.

O percentual de carboidratos não-redutores em sacarose foi obtido pela equação 4, onde: CNR = carboidratos não-redutores; 100 = constante de percentual; D = volume (em ml) em que a amostra foi diluída; F = fator de *Fehling*; P = peso da

amostra; T = volume gasto na titulação; 0,95 = fator de correção para sacarose. Todas as amostras foram analisadas em triplicata.

Eq. (4)

$$CNR(\%) = \frac{[\ 100 \times D \times F]}{P \times T} \times 0.95$$

4.4 Composição elementar

4.4.1 Quantificação elementar: digestão das amostras

Uma quantidade de 0,25 g de cada amostra de açúcar foi digerida com 2,0 mL de ácido nítrico (HNO₃) (65%, Merck), 2,0 mL de água de alta pureza (18,2 MΩ.cm, Milli-Q, Millipore, Bedford, MA, EUA) e 1,0 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (35%, Merck) em sistema de digestão aberta por bloco digestor (Tecnal®), de acordo com o programa de digestão apresentado na Tabela 6. As soluções resultantes foram resfriadas e avolumadas com água ultrapura para 10 mL nas amostras de AC e AR; 30 mL para as amostras AD e 50 mL para as amostras de AM. Tais diferenças no volume, se devem ao fato de cada tipo de açúcar obter diferentes concentrações, portanto, no momento da leitura as amostras podem ultrapassar o limite de quantificação, por isso, a necessidade de maior diluição. Após a etapa de digestão, as amostras foram analisadas por ICP OES.

Tabela 6. Dados do Programa operacional para o sistema de digestão.

Etapa	Temperatura (° C)	Rampa (min)	Tempo (min)
1	70	10	30
2	90	10	30
3	120	10	30
4	150	10	30

4.4.2 Quantificação elementar por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)

Os teores de macroelementos (Ca, K, P, Mg, S), microelementos (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Sr, V, Zn) e elementos tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Pb) nos diferentes tipos de açúcares foram determinados por ICP OES (iCAP 6300 Duo, Thermo Fisher

Scientific, Bremen, Alemanha). Foram elaboradas duas curvas multielementares com solução padrão (100 mg L⁻¹) (Specsol, São Paulo, Brasil), água ultrapura e HNO₃. A curva multielementar 1 foi composta pelos elementos: Cd, Cr, Si, Sr, S, Pb e As e a curva multielementar 2 composta por: Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, Se, V e Zn. Em ambas as curvas foram utilizadas as concentrações de 0,05; 0,1; 0,25; 0,5 e 1,0 ppm. A visão axial foi utilizada para a determinação das amostras de AD, AC e AR e a visão radial foi utilizada nas amostras de AM. Argônio de alta pureza 99,996% (White-Martins-Praxair) foi utilizado para purgar a geração de plasma óptico. Triplicatas foram realizadas para medir o sinal analítico. Todas as vidrarias utilizadas para o experimento foram embebidas em HNO₃ (10% vv⁻¹) durante 24 horas para descontaminação.

Na Tabela 7 estão descritas as condições de operação do ICP OES.

Tabela 7. Condições operacionais para análise de ICP OES.

Parâmetros	Configuração
Potência RF (W)	1,250
Fluxo de amostra (L min ⁻¹)	0,45
Réplicas	3
Taxa de fluxo de plasma (L min ⁻¹)	12
Tempo de integração (s)	15
Tempo de estabilização (s)	20
Pressão de nebulização (psi)	20
Modo de Visão	Axial/Radial
Analitos/Comprimento de onda	Al (167,079 nm); As (189,042 nm);
	Ba (455,403 nm); Ca (393,366 nm);
	Cd (228,802 nm); Co (228,616 nm);
	Cr (283,563 nm); Cu (324,754 nm);
	Fe (259,940 nm); K (766,490 nm);
	Mg (279,553 nm); Mn (257,610 nm)
	P (177,495 nm); Pb (220,353 nm);
	S (180,731 nm); Se (196,090 nm);
	Si (251,611 nm), Sr (407,771 nm);
	V (309,311 nm); Zn (213,856 nm)

Para validar e avaliar a precisão das técnicas analíticas usadas pelo ICP OES, um teste de adição/recuperação para os elementos analisados foi realizado em uma amostra de açúcar adicionando 0,5 mg/L de cada analito. O método teve um intervalo de recuperação de 88-115%, que está entre 80-120% do limite proposto pela União de Química Pura e Aplicada (IUPAC) e Associação de Químicos Analíticos Oficiais

(AOAC) (AOAC, 2002; THOMPSON; ELLISON; WOOD, 2002). Sendo elas: AI = 90%, As = 88%, Ba = 94%, Ca = 97%, Cd = 104%, Co = 98%, Cr = 115%, Cu = 99%, Fe = 102%, K = 113%, Mg = 97%, Mn = 92%, P = 94%, Pb = 110%, S = 101%, Se = 95%, Si = 111%, Sr = 99%, V = 112% e Zn = 103%.

A Tabela 8 mostra as informações analíticas do método ICP OES.

Tabela 8. Informações analíticas do método ICP OES: elementos, equações de calibração, limite de detecção (LOD), limite de quantificação (LOQ) e coeficiente de correlação (R²).

Elementos	Equação de calibração	LOD (mg L ⁻¹)	LOQ (mg L ⁻¹)	R²
Al	y = 118 x - 2,442	0,005	0,015	0,9979
As	y = 841,27 x - 0,8884	0,006	0,019	0,9988
Ba	y = 766399 x + 4136,6	0,0003	0,001	0,9998
Ca	y = 2E+06 x - 11649	0,053	0,177	0,9984
Cd	y = 22956 x - 6,9364	0,001	0,002	0,9994
Co	y = 15263 x + 65,312	0,001	0,003	0,9999
Cr	y = 27043 x + 60,759	0,001	0,004	0,9994
Cu	y = 24168 x + 28,512	0,004	0,014	0,9998
Fe	y = 21857 x + 109,35	0,001	0,004	0,9998
K	y = 78590 x + 133,19	0,024	0,081	0,9998
Mg	y = 945609 x + 4654	0,001	0,003	0,9997
Mn	y = 127575 x + 451,31	0,0001	0,0004	0,9998
Р	y = 225,27 x + 1,1983	0,012	0,039	0,9993
Pb	y = 2817,4 x - 7,6235	0,002	0,006	0,9992
S	y = 440.05 x - 6,0567	0,009	0,029	0,9983
Se	y = 849,51 x + 7,6241	0,006	0,021	0,9998
Si	y = 6425.7 x - 3,5217	0,004	0,013	0,9994
Sr	y = 2E + 06 x + 7064,9	0,0001	0,0003	0,9991
V	y = 64856 x + 184,29	0,002	0,006	0,9998
Zn	y = 22345 x + 15,897	0,002	0,008	0,9999

Os limites de detecção (LODs) calculados de acordo com a IUPAC como 3 vezes o desvio padrão do sinal em branco (SB) dividido pela inclinação da curva de calibração (m), conforme a equação abaixo:

Eq. (5)

$$LOD = \frac{3 \times SB}{m}$$

Os limites de quantificação (LOQs) foram calculados com base na equação de Long e Winefordner, (1983), como 10 vezes o desvio padrão do sinal em branco (SB) dividido pela inclinação da curva de calibração (m), conforme a seguinte equação:

$$LOQ = \frac{10 \times SB}{m}$$

O coeficiente de correlação (R²) obtido a partir das curvas de calibração atingiu valores de 0,9979 a 0,9999 para os analitos.

4.5 Técnicas espectroscópicas

4.5.1 Análise por espectrometria ultravioleta visível (UV-VIS)

Para a avaliação das medidas de absorbância UV-visível das amostras: AM, AD, AC e AR foi utilizado um Espectrofotômetro Multiskan Sky Microplate (Thermo Scientific, EUA). As amostras foram diluídas em água ultrapura a uma concentração de 5%. Neste experimento, as medições de sinais fotométricos (espectros de absorção) variaram de 200 a 800 nm. Uma análise em branco também foi realizada usando o método acima. Todas as amostras de açúcares e branco foram analisadas em triplicatas. Justifica-se o uso da água como solvente devido a valorização por metologias em Química Analítica Verde, que possuem estratégias com o intuito de minimizar o uso de substâncias tóxicas utilizando com técnicas sustentáveis e menores custos (JORDAN et al., 2022).

4.5.2 Análise por espectrometria no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Para avaliar a composição química dos diferentes tipos de açúcares, foi realizada a espectroscopia na região do infravermelho médio (MIV), utilizando a pastilha de brometo de potássio (KBr), no espectrofotômetro Thermo Scientific modelo Nicolet IS5®. Foram obtidos espectros na faixa de 4000–400 cm⁻¹ com resolução de 4 cm⁻¹, interpretados e comparados com dados da literatura.

4.6 Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata e os dados foram expressos como média ± desvio padrão. Os dados de umidade, cinzas e carboidratos foram analisados por ANOVA unidirecional com teste *post hoc* de Tukey. Os dados de macro e microelementos foram analisados por ANOVA bidirecional utilizando o *GraphPad Prism 10 software version 8.0 for Windows (GraphPad Software, San Diego, CA, USA)*. As fontes de variação consideradas foram as regiões do país onde o açúcar foi produzido e os tipos de açúcar analisados. Os dados espectrométricos UV-VIS e Infravermelho médio foram comparados com a literatura. A significância das diferenças entre as médias para o elemento traço individual foi considerada em p < 0,05.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Aspectos Centesimais

5.1.1 Dados da determinação de umidade

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados da determinação de umidade dos açúcares: AM, AD, AC e AR, produzidos nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Tabela 9. Percentual de umidade em amostras de diferentes tipos de açúcares produzidos no Brasil (média ± desvio padrão).

Pogiãos	Umidade (%)							
Regiões	AM	AD	AC	AR				
Sul	1,68 ± 0,09 a	0,27 ± 0,01 a	0,04 ± 0,006 a	0,18 ± 0,007 b				
Sudeste	$2,67 \pm 0,18$ ^c	0,15 ± 0,03 ^a	0.09 ± 0.007 a	$0,30 \pm 0,02$ °				
Centro-Oeste	1,93 ± 0,04 ^a	0,18 ± 0,09 a	0,10 ± 0,02 a	0,06 ± 0,008 a				
Norte	2,27 ± 0,11 b	0,21 ± 0,06 a	0,04 ± 0,04 ^a	0,11 ± 0,05 ^a				
Nordeste	$2,45 \pm 0,13$ b,c	0,37 ± 0,03 a	0,07 ± 0,04 a	0,09 ± 0,003 a				
Brasil (2018)	*	1,20	0,05	0.10				

Nota: Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05) por ANOVA unidirecional com teste *post hoc* de Tukey. * Valor não determinado pela Instrução Normativa (2018).

No Gráfico 1 estão demonstrados os percentuais de umidade dos diferentes tipos de açúcares e suas respectivas Regiões.

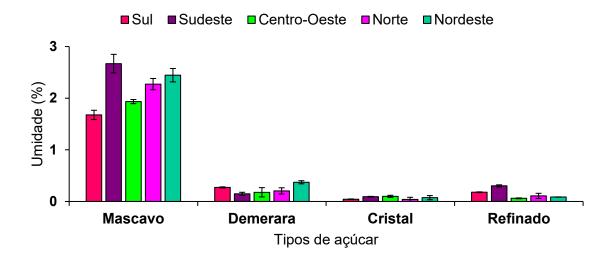


Gráfico 1. Percentual de umidade dos diferentes tipos de açúcares conforme cada região brasileira.

Os percentuais de umidade do AM nas cinco regiões brasileiras variaram de 1,68 a 2,67%, conforme apresentado na Tabela 9. A umidade do AM das Regiões Sudeste, Norte e Nordeste apresentaram percentuais de umidade maiores (p < 0,05) em relação a Região Sul. A Região Sudeste apresentou percentual de umidade significativamente maior (p < 0,05) em relação as Regiões Centro-Oeste e Norte. Além disso, as Regiões Norte e Nordeste apresentaram percentuais de umidade superiores (p < 0,05) quando comparadas com a Região Centro-Oeste.

Os percentuais de umidade no AM encontrados neste estudo, são maiores que o apresentado por Azlan et al. (2020), onde dois tipos de AM apresentaram umidade de 0,11% e 0,15%. Nossos achados possuem percentuais de umidade inferiores aos demonstrados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011) (3,3%); por Asikin et al. (2016) que obtiveram teores de umidade de 3,53% a 4,16% em três métodos de secagem do AM e por Sólis-Fuentes et al. (2019) que encontraram teor de umidade de 3,8% no AM comercial. Eggleston et al. (2021) encontraram variações de 0,5 a 4% no açúcar mascavo e afirmam que o teor de umidade pode variar a depender da concentração do caldo de cana.

Quanto ao AD, os percentuais de umidade variaram de 0,15 a 0,37%. Não houveram diferenças significativas entre as regiões (p = 0,4326). Nossos achados são superiores aos apresentados por Sampaio et al. (2023) que obtiveram 0,10% de umidade no AD e inferiores ao encontrado por Lee et al. (2018), que avaliaram quatro tipos de açúcar não refinados disponíveis na República da Coréia e encontraram níveis superiores (3,21 a 4,40%) aos nossos achados, demonstrando que o teores de umidade diferenciam-se ainda mais quando comparados a outros países.

O teor de umidade do AC variou de 0,04 a 0,10% nas cinco regiões brasileiras. Não houveram diferenças significativas na umidade do AC entre as Regiões (p = 0,0586). Tais resultados corroboram com o exposto pela TACO (0,1%), pelo estudo de Farinelli et al. (2021), que analisaram três marcas do tipo cristal e demonstraram que o teores de umidade variaram de 0,06 a 0,08% e por Sampaio et al. (2023) que obteve 0,06% de umidade no AC. Dessa forma, neste tipo de açúcar podemos observar que nossos resultados estão de acordo com os expostos pela literatura (TACO, 2011; BRASIL, 2018).

O AR das cinco regiões brasileiras apresentaram percentuais de umidade que variaram de 0,06 a 0,30%. A Região Sudeste apresentou-se estatisticamente maior (p = 0,001) quando comparada à Região Sul. Em contrapartida, a Região Sul apresentou

percentual superior quando comparada com as Regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste demonstrando diferenças significativas entre si (p < 0,05). A referência para umidade no AR é de 0,1% (TACO, 2011) até 0,3% (BRASIL, 2018). Novamente encontramos distintos limites máximos para o parâmetro umidade, enfatizando a necessidade de padrões para identidade e qualidade do produto. Sampaio et al. (2023) apresentaram resultados semelhantes ao nosso estudo, onde o teor de umidade no AR foi de 0,27%.

Observa-se que os resultados expressos neste trabalho para o teor de umidade dos diferentes tipos de açúcares, em sua maioria podem variar entre tipos e regiões de produção, devido as condições de processamento e matéria-prima, indicando que os diferentes tipos de açúcares necessitam de padrões físico-químicos estabelecidos para melhor caracterização do produto com parâmetros desejados de autenticidade, qualidade físico-química e nutricional (JAFFÉ, 2015; LEE et al., 2018; LI, 2021; SAMPAIO et al., 2023). No entanto, a conformidade dos produtos açucarados com as normas características padrão é fundamental neste contexto, visto que o teor de umidade diretamente proliferação impacta na de microrganismos consequentemente, na estabilidade e na vida útil do produto (ISENGARD, 2001).

5.1.2 Dados da determinação de cinzas

Os resultados da determinação de cinzas das amostras dos diferentes tipos de açúcares produzidos nas cinco regiões brasileiras (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste) estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Percentual de cinzas em amostras de diferentes tipos de açúcares produzidos no Brasil (média ± desvio padrão).

Regiões	Cinzas (%)							
	AM	AD	AC	AR				
Sul	0,99 ± 0,02 b	0,23 ± 0,003 °	0,07 ± 0,01 b	0,02 ± 0,004 a				
Sudeste	1,29 ± 0,21 ^c	0,03 ± 0,02 ^a	* <lod a<="" th=""><th>*<lod a<="" th=""></lod></th></lod>	* <lod a<="" th=""></lod>				
Centro-Oeste	$1,34 \pm 0,03$ °	0,05 ± 0,01 ^a	0,004 ± 0,003 a	$0,05 \pm 0,01$ b				
Norte	0,52 ± 0,03 a	0,14 ± 0,05 ^b	0,02 ± 0,01 a	0,002 ± 0,01 a				
Nordeste	0,47 ± 0,04 a	0,16 ± 0,01 b	0.06 ± 0.02 b	0,00 ± 0,01 a				
Brasil (2018)	**	0,50	0,04	0,10				

Nota: Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05) por ANOVA unidirecional com teste *post hoc* de Tukey. *Limite de detecção. **Valor não determinado pela Instrução Normativa (2018).

No Gráfico 2 estão demonstrados os percentuais de cinzas dos diferentes tipos de açúcares e suas respectivas regiões.

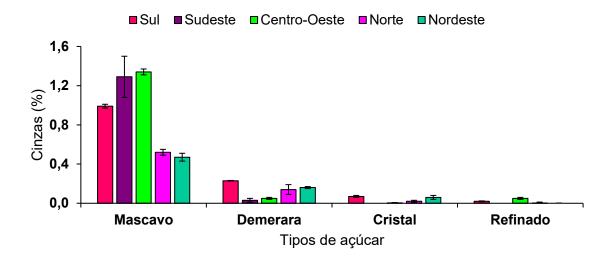


Gráfico 2. Percentual de cinzas dos diferentes tipos de açúcares, conforme cada região brasileira.

Os percentuais de cinzas do AM nas cinco regiões brasileiras variaram de 0,47% a 1,34%, apontando diferenças significativas entre as regiões (p < 0,05). A Região Sudeste apresentou percentual superior quando comparada às Regiões Sul, Norte e Nordeste. A Região Centro-Oeste apresentou maior percentual que as regiões Sul, Norte e Nordeste, enquanto que a Região Sul que apresentou percentual superior às Regiões Norte e Nordeste.

O presente estudo obteve um percentual de cinzas maior que o encontrado por Azlan et al. (2020), em que dois tipos de açúcar mascavo apresentaram 0,07% e 0,09% de cinzas. Sampaio et al. (2023) encontraram uma variação de 0,08 a 0,99% de cinzas em açúcares convencionais e orgânicos. Lee et al. (2018) e Sólis-Fuentes et al. (2019), sugerem que as cinzas dos AM não exceda 2,2%, pois um alto teor de cinzas está associada a um alto teor de potássio, podendo atribuir sabor amargo ou salgado e dificultar a cristalização do açúcar.

Quanto ao AD, o teor de cinzas entre as regiões variou de 0,05% a 0,23%. Houveram diferenças estatísticas no teor de cinzas entre as Regiões (p <0,05), onde a Região Sul apresentou percentuais de cinzas maiores do que as Regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Outra diferença, foi observada nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, que apresentaram percentuais de cinzas significativamente menores

em relação às Regiões Norte e Nordeste. Sampaio et al. (2023) observaram que o teor de cinzas no AD convencional foi de 0,06% concordando com os resultados deste estudo.

Os percentuais do AC variaram de 0,004 a 0,07%. O Teste de ANOVA indicou diferenças estatísticas entre as regiões (p <0,05). As Regiões Sul e Nordeste apresentaram percentuais significativamente maiores em relação às Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Nossos resultados foram menores do que o encontrado por Lee et al. (2018) que obtiveram valores de 0,80 a 1,54% no teor de cinzas para quatro amostras de açúcar não refinado e por Doneda et al. (2023) em que os valores obtidos ficaram entre 0,64 e 2,36% para os açúcares convencionais e 0,35 a 2,05% para os açúcares orgânicos. Semelhante aos nossos resultados, Sampaio et al. (2023), encontraram um percentual de 0,01% de cinzas no AC.

O percentual de cinzas no AR variou de 0,000 a 0,05% nas cinco regiões brasileiras. Houve diferença significativa (p <0,05) entre as regiões. A Região Centro-Oeste apresentou percentual superior em relação às Regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste. Segundo Sampaio et al. (2023), o teor de cinzas no AR foi de 0,01% e como o teor de cinzas está relacionado ao teor de minerais, o autores sugerem que quanto maior o teor de cinzas, maior a concentração de minerais nas amostras.

5.1.3 Dados da determinação de carboidratos redutores em glicose

Os resultados provenientes da determinação de açúcares redutores em glicose estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Percentual de glicose em amostras de diferentes tipos de açúcares das cinco regiões brasileiras (média ± desvio padrão).

Regiões	Carboidratos redutores em glicose (%)							
	AM	AD	AC	AR				
Sul	2,5 ± 0,001 a	1,07 ± 0,10 b	0,97 ± 0,27 b	0,91 ± 0,16 b				
Sudeste	$3,06 \pm 0,57$ a,b	0,67 ± 0,0003 a	0,67 ± 0,0003 a	0,68 ± 0,02 a				
Centro-Oeste	$2,74 \pm 0,52$ a,b	0.83 ± 0.001 a,b	0,62 ± 0,01 a	0,61 ± 0,01 a				
Norte	3,66 ± 0,16 b	0,98 ± 0,12 b	0,67 ± 0,0002 a	0,67 ± 0,0001 a				
Nordeste	$3,57 \pm 0,003$ b	0,68 ± 0,03 a	0,67 ± 0,0002 a	0,67 ± 0,0003 a				

Nota: Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05) por ANOVA unidirecional com teste post hoc de Tukey.

No Gráfico 3 estão demonstrados os percentuais de carboidratos redutores em glicose dos diferentes tipos de açúcares e suas respectivas regiões.

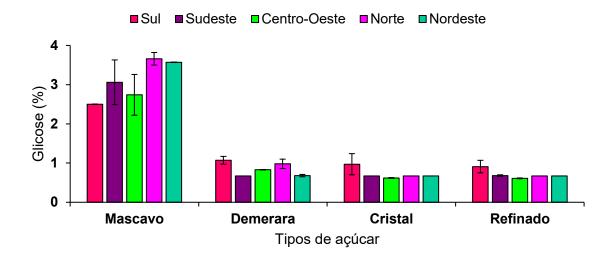


Gráfico 3. Percentual de carboidratos redutores em glicose dos diferentes tipos de açúcares, conforme cada região brasileira.

Os percentuais de carboidratos redutores em glicose nas amostras de AM variaram de 2,5% a 3,65% nas cinco regiões brasileiras. Houve diferenças significativas nas Regiões Norte e Nordeste, que apresentaram percentuais maiores (p <0,05) em relação à Região Sul. Nossos resultados são menores que o encontrado por Araújo et al. (2011) que apresentaram percentuais de carboidratos redutores que variaram entre 2,8% e 7,4% em dez amostras de AM; por Bettani et al. (2014) que obtiveram um percentual de carboidratos redutores de 5,6% no AM orgânico e Andrade et al. (2018) que analisaram o AM produzido em três processos diferentes, obtiveram teores maiores de carboidratos redutores que variaram de 6,07% a 12,96%.

No AD, observou-se que o percentual de carboidratos redutores variaram de 0,67% a 1,07% entre as regiões, diferindo-se entre si (p <0,05). A Região Sul, apresentou percentual superior quando comparada às Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Além disso, a Região Norte apresentou média superior ao encontrado nas Regiões Sudeste e Nordeste. O presente estudo apresenta percentuais de caboidratos redutores no AD próximos ao encontrado por Bettani et al. (2014) que avaliaram três amostras de AD orgânico e encontraram um percentual que variou de 0.9% a 1.2%.

O AC apresentou percentuais de carboidratos redutores entre as regiões brasileiras que variaram de 0,62% a 0,97%. Apenas a Região Sul e Centro-Oeste diferiram (p <0,05), onde o percentual foi maior na Região Sul. Nossos achados foram próximos ao obtido por Bettani et al. (2014) em amostras de AC orgânico, onde o percentual de carboidratos redutores variou de 0,9% a 1,6%. No entanto, um menor percentual for encontrado no AC convencional 0,05% (BETTANI et al., 2014).

Quanto as amostras de AR das diferentes regiões brasileiras, os teores de glicose variaram de 0,61 a 0,91%. A Região Sul $(0,91 \pm 0,16)$ apresentou percentual superior (p <0,05) em relação à todas as demais Regiões. Bettani et al. (2014) obtiveram um percentual de carboidratos redutores semelhante aos nossos resultados no AR convencional (0,6%).

Estudos relacionados aos aspectos físico-químicos são em sua maioria direcionados ao açúcar mascavo, demerara, aos orgânicos e ao açúcar de coco, devido as suas propriedades nutricionais e funcionais. No entanto, o consumo em maior escala refere-se aos tipos refinado e cristal, o que enfatiza a importância da realização de estudos que abordem tais tipos com o intuito de proporcionar mais atenção aos parâmetros de padronização, qualidade e segurança alimentar (FARINELLI, 2021; SARAIVA et al., 2023).

A legislação brasileira não prevê um padrão para açúcares redutores em açúcares sólidos (BRASIL, 2018), e essa falta de regulamentação pode influenciar na qualidade dos açúcares sólidos comercializados no Brasil, uma vez que a concentração de açúcares redutores pode afetar o sabor, o aroma e as características de naturalidade (GOMIS et al., 2001; AKYÜZ et al., 2021).

5.1.4 Dados da determinação de carboidratos não-redutores em sacarose

Na Tabela 12 estão demonstrados os resultados da determinação de carboidratos não-redutores em sacarose dos diferentes tipos de açúcares produzidos nas cinco regiões brasileiras.

Tabela 12. Percentual de sacaros	se em amostras	de diferentes t	ipos de açúcares das
cinco Regiões Brasileiras (média	± desvio padrão).	

Pagiãos	Carboidratos não-redutores em sacarose (%)							
Regiões	AM	AD	AC	AR				
Sul	79,01 ± 0,03 b	99,1 ± 5,84 ^a	79,1 ± 0,01 b,c,d	79,1 ± 0,02 ^b				
Sudeste	79,01 ± 0,03 ^b	79,1 ± 0,04 ^b	84,4 ± 9,13 ^{a,d}	84,4 ± 9,16 b,c				
Centro-Oeste	79,01 ± 0,05 ^b	79,1 ± 0,05 ^b	$79,2 \pm 0,01$ b,c,d	79,1 ± 0,04 ^b				
Norte	94,9 ± 0,03 a	$94,9 \pm 0,04$ a,c	89,7 ± 8,17 a,c	$94,9 \pm 0,02$ a,c				
Nordeste	94,9 ± 0,07 a	$91,5 \pm 5,90$ b,c	94,9 ± 0,03 a	97,7 ± 4,76 ^a				

Nota: Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças estatísticas entre os grupos (p < 0,05) por ANOVA unidirecional com teste post hoc de Tukey.

No Gráfico 4 estão demonstrados os percentuais de carboidratos não-redutores em sacarose dos diferentes tipos de açúcares e suas respectivas regiões.

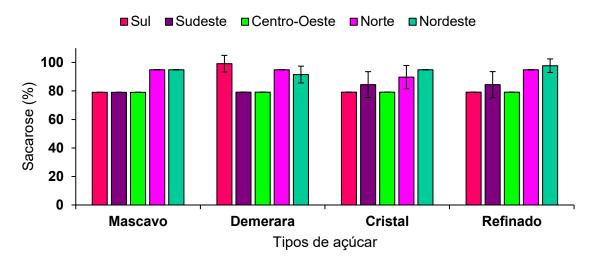


Gráfico 4. Percentual de carboidratos não-redutores em sacarose dos diferentes tipos de açúcares, conforme cada região brasileira.

Os percentuais de carboidratos não-redutores na sacarose nos AM das cinco regiões brasileiras variaram de 79,1% a 94,9%. A estatística ANOVA unidirecional indicou diferença entre as regiões brasileiras (p < 0,0001). As Regiões Norte e Nordeste apresentaram maiores percentuais de carboidratos não-redutores em sacarose em relação às Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

No caso do percentual de carboidratos não-redutores em sacarose no AD, os percentuais variaram de 79,1% a 99,1%. Na comparação entre regiões, houveram diferenças significativas (p < 0,0001). A Região Sul, apresentou maiores percentuais de carboidratos não-redutores em sacarose no AD quando comparada às Regiões Sudeste Centro-Oeste e Nordeste. A Região Norte apresentou maiores percentuais

de carboidratos não-redutores em sacarose do que as Regiões Sudeste e Centro-Oeste. Além disso, a Região Nordeste apresentou percentuais de sacarose maiores em relação às Regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Nossos achados são semelhantes aos encontrados por Eggleston et al. (2021), que obtiveram um percentual de 85 a 90% de sacarose no AM. Entretanto, níveis de 65 a 85% também foram encontrados (Velásquez et al., 2019). Jaffé (2015) apresenta um percentual de 76,6 a 89,5% de sacarose no AM. Sugere-se que esses valores podem variar dependendo da concentração do caldo de cana (Eggleston et al., 2021).

A AC também apresentou variações no percentual de carboidratos nãoredutores entre as Regiões Brasileiras (79,1% a 94,9%). A Região Nordeste foi a única que diferiu no percentual de carboidratos não-redutores em sacarose (p = 0,02), sendo superior às Regiões Sul e Centro-Oeste.

Os teores de carboidratos não-redutores em sacarose no AR variaram de 79,1% a 97,7%. Na comparação entre as Regiões, o Nordeste apresentou maior percentual em relação às Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (p = 0,01). Em contrapartida, a Região Norte apresentou maior percentual de sacarose do que o determinado nas Regiões Sul e Centro-Oeste. A literatura mostra que o açúcar refinado pode conter até 99,8% de sacarose, devido à sua alta pureza e às perdas nutricionais durante seu processamento (Seguí, 2015; Lu et al., 2017; Li et al., 2021).

Observa-se que os percentuais entre os diferentes tipos de açúcares variaram entre si e entre as regiões. Nesse contexto, nota-se que também ocorrem variações entre os órgãos reguladores, que estabelecem diferentes percentuais de sacarose nos açúcares, variando de 86 a 99,5% (USDA, 2009), 91% (CODEX, 2019), 99% (EAC, 2010), 96 a 99,5% (BRASIL, 2018) e também um percentual mínimo de 60% para não implicar em um produto com alto teor de açúcares redutores interferindo na apresentação do produto e no seu prazo de validade (CODEX, 2019).

Dessa forma, observa-se que o teor de carboidratos não redutores atingiu o percentual mínimo estabelecido (CODEX, 2019), por outro lado, as metas percentuais para essas substâncias não foram atingidas para o AM nas regiões S, SE e CO, para AD nas regiões SE e CO, para AC nas regiões S, SE e CO e AR nas regiões S, SE e CO, fato que contribui para a comercialização de açúcares não padronizados, tornando a regulamentação e o controle dos açúcares essenciais para garantir a qualidade e autenticidade do produto (Li et al., 2021; Alves et al., 2024).

5.2 Composição elementar

5.2.1 Dados da quantificação de macro, microelementos e elementos tóxicos por ICP OES

Os teores detectados por ICP OES dos elementos: Alumínio (AI), Arsênio (As), Bário (Ba), Cálcio (Ca), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Fósforo (P), Chumbo (Pb), Enxofre (S), Selênio (Se), Silício (Si), Estrôncio (Sr), Vanádio (V) e Zinco (Zn) nos diferentes tipos de açúcares produzidos nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste estão apresentados na Tabela 13. O único micronutriente que apresentou concentração <LOD em todos os tipos de açúcares das cinco Regiões estudadas foi o Cobalto (Co).

Tabela 13. Dados analíticos sobre o conteúdo elementar presente nos diferentes tipos de açúcares produzidos nas cinco regiões brasileiras por ICP OES. As unidades estão expressas em mg/80g ± desvio padrão.

		S	ul			Sud	este			Centro	-Oeste	
Elementos	AM-S	AD-S	AC-S	AR-S	AM-SD	AD-SD	AC-SD	AR-SD	AM- CO	AD-CO	AC-CO	AR-CO
Al	9,81 ± 0,66	0,73 ± 0,07	1,31 ± 0,26	1,22 ± 0,03	4,14 ± 1,84	1,76 ± 0,21	0,92 ± 1,01	1,04 ± 1,14	11,6 ± 0,59	1,51 ± 0,16	1,10 ± 1,20	4,63 ± 5,07
As	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,004	0,10 ± 0,003	0,12 ± 0,003	0,09 ± 0,004	0,10 ± 0,002	0,11 ± 0,003
Ва	0,10 ± 0,01	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,12 ± 0,03</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,12 ± 0,03</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,12 ± 0,03</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,12 ± 0,03	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,05 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,05 ± 0,001	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>
Са	43,6 ± 1,68	0,11 ± 0,12	0,64 ± 0,04	0,90 ± 0,06	95,5 ± 12,7	1,80 ± 0,08	1,33 ± 0,04	1,64 ± 0,11	85,17 ± 3,21	<lod< th=""><th>0,42 ± 0,04</th><th>2,51 ± 0,28</th></lod<>	0,42 ± 0,04	2,51 ± 0,28
Cd	0,01 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,000	0,004 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,001 ± 0,002	0,01 ± 0,000	0,01 ± 0,002
Со	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>
Cr	0,01 ± 0,002	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,01 ± 0,005</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,01 ± 0,005</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,01 ± 0,005</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,01 ± 0,005	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,02 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,02 ± 0,001	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>
Cu	0,04 ± 0,003	<lod< td=""><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,08 ± 0,03</td><td>0,004 ± 0,01</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,07 ± 0,003</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<>	<lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,08 ± 0,03</td><td>0,004 ± 0,01</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,07 ± 0,003</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<>	<lod< td=""><td>0,08 ± 0,03</td><td>0,004 ± 0,01</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,07 ± 0,003</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<>	0,08 ± 0,03	0,004 ± 0,01	<lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,07 ± 0,003</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<></td></lod<></td></lod<>	<lod< td=""><td>0,07 ± 0,003</td><td><lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<></td></lod<>	0,07 ± 0,003	<lod< td=""><td><lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<></td></lod<>	<lod< td=""><td>0,001 ± 0,004</td></lod<>	0,001 ± 0,004
Fe	6,09 ± 0,41	0,14 ± 0,05	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,02	3,39 ± 0,97	0,30 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,15 ± 0,14	8,43 ± 0,07	0,45 ± 0,24	0,03 ± 0,01	0,66 ± 0,13
K	91,5 ± 5,91	43,6 ± 1,96	2,30 ± 0,10	3,27 ± 0,10	203,7 ± 313,9	12,5 ± 1,02	2,70 ± 0,19	3,89 ± 0,13	127,6 ± 5,40	8,29 ± 0,29	1,50 ± 0,08	3,50 ± 0,15
Mg	30,9 ± 1,24	7,57 ± 0,21	0,48 ± 0,01	0,71 ± 0,01	14,1 ± 2,18	1,65 ± 0,10	0,75 ± 0,03	0,67 ± 0,05	58,8 ± 2,04	3,65 ± 0,10	0,47 ± 0,01	1,20 ± 0,09
Mn	0,92 ± 0,06	0,01 ± 0,001	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,30 ± 0,07</th><th>0,01 ± 0,001</th><th>0,002 ± 0,000</th><th><lod< th=""><th>1,15 ± 0,01</th><th>0,01 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th>0,03 ± 0,004</th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,30 ± 0,07</th><th>0,01 ± 0,001</th><th>0,002 ± 0,000</th><th><lod< th=""><th>1,15 ± 0,01</th><th>0,01 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th>0,03 ± 0,004</th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,30 ± 0,07	0,01 ± 0,001	0,002 ± 0,000	<lod< th=""><th>1,15 ± 0,01</th><th>0,01 ± 0,001</th><th><lod< th=""><th>0,03 ± 0,004</th></lod<></th></lod<>	1,15 ± 0,01	0,01 ± 0,001	<lod< th=""><th>0,03 ± 0,004</th></lod<>	0,03 ± 0,004
Р	7,90 ± 0,56	2,65 ± 0,06	0,88 ± 0,03	1,32 ± 0,02	7,71 ± 1,48	1,88 ± 0,04	0,98 ± 0,01	0,69 ± 0,01	11,2 ± 0,12	1,29 ± 0,05	0,98 ± 0,02	1,46 ± 0,10

- Bi	0,04 ±	0,01 ±	0,03 ±	0,03 ±	0,06 ±	0,18 ±	0,03 ±	0,03 ±	0,05 ±	0,01 ±	0,03 ±	0,04 ±
Pb	0,002	0,01	0,01	0,01	0,03	0,15	0,003	0,01	0,002	0,01	0,002	0,01
S	13,3 ±	8,62 ±	1,65 ±	0,70 ±	18,9 ±	1,93 ±	1,70 ±	1,74 ±	28,9 ±	1,80 ±	1,24 ±	1,99 ±
	1,19	0,20	0,01	0,02	5,73	0,08	0,08	0,12	0,33	0,07	0,02	0,15
	0,06 ±	0,05 ±	0,08 ±	0,08 ±	0,10 ±	0,09 ±	0,08 ±	0,08 ±	0,09 ±	0,05 ±	0,08 ±	0,08 ±
Se	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,002	0,01	0,003	0,01
Si	9,19 ±	1,45 ±	<lod< th=""><th>0,16 ±</th><th>5,30 ±</th><th>1,27 ±</th><th>0,10 ±</th><th>0,27 ±</th><th>7,78 ±</th><th>1,56 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th>1,16 ±</th></lod<></th></lod<>	0,16 ±	5,30 ±	1,27 ±	0,10 ±	0,27 ±	7,78 ±	1,56 ±	<lod< th=""><th>1,16 ±</th></lod<>	1,16 ±
	0,40	0,06		0,06	2,57	0,60	0,02	0,33	0,06	0,12		0,69
Sr	0,06 ±	0,003 ±	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,36 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,01 ±</th><th>0,11 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,36 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,01 ±</th><th>0,11 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,36 ±	0,01 ±	<lod< th=""><th>0,01 ±</th><th>0,11 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,01 ±	0,11 ±	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>
	0,01	0,001			0,13	0,001		0,002	0,001			
V	0,07 ±	0,01 ±	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th>$0,04 \pm$</th><th>0,001 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,13 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>$0,04 \pm$</th><th>0,001 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,13 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	$0,04 \pm$	0,001 ±	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""><th>0,13 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,13 ±</th><th>0,01 ±</th><th rowspan="2"><lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,13 ±	0,01 ±	<lod< th=""><th rowspan="2"><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>
	0,01	0,003			0,004	0,004			0,001	0,01		
Zn	0,23 ±	0,02 ±	0,01 ±	0,06 ±	0,20 ±	0,02 ±	0,01 ±	0,14 ±	0,37 ±	0,05 ±	<lod< th=""><th>0,12 ±</th></lod<>	0,12 ±
	0,01	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	\LUD	0,02

Continuação

Elementes		No	orte		Nordeste				
Elementos	AM-N	AD-N	AC-N	AR-N	AM-ND	AD-ND	AC-ND	AR-ND	
Al	9,81 ± 0,20	0,96 ± 0,63	1,84 ± 0,37	1,18 ± 1,29	4,44 ± 0,24	0,70 ± 0,77	2,33 ± 2,51	0,91 ± 0,99	
As	0.09 ± 0.004	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,004	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,01	
Ва	0,01 ± 0,002	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,03 ± 0,001</th><th>0,001 ± 0,002</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,03 ± 0,001</th><th>0,001 ± 0,002</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,03 ± 0,001</th><th>0,001 ± 0,002</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,03 ± 0,001	0,001 ± 0,002	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>	
Ca	25,22 ± 1,97	$4,06 \pm 4,62$	$1,11 \pm 0,32$	$0,71 \pm 0,20$	$54,7 \pm 0,79$	10,2 ± 0,68	$4,90 \pm 0,83$	1,13 ± 0,50	
Cd	0,003 ± 0,001	0,01 ± 0,003	0,01 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,004 ± 0,000	
Co	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>	
Cr	0,004 ± 0,004	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>	
Cu	0.02 ± 0.002	0,01 ± 0,01	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,02 ± 0,01</th><th>0,01 ± 0,003</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,02 ± 0,01</th><th>0,01 ± 0,003</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,003	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>	
Fe	10,2 ± 2,02	0.27 ± 0.04	0.03 ± 0.03	0.03 ± 0.03	2,.23 ± 0,03	0,37 ± 0,14	0,07 ± 0,05	0,07 ± 0,08	
K	20,8 ± 2,18	19,6 ± 9,22	2,44 ± 0,35	1,70 ± 0,05	43,8 ± 1,28	28,9 ± 2,72	5,24 ± 1,09	0.34 ± 0.06	
Mg	4,24 ± 0,47	3,65 ± 1,93	$0,66 \pm 0,08$	$0,56 \pm 0,03$	$6,7 \pm 0,10$	5,12 ± 0,41	$0,71 \pm 0,35$	0.03 ± 0.02	
Mn	0,14 ± 0,004	0.03 ± 0.03	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,14 ± 0,002</th><th>0,06 ± 0,01</th><th>0,001 ± 0,01</th><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,14 ± 0,002</th><th>0,06 ± 0,01</th><th>0,001 ± 0,01</th><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	0,14 ± 0,002	0,06 ± 0,01	0,001 ± 0,01	<lod< th=""></lod<>	
Р	2,06 ± 0,11	3,16 ± 0,82	0,97 ± 0,24	0,88 ± 0,03	9,62 ± 0,22	2,69 ± 0,24	1,31 ± 0,33	1,18 ± 0,29	
Pb	0,02 ± 0,01	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.004	0,03 ± 0,001	0,03 ± 0,01	0.04 ± 0.004	0,04 ± 0,01	0.03 ± 0.002	
S	9,24 ± 1,12	7,85 ± 5,88	2,12 ± 0,42	1,69 ± 0,08	10,6 ± 0,27	12,4 ± 1,20	7,56 ± 2,99	0,98 ± 0,22	
Se	0.05 ± 0.005	0.09 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.004	0.06 ± 0.01	$0,09 \pm 0,01$	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.08	
Si	$3,06 \pm 0,16$	1,56 ± 1,13	0.07 ± 0.16	$0,37 \pm 0,47$	$3,20 \pm 0,07$	2,27 ± 0,55	$0,29 \pm 0,59$	<lod< th=""></lod<>	
Sr	$0,05 \pm 0,01$	0.02 ± 0.02	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0.35 ± 0.02</th><th>0.03 ± 0.004</th><th>0.01 ± 0.01</th><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0.35 ± 0.02</th><th>0.03 ± 0.004</th><th>0.01 ± 0.01</th><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	0.35 ± 0.02	0.03 ± 0.004	0.01 ± 0.01	<lod< th=""></lod<>	
V	0,02 ± 0,002	0,01 ± 0,004	<lod< th=""><th><lod< th=""><th>0,01 ± 0,002</th><th>0,01 ± 0,003</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<></th></lod<>	<lod< th=""><th>0,01 ± 0,002</th><th>0,01 ± 0,003</th><th><lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<></th></lod<>	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,003	<lod< th=""><th><lod< th=""></lod<></th></lod<>	<lod< th=""></lod<>	
Zn	0,23 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,002 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,003 ± 0,004	0,01 ± 0,01	

5.2.2 Alumínio (AI)

A concentração de Al variou em diferentes tipos de açúcares das regiões Sul $(0.73 \pm 0.07 - 9.81 \pm 0.66 \text{ mg/80g})$, Sudeste $(1.76 \pm 0.21 - 4.14 \pm 1.84 \text{ mg/80g})$, Centro-Oeste $(1.51 \pm 0.16 - 11.6 \pm 0.59 \text{ mg/80g})$, Norte $(0.10 \pm 0.01 - 9.81 \pm 0.20 \text{ mg/80g})$ e Nordeste $(1.40 \pm 0.77 - 4.66 \pm 0.93 \text{ mg/80g})$, respectivamente.

As concentrações de Al variaram de 0,40 a 3,6 mg/kg em sete amostras de açúcares mascavo e, portanto, apresentaram-se menores que os nossos resultados (ZHU, 2020). A Agência dos EUA para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) estabelece que ingestão tolerável é de 1 mg/kg/dia (ATSDR, 2008). Portanto, considera-se que o teor de Al nas amostras analisadas no presente estudo, estão acima do limite tolerável.

Nos alimentos, uma das principais fontes de Al estão nos aditivos e corantes alimentares (GANHOR, 2024). Efeitos adversos a saúde estão relacionados à exposição ao Al, como alterações reprodutivas (ALI, 2024), pulmonares, mamárias, ósseas (KLEIN, 2019), do sistema imunológico e do sistema nervoso central (INAN-EROGLU, 2018; ZHANG, 2022).

5.2.3 Arsênio (As)

A concentração de As nos açúcares analisados variou de $0.09 \pm 0.01 - 0.11 \pm 0.01$ mg/80g; $0.10 \pm 0.003 - 0.12 \pm 0.02$ mg/80g; $0.09 \pm 0.004 - 0.12 \pm 0.003$ mg/80g; $0.08 \pm 0.004 - 0.11 \pm 0.01$ mg/80g e $0.10 \pm 0.01 - 0.11 \pm 0.01$ mg/80g, nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Não há estudos que quantifiquem a concentração de As em açúcares. No entanto, o As pode estar presente nos solos de cultivo da cana-de-açúcar. Na China, devido a práticas de mineração e uso prolongado de pesticidas o teor de As no solo variou de 2,39 a 6 mg/kg (MTEMI, 2023). Os autores sugerem que a contaminação do solo pode ocorrer devido aos tratamentos agrícolas, água de irrigação e variações entre cada local de cultivo, impactando a composição da planta e do produto final (MTEMI, 2023).

Ainda não há um valor seguro para a ingestão de As. No entanto, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) apresenta um limite máximo tolerável de

0,10 mg/kg de arsênio para açúcares (ANVISA, 2021). Portanto, nossos achados estão acima do limite tolerável. Uma exposição crônica mesmo a baixos níveis de As podem acarretar em riscos à saúde humana como o desenvolvimento de vários tipos de câncer, incluindo o de pele, bexiga, rins e pulmões (ENGWA, 2019; FATEMA, 2021) e influenciar nas doenças cardiovasculares, hipertensivas e ateroscleróticas (KAUR, 2023).

5.2.4 Bário (Ba)

Os resultados obtidos para Ba em AM foram $0,10 \pm 0,01$ mg/80g; $0,12 \pm 0,03$ mg/80g; $0,05 \pm 0,001$ mg/80g; $0,01 \pm 0,002$ mg/80g; e $0,03 \pm 0,001$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente. O AD da Região Nordeste apresentou teor de Ba de $0,04 \pm 0,002$. Os demais açúcares apresentaram valores abaixo do limite de detecção (<LOD).

Diferenças significativas foram limitadas à Região Sul, onde a Região Sul apresentou menores teores de Ba quando comparada às demais regiões. A quantificação de Ba em produtos derivados da cana-de-açúcar, o teor de Ba variou de 0,46 a 0,99 mg/kg, apresentando-se semelhantes aos resultados deste estudo (SAMPAIO, 2020). O limite de ingestão tolerável de Ba estabelecido pela Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é de 0,2 mg/kg/dia para a população adulta (ÍRIS, 2005; ATSDR, 2008).

A presença de Ba nos alimentos se dá pela contaminação da água, legumes, castanhas e frutos do mar (GONZÁLEZ-WELLER, 2013; SILVA JÚNIOR, 2022). No organismo humano, o Ba não possui papel benéfico e portanto, os efeitos pela exposição crônica ao Ba pode acarretar em hipocalemia, paralisia muscular, insuficiência respiratória e alterações no sistema reprodutivo e cardiovascular (ÍRIS, 2005; PI, 2019).

5.2.5 Cálcio (Ca)

Os resultados para o teor de Ca nos diferentes tipos de açúcares das regiões Sul e Sudeste variaram de $0.21 \pm 0.004 - 43.6 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$ mg/80g e $1.33 \pm 0.04 - 95.5 \pm 1.68$

12,7 mg/80g, respectivamente. Na região Centro-Oeste, a variação na concentração de Ca foi de $0.42 \pm 0.04 - 85.17 \pm 3.21$ mg/80g, exceto para AD, que apresentou concentração < LOD. Nas regiões Norte e Nordeste, o teor de Ca variou de $0.71 \pm 0.20 - 25.22 \pm 1.97$ mg/80g e $1.13 \pm 0.50 - 54.7 \pm 0.79$ mg/80g, respectivamente.

Em amostras comerciais e experimentais de rapadura as concentrações de Ca foram maiores (1323,5 a 2569,7 mg/kg) (GUERRA, MUJICA, 2010). Outros estudos apontaram semelhanças aos nossos achados, como Alves et al. (2024) que encontraram uma variação de 110 a 3.000 mg/kg de Ca em amostras de açúcar mascavo de diferentes Regiões do Brasil. Lee et al. (2018) encontraram níveis de Ca que variaram de 19,95 a 2732,2 mg/kg em diferentes tipos de açúcares.

Em amostras de AM provenientes do comércio da China, os teores Ca variaram de 894 a 5525 mg/kg (ZHU, 2020). Em diferentes Estados do Brasil e em Portugal foram encontrados níveis de Ca que variaram de 124 a 3.851 mg/kg em amostras de AM (SANTOS et al., 2019). Em amostras de açúcar não refinado provenientes do Japão, Malásia, Indonésia e Vietnã as concentrações de Ca variaram de 380 a 2346 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023).

Diferentemente dos nossos resultados, no açúcar branco não foram detectados níveis de Ca (OKOMA et al., 2020). De acordo com Dietary Reference Intakes (DRI) o nível máximo de ingestão de Ca pode variar de 2.000 a 2.500 mg/dia conforme gênero, faixa etária e a depender da Região do mundo (ROSS, 2011; EFSA, 2015).

Nos alimentos, o Ca está presente em produtos lácteos, frutas, vegetais, grãos, ovos, carnes e produtos de panificação (LO, 2024). O Ca possui funções biológicas importantes, no sistema sanguíneo, digestivo, endócrino, neurológico e esquelético. A deficiência de Ca pode acarretar em doenças como osteoporose, raquitismo em crianças e influenciar nas alterações hipertensivas (SHLISKY, 2022).

5.2.6 Cádmio (Cd)

As concentrações de Cd nas amostras analisadas foram de $0,002 \pm 0,001$ - $0,01 \pm 0,001$ mg/80g; $0,004 \pm 0,001$ - $0,01 \pm 0,000$ mg/80g; $0,002 \pm 0,001$ - $0,01 \pm 0,000$ mg/80g; $0,004 \pm 0,001$ - $0,01 \pm 0,001$ mg/kg nos diferentes tipos de açúcares das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

No estudo de Silva et al. (2016), foi identificado concentrações médias de Cd maiores que os nossos achados (1,9 ± 0,8mg/kg) nos solos do Nordeste Brasileiro. Em amostras de açúcar mascavo foram encontradas níveis menores de Cd e que variaram de 0,0045 a 0,007 mg/kg (SANTOS, 2018). Segundo a FAO/OMS, 2011, o limite tolerável de ingestão semanal de Cd é de 0,007 mg/kg, sendo assim, no presente estudo, as amostras analisadas estiveram maiores que o recomendado.

Na dieta, o Cd está presente em maiores quantidades nos vegetais folhosos, oleaginosas e sementes devido ao uso de fertilizantes (SCHAEFER, 2020). Na China, há um nível elevado de Cd no cultivo de arroz por conta da presença de lixo eletrônico (ZHANG, 2013). Efeitos adversos à saúde pela ingestão de Cd está associado à hipertensão e alterações renais e pulmonares (SCHAEFER, 2020; WANG, 2024). Fumantes também apresentaram risco de desenvolvimento de doenças cardíacas mediada pelo Cd (LI, 2019).

5.2.7 Cobalto (Co)

O único elemento que apresentou concentração <LOD em todos os tipos de açúcares das cinco Regiões estudadas foi o Co.

5.2.8 Cromo (Cr)

O teor de Cr no AM foi de $0,01\pm0,002$ mg/80g; $0,01\pm0,004$ mg/80g; $0,01\pm0,001$ mg/80g; e $0,002\pm0,001-0,01\pm0,003$ mg/80g para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, respectivamente. Os demais açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Azlan et al. (2020) encontraram concentrações maiores (0,9 a 1,79 mg/kg) de Cr em açúcares mascavo e refinado. No entanto, concentrações menores de Cr foram encontradas em açúcar mascavo variando de 0,03 a 0,16 mg/kg (SANTOS, 2018). Iqbal et al. (2017), compararam diferentes tipos de açúcares e observaram que a presença de Cr foi maior no AM quando comparado a outros tipos de açúcares provenientes de vinte usinas de açúcar. A ingestão adequada de cromo é de 25 e 35 µg/dia para mulheres e homens adultos, respectivamente. No entanto, nenhum limite

superior de ingestão tolerável (UL) seguro foi ainda definido para consumo humano (USDA, 2021).

O Cr está presente nos alimentos devido a contaminação da água, solos e plantações (CHEN, 2022). No organismo humano, o Cr atua no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, doses controladas podem beneficiar pessoas com diabetes, melhorar a função cognitiva e auxiliar no contole do peso corporal (ASBAGHI, 2021; SMITA, 2022). A exposição excessiva ao Cr ocasiona hipoglicemia, desconforto gástrico, taquicardia, alterações hepáticas e renais (SONONE, 2020).

5.2.9 Cobre (Cu)

O teor de Cu no BS foi de 0.04 ± 0.003 mg/80g; 0.08 ± 0.03 mg/80g; 0.07 ± 0.003 mg/80g; 0.02 ± 0.002 mg/80g e 0.02 ± 0.01 mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente. Nos DS das regiões Sudeste, Norte e Nordeste, o teor de Cu variou de 0.01 ± 0.004 a 0.01 ± 0.002 mg/80g. Os demais tipos de açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Em amostras de rapadura a concentração de Cu variou de 3,5 a 7,2 mg/kg, sendo maiores que os nossos resultados (GUERRA, MUJICA, 2010). Teores maiores também foram identificados no Sudeste Asiático, onde amostras de açúcar não refinado apresentaram níveis de Cu que variaram de 2,9 a 30,3 mg/kg (AYUSTANINGWARNO et al., 2023). Lee et al. (2018) não encontraram níveis detectáveis de Cu em diferentes tipos de açúcares. No açúcar branco não foram detectados níveis de Cu (OKOMA et al., 2020). O limite tolerável de Cu recomendado pela DRI para homens e mulheres adultos é de até 10 mg/dia (PADOVANI et al., 2006).

O Cu é essencial no metabolismo de carboidratos, lipídios, proteínas, enzimas e no transporte de ferro. Este mineral está presente na água e em solos agrícolas contaminados. A toxicidade de Cu pode levar a disfunções hepáticas, renais, cardíacas e neurológicas (Wang et al., 2024). A deficiência de Cu no corpo humano resulta em anemia, osteoporose, palidez, doença de Alzheimer e problemas cardíacos (Klevay, 2011).

5.2.10 Ferro (Fe)

As variações na concentração de Fe variaram de $0.01 \pm 0.001 - 6.09 \pm 0.41$ mg/80g; $0.09 \pm 0.01 - 3.39 \pm 0.97$ mg/80g; $0.03 \pm 0.01 - 8.43 \pm 0.07$ mg/80g; $0.03 \pm 0.03 - 10.2 \pm 2.02$ mg/80g e $0.07 \pm 0.07 - 2.23 \pm 0.03$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

Lee et al. (2018) encontraram níveis de Fe variando de 22,2 a 29,3 mg/kg em diferentes tipos de açúcares, o que difere dos nossos achados, onde foram encontradas maiores variações (0,06 a 127 mg/kg). Em amostras de açúcar mascavo de diferentes estados do Brasil e Portugal, as concentrações de Fe variaram de 1,68 a 28,4 mg/kg (Santos et al., 2019). Açúcares não refinados do Sudeste Asiático apresentaram níveis de Fe variando de 4,6 a 66,7 mg/kg (Ayustaningwarno et al., 2023). Em amostras de açúcar branco e mascavo, nenhum nível de Fe foi detectado (OKOMA et al., 2020). Para o Fe o limite máximo de ingestão é de 45 mg/dia para adultos incluindo as gestantes (PADOVANI et al., 2006; USDA, 2021).

O Fe no organismo humano desempenha funções bioquímicas importantes e nos alimentos está presente em carnes, leguminosas, vegetais verde escuros e castanhas. Sua deficiência tem como consequência a anemia, alterações neurológicas e diminuição da capacidade física (BATHLA; ARORA, 2021). O excesso de Fe no organismo, pode ocasionar lesões pancreáticas com diabetes, cirrose hepática, osteoporose e osteoartrite pela toxicidade do ferro (SIMÃO; CANCELA, 2021).

5.2.11 Potássio (K)

O teor detectável de K nos diferentes tipos de açúcares analisados variou de $2,30\pm0,10-91,5\pm5,91$ mg/80g; $2,70\pm0,19-113\pm9,65$ mg/80g; $1,50\pm0,08-127,6\pm5,40$ mg/80g; $1,70\pm0,05-20,8\pm2,18$ mg/80g e $0,34\pm0,06-43,8\pm1,28$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Em estudo realizado por Lee et al. (2018), em diferentes tipos de açúcares as variações de K foram de 82 a 3.930,17mg/kg, ou seja, maiores que os nossos achados. Justifica-se o alto teor de potássio pela pela presença deste elemento no caldo de cana, que apresenta alta concentração de potássio. Portanto, esperava-se

que o K fosse detectado em níveis elevados principalmente no açúcar mascavo. Zhu et al. (2020) encontraram teores de K em açúcares mascavo que foram de 2,446 a 11,271 mg/kg, ou seja, menores que os nossos resultados.

Em açúcares não refinados de diferentes Regiões do Sudeste Asiático, foram identificadas concentrações de K que variaram de 118,1 a 10,5 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). No açúcar branco não foram detectados níveis de K (OKOMA et al., 2020). Em diferentes tipos de açúcares provenientes da Malásia o teores de K variaram de 16,15 a 327,11 mg/kg (AZLAN, 2020). Não há um limite máximo de ingestão de K, no entanto, a ingestão recomendada para homens, mulheres e gestantes é de 4,7 g/dia (PADOVANI et al., 2006).

No organismo humano, o K participa de diversas ações, entre elas: equilíbrio eletrolítico, contração muscular, pressão arterial e impulsos nervosos (SHOKUNBI, 2023). Nos alimentos, está presente em frutas, vegetais, grãos integrais e castanhas (NARASAKI, 2022). Tanto a deficiência, quanto a ingestão excessiva de K causam danos à saúde, resultando em fraqueza, cansaço, cãimbras musculares, arritmias e insuficiência cardíaca (WANG, 2024).

5.2.12 Magnésio (Mg)

O teor de Mg nas amostras variou de $0,48 \pm 0,01 - 30,9 \pm 1,24$ mg/80g; $0,67 \pm 0,05 - 14,1 \pm 2,18$ mg/80g; $0,47 \pm 0,01 - 58,8 \pm 2,04$ mg/80g; $0,56 \pm 0,03 - 4,24 \pm 0,47$ mg/80g e $0,03 \pm 0,02 - 6,7 \pm 0,10$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

No Brasil e em Portugal, amostras de AM apresentaram teores de Mg de 10,3 a 148,1 mg/kg (SANTOS, 2019). Em amostras de diferentes açúcares não refinados, foram identificadas concentrações de Mg que variaram de 17,54 a 815,20 mg/kg (LEE et al., 2018). No Sudeste Asiático, açúcares não refinados apresentaram teores de Mg na faixa de 47,1 a 1402 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). Na Costa do Marfim, uma concentração de 10,3 mg/kg foi identificada em amostras de AM e em açúcares de coco os teores variaram de 79,6 a 162 mg/kg (OKOMA et al., 2020). Em diferentes tipos de açúcares, foram obtidas concentrações de Mg que variaram de 2,07 a 55,7 mg/kg (AZLAN, 2020). A Autoridade Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar

estabelece um valor de referência nutricional de 300 mg para mulheres e 350 mg para homens (EFSA, 2015).

O Mg participa da ativação de enzimas que estão envolvidas no metabolismo de carboidratos, ácidos nucleicos e proteínas. Além disso, o Mg é responsável pela contração muscular, excitação de neurônios e liberação de hormônios. As principais fontes alimentares de Mg são os grãos cereais. Embora a deficiência não seja comum, causa cãimbras, ansiedade, depressão, tremores, taquicardia (PARDO, 2021). A toxicidade por Mg é rara e está associada com doenças renais ou pela ingestão de altas doses, pode acarretar em paralisia muscular, arritmias e alterações respiratórias (WILLIAM, 2018).

5.2.13 Manganês (Mn)

A concentração de Mn na Região Sul foi de 0.92 ± 0.06 mg/80g para AM e 0.01 ± 0.001 mg/80g para AD. Na Região Sudeste, as variações no teor de Mn variaram de 0.01 ± 0.001 a 0.30 ± 0.07 mg/80g. Na Região Centro-Oeste, o teor de Mn variou de 0.01 ± 0.001 a 1.15 ± 0.01 mg/80g. Na Região Norte, a concentração de Mn foi de 0.14 ± 0.004 mg/80g em BS e 0.06 ± 0.02 mg/80g em AD. Na Região Nordeste, os teores de Mn variaram de 0.001 ± 0.01 a 0.14 ± 0.002 mg/80 g. Os demais açúcares apresentaram concentrações < LOD.

Lee et al. (2018), não encontraram níves detectáveis de Mn em diferentes tipos de açúcares. No entanto, em amostras de açúcar mascavo de diferentes estados do Brasil e de Portugal, as concentrações de Mn variaram de 3,3 a 41,7 mg/kg (SANTOS, 2019). Em amostras de açúcares não refinados, os teores Mn variaram de 0,8 a 58,9 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). De acordo com a DRI, a ingestão de Mn não deve ultrapassar 11 mg/dia para adultos (DRI, 2001).

Nos alimentos, o Mn está presente em grãos, feijões, nozes, sementes, frutas e vegetais. É essencial nas funções nervosas, imunológicas e sanguíneas, e sua deficiência causa alterações nesses sistemas. O excesso de Mn acumula-se no fígado e no sistema nervoso central ocasionando sintomas que remetem ao Mal de Parkinson (SOH, 2024).

5.2.14 Fósforo (P)

Os teores de P encontrados nos açúcares analisados variaram de 0.88 ± 0.03 a 7.90 ± 0.56 mg/80g; $0.69 \pm 0.01 - 7.71 \pm 1.48$ mg/80g; $0.98 \pm 0.02 - 11.2 \pm 0.12$ mg/80g; $0.88 \pm 0.03 - 3.16 \pm 0.82$ mg/80g; e $1.18 \pm 0.29 - 9.62 \pm 0.22$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Na China, a concentração de P em diferentes amostras de AM variou de 39 a 458 mg/kg (ZHU, 2020). Em Regiões do Sudeste Asiático, açúcares não refinados apresentaram concentrações de P que variaram de 5,1 a 1101 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). No açúcar branco não foram detectados níveis de P (OKOMA et al., 2020). Em amostras de AM (23,8 mg/kg) e açúcares de coco (83,3 a 145,7 mg/kg) da Costa do Marfim, as concentrações de P foram semelhantes aos nossos resultados (OKOMA et al., 2020). Na Malásia, diferentes tipos de açúcares apresentaram níveis não detectáveis de P (AZLAN, 2020). Limita-se a 4 mg/dia a ingestão de P para homens e mulheres adultos segundo o disposto pela DRI (DRI, 2001).

No organismo humano, o P é importante para a saúde óssea. Carnes, grãos e laticínios são as principais fontes de P. O excesso de P pode ocasionar fraqueza óssea; calcificação dos tecidos; inapetência e alterações renais (TAKEDA, 2014). A deficiência de P está associada a dores nos ossos e articulações; fadiga; perda de peso, fraqueza muscular e está associada à deficiência de K (BLASER, 2021).

5.2.15 Chumbo (Pb)

Os resultados para o teor de Pb nas amostras apresentaram variações nas regiões Sul $(0.01\pm0.006-0.04\pm0.002~mg/80g)$, Sudeste $(0.03\pm0.003-0.18\pm0.15~mg/80g)$, Centro-Oeste $(0.01\pm0.007-0.05\pm0.002~mg/80g)$, Norte $(0.02\pm0.007-0.05\pm0.002~mg/80g)$ e Nordeste $(0.03\pm0.002-0.04\pm0.01~mg/80g)$.

Em amostras brasileiras de AM, Santos et al. (2018) encontraram concentrações de Pb que variaram de 0,049 a 0,21 mg/kg. No Brasil, o limite máximo tolerável de chumbo em açúcares é 0,10mg/Kg (BRASIL, 2021). Enquanto a FAO/OMS (2011) aponta que o limite de ingestão semanal de Pb é de 0,05 mg/Kg.

Conforme os limites estabelecidos pela FAO, as concentrações de Pb detectadas no presente estudo estão acima do recomendado.

Devido ao Pb não ser um elemento essencial para os seres humanos e a ingestão de altas concentrações pode contribuir para desenvolvimento de câncer, prejudicar os sistemas cardiovascular, nervoso, esquelético, imunológico, renal e na fertilidade (YAN, 2024). Durante a gravidez, o Pb pode prejudicar o crescimento fetal na fase inicial (KUMAR, 2020).

5.2.16 Enxofre (S)

As concentrações de S nos diferentes tipos de açúcares variaram nas regiões Sul $(0.70 \pm 0.02 - 13.3 \pm 1.19 \text{ mg/80g})$; Sudeste $(1.70 \pm 0.08 - 18.9 \pm 5.73 \text{ mg/80g})$; Centro-Oeste $(1.24 \pm 0.02 - 28.9 \pm 0.33 \text{ mg/80g})$; Norte $(1.69 \pm 0.08 - 10.5 \pm 4.08 \text{ mg/80g})$ e Nordeste $(0.98 \pm 0.22 \pm 0.22 \pm 0.27 \text{ mg/80g})$.

Em amostras de açúcares mascavo, as concentrações de S variaram de 665 a 1869 mg/kg e portanto, maiores que nossos achados (ZHU, 2020). Teores maiores também foram identificados em diferentes categorias de alimentos, incluindo o açúcar, onde a concentração de S teve média de 525 mg/kg (PASSAFIUME, 2023). A DRI e a USDA não determinam o limite de ingestão tolerável de S (DRI, 2005; USDA, 2021).

Em alimentos, a presença de S se dá pelo consumo de carnes, peixes, sementes, grãos e laticínios. A deficiência de S pode ter como consequências, dores articulares, vunerabilidade a doenças virais e alterações na pele, unhas e cabelos. O excesso de S ocasiona desconfortos gastrointestinais, diarreia e alterações na função imunológica (PASSAFIUME, 2023; DORDEVIC, 2023).

5.2.17 Selênio (Se)

O teor de Se nas amostras dos diferentes tipos de açúcares apresentou variações nas regiões Sul $(0.05 \pm 0.01 - 0.08 \pm 0.01 \text{ mg/80g})$; Sudeste $(0.07 \pm 0.007 - 0.10 \pm 0.03 \text{ mg/80g})$; Centro-Oeste $(0.05 \pm 0.01 - 0.09 \pm 0.002 \text{ mg/80g})$; Norte $(0.05 \pm 0.005 - 0.09 \pm 0.002 \text{ mg/80g})$ e Nordeste $(0.06 \pm 0.01 - 0.09 \pm 0.01 \text{ mg/80g})$.

Identificou-se uma concentração de 0,02 mg/kg de Se em amostras de AM (AZLAN, 2020). O limite de ingestão de Se para homens e mulheres adultos incluindo

as gestantes não deve ultrapassar 0,4 mg/dia, conforme determinado pela DRI (PADOVANI et al., 2006).

O Se é essencial para o organismo humano, pois tem papel antioxidante, fortalecendo o sistema imunológico, reprodutivo e reduzindo os riscos do desenvolvimento de câncer de mama, próstata e pulmão (TIAN, 2020; KIELISZEK, 2022). Como fontes alimentares de Se destaca-se as castanhas, cereais, carnes, peixes, frutas e vegetais (KIELISZEK, 2019). A deficiência de Se pode estar associada com a osteoperose, alterações cognitivas e cardiológicas (WANG, 2020). Reações adversas pelo excesso de Se podem acarretar em diarreia, vômitos e queda de cabelo (CHEN, 2021).

5.2.18 Silício (Si)

O teor detectável de Si nos diferentes tipos de açúcares analisados variou de $0.16\pm0.06-9.19\pm0.40$ mg/80g na Região Sul, com AC desta região sendo < LOD. Na Região Sudeste, o teor variou de $0.10\pm0.02-5.30\pm2.57$ mg/80g. Na Região Centro-Oeste, as concentrações detectadas foram de $0.005\pm0.006\pm0.69-7.78\pm0.06$ mg/80g, com GS tendo concentração < LOD. Concentrações de $0.13\pm0.132-3.06\pm0.16$ mg/80g foram encontradas em amostras da Região Norte. Na Região Nordeste, a variação foi de $0.70\pm0.58-3.20\pm0.07$ mg/80g, com o açúcar refinado apresentando concentração < LOD.

Foi identificado concentrações de Si que variaram de 19 a 155 mg/kg, que estiveram dentro da faixa de concentração encontrado no presente estudo (ZHU, 2020). Em amostras de AM e açúcar de coco, as concentrações foram de 14,9 mg e 126,8 a 158,7mg/kg, respectivamente e no açúcar branco não foram detectados níveis de Si (OKOMA et al., 2020). No entanto, sugere-se uma ingestão de 10 a 25 mg de Si é de (DRI, 2001; PRUKSA, 2014; MEDEIROS, 2020).

O Si está presente no organismo humano nas unhas, cabelos e um componente importante na produção de colágeno e tecido conjuntivo. As plantas são as principais fontes de Si. A deficiência de Si impede o crescimento e desenvolvimento de tecidos, incluindo a perda da elasticidade da parede dos vasos sanguíneos. São limitados os estudos que demonstram efeitos adversos acerca do excesso de Si. (MEDEIROS, 2020).

5.2.19 Estrôncio (Sr)

As concentrações de Sr na Região Sul foram de 0.06 ± 0.01 mg/80g para AM e 0.003 ± 0.001 mg/80g para AD; os demais tipos apresentaram concentrações <LOD. No Sudeste, as variações de concentração foram de 0.01 ± 0.001 a 0.36 ± 0.13 mg/80g e < LOD para AC. No Centro-Oeste, a concentração de Sr foi de 0.11 ± 0.001 mg/kg para AM, os demais tipos apresentaram concentrações < LOD. Na Região Norte, o AM apresentou concentração de 0.05 ± 0.01 mg/80g e o AD 0.03 ± 0.003 mg/80g, os demais tipos foram < LOD, e na Região Nordeste a variação ocorreu de 0.02 ± 0.002 a 0.35 ± 0.02 mg/80g e < LOD para o AR.

A presença de Sr nos alimentos é devido a contaminação da água que é transferida aos alimentos durante a preparação. Além disso, o Sr pode ser encontrado em solos e no ar. Sendo um elemento tóxico, o Sr atua principalmente no sistema ósseo, pois tem a capacidade de substituir o cálcio nos ossos reduzindo sua densidade, o risco torna-se aumentado quando o consumo e a absorção de Ca na dieta estão diminuídos (MELNYK, 2019).

5.2.20 Vanádio (V)

O teor de V foi de 0.07 ± 0.01 mg/80g em AM e 0.01 ± 0.003 mg/80g em AD na Região Sul; os demais tipos nessa Região foram < LOD. Na Região Sudeste, as concentrações de V em AM e AD foram de 0.04 ± 0.004 e 0.003 ± 0.002 mg/80g, respectivamente, e < LOD nos demais tipos. O Centro-Oeste demonstrou variações de 0.002 ± 0.001 a 0.13 ± 0.001 mg/80g e < LOD para AC. O Norte obteve teor de V de 0.02 ± 0.002 mg/80g para BS e 0.01 ± 0.004 mg/80g para AD; AC e AR apresentaram teores < LOD. Na Região Nordeste, houve concentração de 0.01 ± 0.002 e 0.01 ± 0.003 mg/80g para os açúcares AM e AD, respectivamente; os demais tipos apresentaram concentrações < LOD.

Na literatura, não constam estudos que abordem a concentração de V em diferentes tipos de açúcares. O limite tolerável para a ingestão de V segundo a DRI é de 1,8 mg/dia para homens e mulheres adultos (DRI, 2001). Comparando esta recomendação com os nossos resultados, observa-se que as concentrações de V estão dentro do limite tolerável.

O V no organismo humano tem a capacidade de regular a glicemia em pacientes diabéticos (JAKUSCH, 2017), além de ter ação contra a osteoporose (FENG, 2023) e câncer (KIOSEOGLOU, 2015). Nos alimentos o V está presente em frutos do mar e vegetais devido a contaminação da água e solo (YU, 2019). A suplementação pode ser utilizada em benefício à saúde (HASHMI, 2023). A deficiência nutricional é rara. Em excesso pode causar danos neurológicos, renais, ósseos, hepaticos (YU, 2019).

5.2.21 Zinco (Zn)

A detecção de Zn apresentou variações de $0.01 \pm 0.01 - 0.23 \pm 0.01$ mg/80g; $0.01 \pm 0.01 - 0.20 \pm 0.04$ mg/80g; $0.05 \pm 0.02 - 0.37 \pm 0.01$ mg/80g e < LOD para AC; $0.008 \pm 0.007 - 0.23 \pm 0.01$ mg/80g e $0.005 \pm 0.001 - 0.22 \pm 0.01$ mg/80g nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, respectivamente.

Amostras de rapadura apresentaram concentrações de Zn que variaram de 3,7 a 5,4 mg/kg (GUERRA, MUJICA, 2010). Em diferentes amostras de açúcares mascavo e branco não foram detectados níveis de Zn (LEE, 2018; OKOMA, 2020). Em contrapartida, Santos et al. (2019) encontraram níves de Zn que variaram de 4,4 a 18,3 mg/kg em amostras de AM. Açúcares não refinados provenientes de Regiões do Sudeste Asiático apresentaram níveis de Zn qe variaram de 3,4 a 65,3 mg/kg (AYUSTANINGWARNO, 2023). É de 40 mg/dia a ingestão máxima indicada pela DRI para homens e mulheres adultos (DRI, 2001).

Na saúde humana, o Zn é essencial nas funções fisiológicas. Nos alimentos, o Zn está presente principalmente nas carnes, peixes, grãos integrais e sementes. A deficiência de Zn afeta o sistema imunológico, compromete o crescimento e desenvolvimentos de crianças e altera o equilíbro da insulina e das respostas inflamatória do diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares. A toxicidade por Zn pode causar náuseas, vômitos, diarreia, tontura, anemia, desconforto gástrico, febre e alterações no sistema nervoso central. Além disso, o excesso de Zn pode interferir na absorção de Fe e Cu (SHOKUNBI, 2019; POMPANO, 2021).

O conteúdo elementar e as características físico-químicas, poderá depender de cada processo que envolve a cadeia produtiva do açúcar, desde a colheita da matéria-prima, variedade de cana-de-açúcar, o tipo de tecnologia empregada no processo de

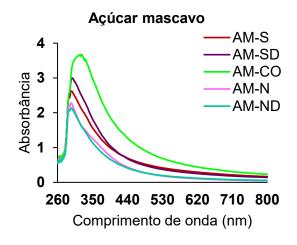
produção até o momento da comercialização do produto final (RODRIGUÉZ, 2018; VELÁSQUES, 2019). Por esta razão, torna-se necessária uma maior preocupação com as condições de produção, para que se possa oferecer um produto com qualidade e segurança alimentar. Além disso, a variação nas concentrações entre os minerais é provavelmente resultado da variação de seus teores no caldo de cana, que é afetado por diferentes fatores agroecológicos e técnicas de processamento (EGGLESTON, 2021).

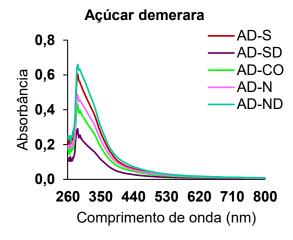
5.3 Técnicas espectroscópicas

5.3.1 Dados da análise de espectroscopia por UV-VIS

Os resultados da análise de espectroscopia UV-VIS dos diferentes tipos de açúcares demonstrados por Regiões Brasileiras estão representados pelo Gráfico 5.

O Gráfico 5 mostra os resultados da análise de espectroscopia UV–VIS dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.





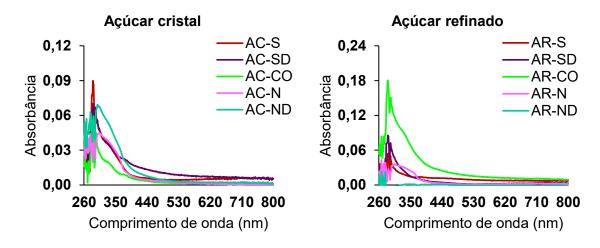


Gráfico 5. Análise por espectroscopia ultravioleta-visível dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.

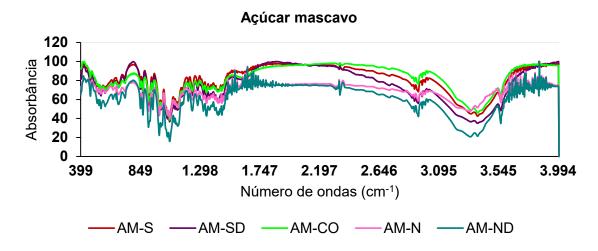
Os perfis espectrais UV-VIS identificados nos diferentes tipos de açúcares permitiram detectar comprimentos de onda que estão associados a presença de glicose, frutose e sacarose. Na faixa de comprimentos de onda de 260 a 360 pode-se observar os picos referentes a composição dos açúcares. Comprimentos semelhantes foram encontrados no estudo de Kaijanen et al. (2015) em que o UV-VIS foi utilizado para interpretar os perfis de carboidratos. Assim, os autores identificaram que o espectro UV da glicose confirma que a absorbância está próxima do máximo em 270 nm, a sacarose apresenta absorbância ligeiramente maior em comparação à glicose corroborando com nossos achados. Ainda, de acordo com a literatura, a absorbância ideal de detecção da glicose e sacarose está de 260 a 270 nm (SARAZIN, 2012; KAIJANEN, 2015).

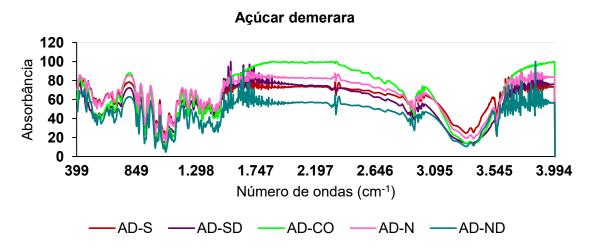
O AM apresentou discrepâncias maiores no espectros em relação aos demais tipos de açúcares, isso pode ser justificado devido a presença de compostos bioativos presentes no AM. Em amostras de méis de diferentes Regiões, os espectros de 260 a 360 foram associados à presença de compostos fenólicos e flavonoides (NUNES et al., 2022). As diferenças entre os espectros identificados e os encontrados na literatura podem ocorrer devido as condições de laboratório ou do modo como o método foi realizado (KAIJANEN, 2015). Outros autores, observaram que o sinal de detecção de glicose muda conforme a banda composta passa pela janela de detecção. Além disso, a mudança no tamanho do pico entre repetições provavelmente indica a alteração da glicose pela reação fotoquímica e a presença de oxigênio ou CO₂ também podem afetar o tamanho do pico (SARAZIN, 2012; OLIVER, 2013).

Nossos resultados permitem explicar que os diferentes tipos de açúcares analisados apresentaram-se com perfis característicos conforme cada tipo. Isso mostra, que as semelhanças na composição química dos açúcares analisados neste estudo não estão associados à possíveis adulterações, o que fortalece o intuito de que este estudo seja utilizado como base na identificação da autenticidade dos açúcares de maneira rápida e acessível.

5.2.2 Análise de espectroscopia por infravermelho

Os resultados da análise de espectroscopia por infravermelho dos diferentes tipos de açúcares conforme cada região brasileira no Gráfico 6.





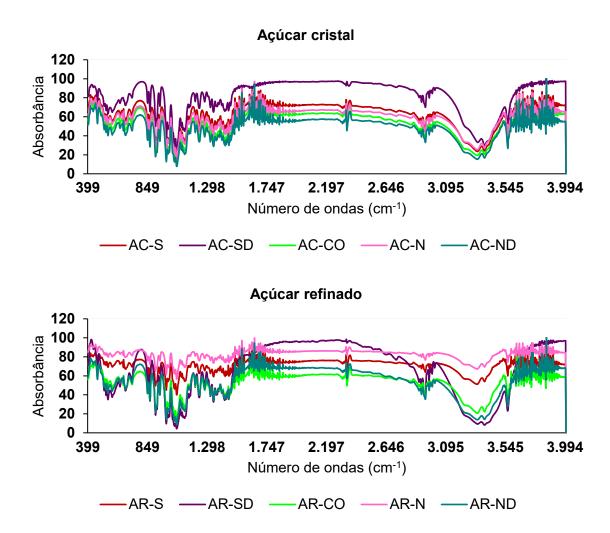


Gráfico 6. Análise por espectroscopia de infravermelho dos diferentes tipos de açúcares comparados entre si.

O método de espectrometria infravermelha com transformada de Fourier é utilizado para detecção de adulteração de alimentos, principalmente os que possuem valores de aquisição mais elevados, pois estão mais susceptíveis à adulteração para maiores lucros (WANG, 2010). Neste ponto, ressalta-se que os principais açúcares passíveis de adulterações são o açúcar mascavo (CHEN, 2021) e o açúcar de coco (ROGERS, 2021). Segundo a literatura, considera-se como um alimento autêntico, aquele que possui o rótulo com os dados corretos do produto; que o produto esteja em conformidade com as características descritas no rótulo, de modo, que ofereça qualidade e segurança alimentar tanto para os produtores, quanto aos consumidores (ESTEKI, 2017).

Neste estudo, observou-se que os resultados encontrados na literatura confirmam que os espectros identificados nos diferentes tipos de açúcares das cinco

regiões brasileiras que estão na faixa de 900 a 1500 cm⁻¹ estão representando, a sacarose, frutose e glicose. Nossos achados, são semelhantes ao encontrado por Wang et al. (2010) que identificaram as faixas de absorção dos espectros de sacarose que incluem 928, 1007, 1054, 1123, 1362 e 1427 cm⁻¹ com picos principais de 994 e 1049 cm⁻¹. Além disso, o espectro em 918 cm⁻¹ corresponde à curvatura C–H do carboidrato (ANJOS, 2015).

Ao adulterar o leite pasteurizado com sacarose Chu et al. (2024), identificaram qua a absorção de sacarose esteve na faixa de 1141 a 972 cm⁻¹, corroborando também com nossos resultados. Teklemariam et al. (2024) ao adulterarem uma água de coco orgânica com diferentes tipos de açúcares e adoçantes, identificaram que os espectros de sacarose estiveram na faixa de 1140, 1055 e 998 cm⁻¹. As faixas de absorção de frutose incluem 923, 978, 1067, 1250, 1346 e 1418 cm⁻¹. Os principais espectros de frutose identificados na água de coco adulterada demostrou estarem nas faixa de 964, 980, 1064, 1183 cm⁻¹ (TEKLEMARIAM, 2024).

Os picos de glicose incluem as faixas 902, 1.036, 1.360 e 1.431 cm⁻¹ com um pico principal em 1.032cm⁻¹ (WANG, 2010). Na água de coco adulterada, os espectros se apresentaram na faixa de 991, 1034, 1138 e 1156 cm⁻¹. Os picos em 1043 cm⁻¹ e 1254 cm⁻¹ correspondem ainda ao estiramento C–O no grupo C–OH, bem como ao estiramento C–C na estrutura do carboidrato (ANJOS, 2015). No presente estudo, o comportamento dos espectros nessas faixas se repete ao longo de todas a regiões brasileiras.

Além disso, os espectros nos picos que estão na faixa de 3.000 a 3.500 cm⁻¹ podem ser devido a presença de água, conforme demonstrado nos espectros do mel, que na faixa de 3284 cm⁻¹ apresentou uma banda de água (ANJOS, 2015). Verificouse ainda que quando compara-se os mesmos tipos de açúcar das diferentes regiões, temos espectros de absorbância idênticos, corrroborando a identidade de cada produto.

Sendo assim, ambas as comparações, permitem que o presente estudo seja utilizado como modelo padrão para que estudos futuros possam identificar possíveis adulterações e alterações na composição dos açúcares. Da mesma forma que Li et al. (2021) utilizaram Ultra performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight Mass Spectrometry (UPLC-QTof-MS), com o intuito de desenvolver um método que auxilie no rastreamento geográfico e na autenticidade do açúcar refinado

proveniente da cana-de-açúcar e da beterraba, nossos achados poderão ser a base de um banco de dados das características de identidade dos diferentes tipos de açúcares para a comparação com futuros estudos.

6. CONCLUSÃO

Os percentuais de umidade, cinzas e carboidratos redutores variaram entre as amostras analisadas e não apresentaram padronização entre as regiões brasileiras. Além disso, os carboidratos não redutores não atenderam aos critérios de qualidade padrão em diversas amostras e regiões. Considerando a ingestão típica de açúcar, é improvável que um ser humano adulto sofra toxicidade ou intoxicação pelo teor de metais nesses produtos. Em relação aos parâmetros espectrométricos de UV-VIS e FTIR, foram observadas similaridades entre os tipos de açúcar e as regiões, confirmando sua composição química.

Diferentes tipos de açúcares exigem padrões físico-químicos estabelecidos para melhor caracterizar o produto, garantindo os parâmetros desejados de autenticidade, qualidade físico-química e nutricional. No entanto, a legislação brasileira não estabelece um padrão para açúcares redutores em açúcares sólidos, e essa falta de regulamentação pode impactar a qualidade dos açúcares vendidos no Brasil. O teor de carboidratos não redutores atingiu o percentual mínimo estabelecido. Em contraste, as metas percentuais para essas substâncias não foram atendidas para BS nas regiões S, SE e CO, para AD nas regiões SE e CO, para AC nas regiões S, SE e CO, e para AR nas regiões S, SE e CO. Este fato contribui para a comercialização de açúcares não padronizados e torna a regulamentação e o controle do açúcar essenciais para garantir a qualidade e a autenticidade do produto.

As similaridades na composição química dos açúcares analisados não estão associadas à adulteração e reforçam que este estudo serve como base para identificar a autenticidade dos açúcares. Portanto, este estudo preenche uma lacuna no conhecimento sobre a caracterização e composição elementar dos açúcares mais consumidos no mundo e pode também beneficiar produtores, pesquisadores e consumidores no que se refere à segurança alimentar, controle de qualidade, padronização, autenticidade, e prevenção de fraudes no açúcar. Pesquisas adicionais são necessárias para ampliar a caracterização e identidade dos açúcares, verificar adulterações e relacionar seu consumo com produtos ultraprocessados ricos em

açúcar adicionado, avaliando os riscos à saúde devido ao consumo concomitante desses produtos pela população. Portanto, sugerimos que os dados aqui apresentados sirvam de base para um modelo padrão para estudos futuros que visem identificar possíveis adulterações e alterações na composição do açúcar. Nossos achados podem formar a base de um banco de dados das características de identidade de diferentes tipos de açúcares para comparação com outros estudos.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for aluminum**. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA, 2008. https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf.

AGRAWAL, D.; KUMAR, V. Recent progress on sugarcane-bagasse based lactic acid production: Technical advancements, potential and limitations. **Industrial Crops and Products**, v. 193, 116132, 2023. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116132.

ALHABDAN, Y. A.; ALBESHR, A. G.; YENUGADHATI, N.; JRADI, H. Prevalence of dental caries and associated factors among primary school children: a population-based cross-sectional study in Riyadh, Saudi Arabia. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 23, n. 1, p. 60, 2018. https://doi.org/10.1186/s12199-018-0750-z.

ALI, T. E. M.; BADRAN, K. S. A.; BARAKA, M. A.; ALTHAGAFY, H. S.; HASSANEIN, E. H. M. Mechanism and impact of heavy metal-aluminum (Al) toxicity on male reproduction: Therapeutic approaches with some phytochemicals. **Life Sciences**, v. 340, 122461, 2024. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2024.122461.

ALVES, V.; SANTOS, J. M.; PINTO, E.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; LIMA, V. A.; FELSNER, M. L. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification. **Microchemical Journal**, v. 196, 109604, 2024. https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109604.

ANDRADE, L. A.; MEDEIROS, S. D. S.; BORGES, M. T. M. R. Evaluation of the physicochemical characteristics of brown sugar with added very high polarization raw sugar. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, e2017199, 2018. https://doi.org/10.1590/1981-6723.19917.

ANJOS, O.; CAMPOS, M. G.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P. Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. **Food Chemistry**, v. 169, 218-223, 2015. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.138.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**: Method 958.06. 14th Edition, Arlington, Virgínia. AOAC, , chapter 39, p. 21, 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist**: Method 982.14. 19th Edition, Washington, DC. AOAC, 2012.

ARAÚJO, E. R.; BORGES, M. T. M. R.; CECCATO-ANTONINI, S. R. VERRUMA-BERNARDI, M. R. Qualidade de açúcares mascavo produzidos em um assentamento da reforma agrária. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 617-621, out./dez. 2011. https://www.researchgate.net/publication/277796579.

- ASBAGHI, O.; NAEINI, F.; ASHTARY-LARKY, D.; KAVIANI, M.; KELISHADI, M. R.; ESLAMPOUR, E.; MORADI, S.; MIRZADEH, E.; CLARK, C. C. T.; NAEINI, A. A. Effects of chromium supplementation on blood pressure, body mass index, liver function enzymes and malondialdehyde in patients with type 2 diabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 60, 102755, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ctim.2021.102755.
- ASIKIN, Y.; HIROSE, N.; TAMAKI, H.; ITO, S.; OKU, H.; WADA, K. Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of noncentrifugal cane brown sugar. **LWT Food Science and Technology**, v. 66, p. 340-347, 2016. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.039.
- AYUSTANINGWARNO, F.; ASIKIN, Y.; AMANO, R.; VU, N. T.; HAJAR-AZHARI, S.; ANJANI, G.; TAKARA, K.; WADA, K. Composition of minerals and volatile organic components of non-centrifugal cane sugars from Japan and ASEAN countries. **Foods**, v. 12, n. 7, 1406, 2023. https://doi.org/10.3390/foods12071406.
- AZLAN, A.; KHOO, H. E.; SAJAK, A. A. B.; KADIR, N. A. A. A.; YUSOF, B. N. M.; MAHMOOD, Z.; SULTANA, S. Antioxidant activity, nutritional and physicochemical characteristics, and toxicity of minimally refined brown sugar and other sugars. **Food Science and Nutrition**, v. 8, n. 9, p. 5048–5062, 2020. https://doi.org/10.1002/fsn3.1803.
- BABU, K. S. D.; JANAKIRAMAN, V.; PALANISWAMY, H.; KASIRAJAN, L.; GOMATHI, R.; RAMKUMAR, T. R. A short review on sugarcane: its domestication, molecular manipulations and future perspectives. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 8, p. 2623-2643, 2022. https://doi.org/10.1007/s10722-022-01430-6.
- BACHMANN, R.; HORNS, A. L.; PAASCH, N.; SCHRIECK, R.; WEIDNER, M.; FRANSSON, I.; SCHROR, J. Minor metabolites as chemical marker for the differentiation of cane, beet and coconut blossom sugar. From profiling towards identification of adulterations. **Food Control**, v. 135, 108832, 2022. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108832.
- 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**, Campina Grande, v.16, n.2, p.155-162, 2014. https://doi.org/10.15871/15178595/rbpa.v16n2p155-162.
- BLASER, A. R.; GUNST, J.; ICHAI, C.; CASAER, M. P.; BENSTOEM, C.; BESCH, G.; DAUGER, S.; FRUHWALD, S. M.; HIESMAYR, M.; JOANNES-BOYAU, O.; MALBRAIN, M. L. N. G.; PEREZ, M. H.; SCHALLER, S. J.; MAN, A.; STARKOPF, J.; TAMME, K.; WERNERMAN, J.; BERGER, M. M. Hypophosphatemia in critically ill adults and children A systematic review. **Clinical Nutrition**, v. 40, n. 4, p. 1744-1754, 2021. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.09.045.

BOWMAN, S. A. Added sugars: Definition and estimation in the USDA Food Patterns Equivalents Databases. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 64, p. 64-67, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.013.

BOWMAN, S. A.; CLEMENS, J. C.; FRIDAY, J. E.; MOSHFEGH, A. J. Food Patterns Equivalent Intakes from Food: Mean Amounts Consumed per Individual, What We Eat In America, NHANES 2017-2018, Tables 1-4. Worldwide Web Site: **Food Surveys Research Group**, 2020.

https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=379583.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (1985). **Portaria nº 6, de 25 de Julho de 1985**. Normas Higiênico-Sanitárias e Tecnológicas para Mel, Cera de Abelhas e Derivados. Diário Oficial da União. https://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/portaria-6-de-1985-mel.pdf.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 47, de 30 de Agosto de 2018**. Estabelece o Regulamento Técnico do Açúcar. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, Edição 173, p. 12-15, 2018.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020). **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018**. Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil. Coordenação de Trabalho e Rendimento. 120 p. https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101742.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Instrução Normativa - nº 88, de 26 de Março de 2021**. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. https://antigo.anvisa.gov.br.

CASALE, M.; OLIVERI, P.; ARMANINO, C.; LANTERI, S.; FORINA, M. NIR and UV–vis spectroscopy, artificial nose and tongue: Comparison of four fingerprinting techniques for the characterisation of Italian red wines. **Analytica Chimica Acta**, v. 668, n. 2, p. 143-148, 2010. https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.04.021.

CHARTRAND, M. M. G.; MESTER, Z. Carbon isotope measurements of foods containing sugar: A survey. **Food Chemistry**, v. 300, 125106, 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125106.

CHE, J.; YANG, J.; ZHAO, B.; ZHANG, G.; WANG, L.; PENG, S.; SHANG, P. The effect of abnormal iron metabolism on osteoporosis. **Biological Trace Element Research**, v. 195, p. 353-365, 2020. https://doi.org/10.1007/s12011-019-01867-4.

CHEN, F.; MA, J.; AKHTAR, S.; KHAN, Z. I.; AHMAD, K.; ASHFAQ, A.; NAWAZ, H.; NADEEM, M. Assessment of chromium toxicity and potential health implications of agriculturally diversely irrigated food crops in the semi-arid regions of South Asia. **Agricultural Water Management**, v. 272, 107833, 2022. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107833.

- CHEN, J.; CHEN, X.; LIN, Y.; YEN, G.; LI, J. Authentication of dark brown sugars from different processing using three-dimensional fluorescence spectroscopy. **LWT Food Science and Technology**, v. 150, 111959, 2021. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111959.
- CHEN, N.; ZHAO, C.; ZHANG, T. Selenium transformation and selenium-rich foods. **Food Bioscience**, v. 40, 100875, 2021. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100875.
- CHOI, S.; BONG, Y.; PARK, J. H.; LEE, K. Geographical origin identification of garlic cultivated in Korea using isotopic and multi-elemental analyses. **Food Control**, v. 111, 107064, 2020. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107064.
- CHU, C.; WANG, H.; LUO, X.; FAN, Y.; NAN, L.; DU, C.; GAO, D.; WEN, P.; WANG, D.; YANG, Z.; YANG, G.; LIU, L.; LI, Y.; HU, B.; ZUNONGJIANG, A.; ZHANG, S. Rapid detection and quantification of melamine, urea, sucrose, water, and milk powder adulteration in pasteurized milk using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled with modern statistical machine learning algorithms. **Heliyon**, v. 10, n. 12, e32720, 2024. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32720.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Brasília. 2024. https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana.
- DONEDA, R. R.; ANDRIOLLI, C. R.; LEITE, O. D.; DRUNKLER, D. A. Influence of conventional and organic farming systems on brown sugar quality. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 44, n. 2, p. 781-802, 2023. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p781.
- DORDEVIC, D.; CAPIKOVA, J.; DORDEVIC, S.; TREMLOVÁ, B.; GAJDÁCS, M.; KUSHKEVYCH, I. Sulfur content in foods and beverages and its role in human and animal metabolism: A scoping review of recent studies. **Heliyon**, v. 9, n. 4, e15452, 2023. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15452.
- DU, L. New insights into raw milk adulterated with milk powder identification: ATR-FTIR spectroscopic fingerprints combined with machine learning and feature selection approaches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 133, 106443, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106443.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. **EFSA Journal**, v. 13, n. 5, 4101, 2015. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4101.
- EGGLESTON, G.; AITA, G. M.; TRIPLETT, A. Circular sustainability of sugarcane: Natural, nutritious, and functional unrefined sweeteners that meet new consumer demands. **Sugar Tech**, v. 23, n. 5, p. 964-973, 2021. https://doi.org/10.1007/s12355-021-00994-4.

- ENDY, E. J.; YI, S.; STEFFEN, B. T.; SHIKANY, J. M.; JACOBS Jr, D. R.; GOINS, R. K.; STEFFEN, L.M. Added sugar intake is associated with weight gain and risk of developing obesity over 30 years: The CARDIA study. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 34, n. 2, p. 466-474, 2024. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.10.022.
- ESTEKI, M.; FARAJMAND, B.; KOLAHDERAZI, Y.; SIMAL-GANDARA, J. Chromatographic fingerprinting with multivariate data analysis for detection and quantification of apricot kernel in almond powder. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 10, p. 3312-3320, 2017. https://doi.org/10.1007/s12161-017-0903-5.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/WORLD HEALTH ORGANIZATION FAO/OMS. **Evaluation of certain food additives and contaminants:** seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva, Switzerland. p. 149-162, 2011. https://www.who.int/publications/i/item/9789241209601.
- FARINELLI, M. M. R.; TOMAS MELO, C. M. Avaliação da qualidade físico-química de três marcas de açúcar do tipo cristal. **Revista Inova Ciência e Tecnologia/Innovative Science and Technology Journal**, v. 7, e0211043, 2021. https://doi.org/10.46921/rict2021-1143.
- FATEMA, K.; SHOILY, S. S.; AHSAN, T.; HAIDAR, Z.; SUMIT, A. F.; SAJIB, A. A. Effects of arsenic and heavy metals on metabolic pathways in cells of human origin: Similarities and differences. **Toxicology Reports**, v. 8, p. 1109-1120, 2021. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.05.015.
- FENG, X.; ZAN, G.; WEI, Y.; GE, X.; CAI, H.; LONG, T.; XIE, L.; TONG, L.; LIU, C.; LI, L.; HUANG, L.; WANG, F.; CHEN, X.; ZHANG, H.; ZOU, Y.; ZHANG, Z.; YANG, X. Relationship of multiple metals mixture and osteoporosis in older Chinese women: An aging and longevity study. **Environmental Pollution**, v. 317, 120699, 2023. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120699.
- FU, J.; ZHANG, A.; WANG, T.; QU, G.; SHAO, J.; YUAN, B.; WANG, Y.; JIANG, G. Influence of E-waste dismantling and its regulations: temporal trend, spatial distribution of heavy metals in rice grains, and its potential health risk.

 Environmental Science Technology, v. 47, n. 13, p. 7437–7445, 2013. https://doi.org/10.1021/es304903b.
- GANHOR, C.; REZK, M.; DOPPLER, C.; RUTHMEIER, T.; WECHSELBERGER, C.; MÜLLER, M.; KOTNIK, M.; PUH, S.; MESSNER, B.; BERNHARD, D. Aluminum, a colorful gamechanger: Uptake of an aluminum-containing food color in human cells and its implications for human health. **Food Chemistry**, v. 442, 138404, 2024. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138404.

- GONZÁLEZ-WELLER, D.; RUBIO, C.; GUTIÉRREZ, A. J.; GONZÁLEZ, G. L.; MESA, J. M. C.; GIRONÉS, C. R.; OJEDA, A. B.; HARDISSON, A. Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain). **Food and Chemical Toxicology**, v. 62, p. 856-868, 2013. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.026.
- GUELLIS, C.; VALÉRIO, D. C.; BESSEGATO, G. G.; BOROSKI, M.; DRAGUNSKI, J. C.; LINDINO, C. A. Non-targeted method to detect honey adulteration: Combination of electrochemical and spectrophotometric responses with principal component analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 89, 103466, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103466.
- GUERRA, M. J.; MUJICA, M. V. Physical and chemical properties of granulated cane sugar "panelas". **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 250-257, 2010. https://doi.org/10.1590/S010120612010005000012.
- HASHMI, K.; SATYA, GUPTA, S.; SIDDIQUE, A.; KHAN, T.; JOSHI, S. Medicinal applications of vanadium complexes with Schiff bases. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 79, 127245, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127245.
- HEGAZI, N. M.; KHATTAB, A. R.; FROLOV, A.; WESSJOHANN, L. A.; FARAG, M. A. Authentication of saffron spice accessions from its common substitutes via a multiplex approach of UV/VIS fingerprints and UPLC/MS using molecular networking and chemometrics. **Food Chemistry**, v. 367, 130739, 2022. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130739.
- INAN-EROGLU, E.; AYAZ, A. Is aluminum exposure a risk factor for neurological disorders?. **Journal of Research in Medical Sciences**, v. 23, n. 51, 2018. https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_921_17.
- INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academy Press, 2001. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/.
- INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate.** Washington (DC): National Academy Press, 2005. https://doi.org/10.17226/10925.
- IQBAL, M.; QAMAR, M. A.; BOKHARI, T. H.; ABBAS, M.; HUSSAIN, F.; MASOOD, N.; KESHAVARZI, A.; QURESHI, N.; NAZIR, A. Total phenolic, chromium contents and antioxidant activity of raw and processed sugars. **Information Processing Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 83–89, 2017. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.11.002.
- INTERNATION UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Glossary of class names of polymers based on chemical structure and molecular architecture (IUPAC Recommendations 2009). **Pure and Applied Chemistry**, v. 81, n. 6, p. 1131-1186, 2009. https://doi.org/10.1351/PAC-REC-08-01-30.

JAFFÉ, W. R. Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: A compilation of the data from the analytical literature. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 43, p. 194–202, 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.06.007.

JAKUSCH, T.; KISS, T. In vitro study of the antidiabetic behavior of vanadium compounds. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 351, p. 118-126, 2017. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.04.007.

JYOTHI, N. R. Heavy Metal Sources and Their Effects on Human Health. Heavy Metals - **Their Environmental Impacts and Mitigation**, 2020. https://doi.org/10.5772/intechopen.95370.

KAIJANEN, L.; PAAKKUNAINEN, M.; PIETARINEN, S.; JERNSTRÖM, E.; REINIKAINEN, S. Ultraviolet detection of monosaccharides: Multiple wavelength strategy to evaluate results after capillary zone electrophoretic separation. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 10, n. 4, p. 2950-2961, 2015. https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)06510-0.

KARGARGHOMSHEH, P.; TOORYAN, F.; SHARIFARAB, G.; MOAZZEN, M.; SHARIATIFAR, N.; ARABAMERI, M. Evaluation of Trace Elements in Coffee and Mixed Coffee Samples Using ICP-OES Method. **Biological Trace Element Research**, v. 202, n. 5, p. 2338-2346, 2024. https://doi.org/10.1007/s12011-023-03795-w.

KAUR, R.; RAWAL, R. Influence of heavy metal exposure on gut microbiota: Recent advances. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, v. 37, n. 12, e23485, 2023. https://doi.org/10.1002/jbt.23485.

KIELISZEK, M. Selenium–fascinating microelement, properties and sources in food. **Molecules**, v. 24, n. 7, 1298, 2019. https://doi.org/10.3390/molecules24071298.

KIELISZEK, M.; BANO, I. Selenium as an important factor in various disease states - A review. **EXCLI Journal Experimental and Clinical Sciences**, v. 21, p. 948-966, 2022.

https://dx.doi.org/10.17179/excli2022-5137.

KIOSEOGLOU, E.; PETANIDIS, S.; GABRIEL, C.; SALIFOGLOU, A. The chemistry and biology of vanadium compounds in cancer therapeutics. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 301-302, p. 87-105, 2015.

https://doi.org/10.1016/j.ccr.2015.03.010.

KLEIN, G. L. Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect?. **Osteoporosis and Sarcopenia**, v. 5, n. 1, p. 2-5, 2019. https://doi.org/10.1016/j.afos.2019.01.001.

KLEVAY, L. M. Is the Western diet adequate in copper?. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 25, n. 4, p. 204-212, 2011. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2011.08.146.

- KRITTANAWONG, C.; QADEER, Y. K.; WANG, Z.; NADOLSKY, K.; VIRANI, S.; LAVIE, C. J. Sugar-Sweetened and Artificially Sweetened Beverages Consumption and Risk of Cardiovascular Health. **The American Journal of Medicine**, v. 136, n. 2, p. 163-171, 2023. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2022.10.003.
- KUCHARSKA-AMBROŻEJ, K.; KARPINSKA, J. The application of spectroscopic techniques in combination with chemometrics for detection adulteration of some herbs and spices. **Microchemical Journal**, v. 153, 104278, 2020. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104278.
- KUMAR, A.; KUMAR, A.; CABRAL-PINTO, M. M. S.; CHATURVEDI, A. K.; SHABNAM, A. A.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; KUMAR, G. D.; MALYAN, S. K.; KUMAR, S. S.; KHAN, S. A.; YADAV, K. K. Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, 2179, 2020. https://doi.org/10.3390/ijerph17072179.
- KURIAKOSE, A. A.; PAUL, A. S.; NAIR, S. K. Detecting adulteration of honey with sugar syrup using EPR spectroscopy: A feasibility study. **Materials Today: Proceedings**, 2023. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.11.029.
- LEAN, M. E. J.; MORENGA, L. T. Sugar and type 2 diabetes. **British Medical Bulletin**, v. 120, n. 1, p. 43-53, 2016. https://doi.org/10.1093/bmb/ldw037.
- LEE, J. S.; RAMALINGAM, S.; JO, O. G.; KWON, Y. S.; BAHUGUNA, A.; OH, J. S.; JUN, K. O.; KIM, M. Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. **Food Research International**, v. 109, p. 614-625, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.047.
- LI, H.; FAGERBERG, B.; SALLSTEN, G.; BORNÉ, Y.; HEDBLAD, B.; ENGSTRÖM, G.; BARREGARD, L.; ANDERSSON, E. M. Smoking-induced risk of future cardiovascular disease is partly mediated by cadmium in tobacco: Malmö diet and cancer cohort study. **Environmental Health**, v. 18, n. 1, p. 56, 2019. https://doi.org/10.1186/s12940-019-0495-1.
- LI, S.; YU, X.; ZHEN, Z.; HUANG, M.; LU, J.; PANG, Y.; WANG, X.; GAO, Y. Geographical origin traceability and identification of refined sugar using UPLC-QTof-MS analysis. **Food Chemistry**, v. 348, 128701, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128701.
- LO, H. W. H.; ZHANG, F.; MAHAJAN, A.; DARLINGTON, G.; DUNCAN, A. M.; HAINES, J.; BUCHHOLZ, A. C.; MA, D. W. L. Dietary intake and food sources of calcium and vitamin D in young children in the Guelph Family Health Study. International Dairy Journal, v. 156, 105980, 2024. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105980.
- LONG, G. L.; WINEFORDNER, J. D. Limit of detection: a closer look at the IUPAC definition. **Analytical Chemistry**, v. 55, n. 7, p. 712-724, 1983. https://doi.org/10.1021/ac00258a724.

- MEDEIROS, T. A.; SUZUKI, V. Y.; LEITE, J. A. T. M.; FERNANDES, P. S.; SANTANA, V. C.; OLIVEIRA, C. R.; NICODEMO, D.; FERREIRA, L. M. Silicon in Food: A Review. **Advances in Nutritional Sciences**, v. 1, n. 1, p. 41-48, 2020. https://doi.org/10.47693/ans.v1i1.7.
- MELNYK, L. J.; DONOHUE, M. J.; PHAM, M.; DONOHUE, J. Absorption of strontium by foods prepared in drinking water. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 53, p. 22-26, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.01.001.
- MTEMI, W. M.; LIU, S.; LIU, K.; WEI, L.; WANG, X.; JIANG, A.; GOODALE, E. Concentrations and biomagnification of multiple metals/metalloids are higher in rice than in sugarcane agroecosystems of southern China. **Ecological Indicators**, v. 150, 110266, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110266.
- NARASAKI, Y.; YOU, A. S.; MALIK, S.; MOORE, L. W.; BROSS, R.; CERVANTES, M. K.; DAZA, A.; KOVESDY, C. P.; NGUYEN, D. V.; KALANTAR-ZADEH, K.; RHEE, C. M. Dietary potassium intake, kidney function, and survival in a nationally representative cohort. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 116, n. 4, p. 1123-1134, 2022. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac215.
- NUNES, A.; AZEVEDO, G. Z.; SANTOS, B. R.; BORGES, C. V.; LIMA, G. P. P.; CROCOLI, L. C.; MOURA, S.; MARASCHIN, M. Characterization of Brazilian floral honey produced in the states of Santa Catarina and São Paulo through ultraviolet—visible (UV—vis), near-infrared (NIR), and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. **Food Research International**, v. 162, 111913, 2022. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111913.
- OGURA, A. P.; SILVA, A. C.; CASTRO, G. B.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, A. L. An overview of the sugarcane expansion in the state of São Paulo (Brazil) over the last two decades and its environmental impacts. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 66-75, 2022. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.010.
- OKOMA, D. M. J.; ASSA, R. R.; KONAN, K. J. L. Mineral composition of table sugars from the sap of the inflorescences of 03 coconut (*Cocos nucifera* L.) cultivars in Ivory Coast. **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences**, v. 11, n. 1, p. 082-090, 2020. https://doi.org/10.24214/jcbps.A.11.1.08290.
- OLIVER, J. D.; GABORIEAU, M.; HILDER, E. F.; CASTIGNOLLES, P. Simple and robust determination of monosaccharides in plant fibers in complex mixtures by capillary electrophoresis and high performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1291, p. 179-186, 2013. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.03.041.
- PADOVANI, R. M.; AMAYA-FARFÁN, J.; COLUGNATI, F. A. B.; DOMENE, S. M. A. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 6, p. 741-760, 2006. https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600010.

- PAN, L.; LU, R.; ZHU, Q.; MCGRATH, J. M.; TU, K. Measurement of moisture, soluble solids, sucrose content and mechanical properties in sugar beet using portable visible and near-infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 102, p. 42-50, 2015. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.005.
- PARDO, M. R.; VILAR, E. G.; MARTÍN, I. S. M.; MARTÍN, M. A. C. Bioavailability of magnesium food supplements: A systematic review. **Nutrition**, v. 89, 111294, 2021. https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111294.
- PASSAFIUME, A.; ROSSETTI, A.; VESCOVI, L.; MALAVOLTI, M.; BARALDI, C.; ROVESTI, S.; VINCETI, M.; FILIPPINI, T. Sulfur content in foods consumed in an Italian population and impact of diet quality on sulfur intake. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 123, 105543, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105543.
- PI, X.; JIN, L.; LI, Z.; LIU, J.; ZHANG, Y.; WANG, L.; REN, A. Association between concentrations of barium and aluminum in placental tissues and risk for orofacial clefts. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 406-412, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.262.
- POMPANO, L. M.; BOY, E. Effects of Dose and Duration of Zinc Interventions on Risk Factors for Type 2 Diabetes and Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 141-160, 2021. https://doi.org/10.1093/advances/nmaa087.
- PRUKSA, S.; SIRIPINYANOND, A.; POWELL, J. J.; JUGDAOHSINGH, R. Silicon balance in human volunteers; a pilot study to establish the variance in silicon excretion versus intake. **Nutrition and Metabolism**, v. 11, n. 4, 2014. http://www.nutritionandmetabolism.com/content/11/1/4.
- REHMAN, K.; FATIMA, F.; WAHEED, I.; AKASH, M. S. H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157-184, 2018. https://doi.org/10.1002/jcb.26234.
- RODRÍGUEZ, J.; VELÁSQUEZ, F.; ESPITIA, J.; ESCOBAR, S.; MENDIETA, O. Thermal performance evaluation of production technologies for non-centrifuged sugar for improvement in energy utilization. **Energy**, v. 152, p. 858-865, 2018. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.127.
- RODUSHKIN, I.; BAXTER, D. C.; ENGSTRÖ, M. E.; HOOGEWERFF, J.; HORN, P.; PAPESCH, W.; WATLING, J.; LATKOCZY, C.; VAN DER PEIJL, G.; BERENDS MONTERO, S.; EHLERINGER, J.; ZDANOWICZ, V. Elemental and isotopic characterization of cane and beet sugars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 70-78, 2011. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.05.005.
- ROGERS, K. M.; PHILLIPS, A.; FITZGERALD, J.; ROGERS, P.; FERGUSON, C.; COOPER, J.; YUAN, Y. Authentication of Indonesian Coconut Sugar Using Stable Carbon Isotopes. **Food Analytical Methods**, v. 14, p. 1250-1255, 2021. https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-021-01967-9.

- ROSS, A. C.; MANSON, J. E.; ABRAMS, S. A.; ALOIA, J. F.; BRANNON, P. M.; CLINTON, S. K.; DURAZO-ARVIZU, R. A.; GALLAGHER, J. C.; GALLO, R. L.; JONES, G.; KOVACS, C. S.; MAYNE, S. T.; ROSEN, C. J.; SHAPSES, S. The 2011 Report on Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D from the Institute of Medicine: What Clinicians Need to Know. **The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, v. 96, n. 1, p. 53-58, 2011. https://doi.org/10.1210/jc.2010-2704.
- SAADI, S.; NACER, N. E.; ARIFFIN, A. A.; GHAZALI, H. M.; ABDULKARIM, S. M.; BOO, H. C.; MISKANDAR, M. S.; SAARI, N.; HAMID, A. A.; ANWAR, F. Discrimination of food adulteration by means of PCR and FTIR. **Food and Humanity**, v. 1, p. 1362-1378, 2023. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.10.008.
- SAMPAIO, M. R. F.; LISBOA, M. T.; TIMM, J. G.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, M. A.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Multielemental determination in sugarcane products from the southern region of Brazil by microwave induced plasma optical emission spectrometry after acid decomposition with a reflux system. **Analytical Methods**, v. 12, p. 1360-1367, 2020. https://doi.org/10.1039/c9ay02675d.
- SAMPAIO, M. R. F.; MACHADO, M. C.; LISBOA, M. T.; VIEIRA, M. A.; ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical characterization and antioxidant activity of refined and unrefined sugarcane products from Southern Brazil. **Sugar Tech**, v. 25, n. 2, p. 295-307, 2023. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01146-y.
- SANTOS, J. M.; QUINÁIA, S. P.; FELSNER, M. L. Fast and direct analysis of Cr, Cd and Pb in brown sugar by GF AAS. **Food Chemistry**, v. 260, p. 19-26, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.106.
- SANTOS, J. M.; ANDRADE, J. K.; GALVÃO, F.; FELSNER, M. L. Optimization and validation of ultrasound-assisted extraction for the determination of micro and macro minerals in non-centrifugal sugar by FAAS. **Food Chemistry**, v. 292, p. 66-74, 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.037.
- SARAIVA, A.; CARRASCOSA, C.; RAMOS, F.; RAHEEM, D.; LOPES, M.; RAPOSO, A. Coconut Sugar: Chemical analysis and nutritional profile; health impacts; safety and quality control; food industry applications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, 3671, 2023. https://doi.org/10.3390/ijerph20043671.
- SARAZIN, C.; DELAUNAY, N.; COSTANZA, C.; EUDES, V.; GAREIL, P.; VIAL, J. On the use of response surface strategy to elucidate the electrophoretic migration of carbohydrates and optimize their separation. **Journal of Separation Science**, v. 35, p. 1351-1358, 2012. https://doi.org/10.1002/jssc.201101037.
- SCHAEFER, H. R.; DENNIS, S.; FITZPATRICK, S. Cadmium: Mitigation strategies to reduce dietary exposure. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 2, p. 260-267, 2020. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14997.

- SHLISKY, J.; MANDLIK, R.; ASKARI, S.; ABRAMS, S.; BELIZAN, J. M.; BOURASSA, M. W.; CORMICK, G.; DRILLER-COLANGELO, A.; GOMES, F.; KHADILKAR, A.; OWINO, V.; PETTIFOR, J. M.; RANA, Z. H.; ROTH, D. E.; WEAVER, C. Calcium deficiency worldwide: prevalence of inadequate intakes and associated health outcomes. **Annals of the New York Academy Sciences**, v. 1512, n. 1, p. 10-28, 2022. https://doi.org/10.1111/nyas.14758.
- SHOKUNBI, O. S.; ADEPOJU, O. T.; MOJAPELO, P. E. L.; RAMAITE, I. D. I.; AKINYELE, I. O. Copper, manganese, iron and zinc contents of Nigerian foods and estimates of adult dietary intakes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 82, 103245, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103245.
- SHOKUNBI, O. S.; ADEPOJU, O. T.; RAMAITE, I. D. I.; SHOKUNBI, O. S.; MOJAPELO, P. E. L.; AKINYELE, I. O. Potassium, sodium, calcium and magnesium levels of commonly consumed foods and estimates of dietary intakes of selected Nigerian adults. **Heliyon**, v. 9, n. 3, e13729, 2023. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13729.
- SILVA, F. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; ARAÚJO, P. R. M.; SILVA, L. H. V.; SILVA, R. F. Assessing heavy metal sources in sugarcane Brazilian soils: an approach using multivariate analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 457, 2016. https://doi.org/10.1007/s10661-016-5409-x.
- SILVA JÚNIOR, E. C.; DURAN, N. M.; LESSA, J. H. L.; RIBEIRO, P. G.; WADT, L. H. O.; SILVA, K. E.; LIMA, R. M. B.; BATISTA, K. D.; GUEDES, M. C.; Júnior, R.C.O., Carvalho, H.W.P., Reis, A.R., Lopes, G., Guilherme, L.R.G. Unraveling the accumulation and localization of selenium and barium in Brazil nuts using spectroanalytical techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 106, 104329, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104329.
- SIMÃO, M.; CANCELA, M. L. Musculoskeletal complications associated with pathological iron toxicity and its molecular mechanisms. **Biochemical Society Transactions**, v. 49, n. 2, p. 747-759, 2021. https://doi.org/10.1042/BST20200672.
- SINGH, A.; LAL, U. R.; MUKHTAR, H. M.; SINGH, P. S.; SHAH, G.; DHAWAN, R. K. Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects. **Pharmacognosy Reviews**, v. 9, n. 17, p. 45-54, 2015. https://doi.org/10.4103/0973-7847.156340.
- SMITA, R. M.; SHUVO, A. P. R.; RAIHAN, S.; JAHAN, R.; SIMIN, F. A.; RAHMAN, A.; BISWAS, S.; SALEM, L.; SAGOR, M. A. T. The role of mineral deficiencies in insulin resistance and obesity. **Current Diabetes Reviews**, v. 18, n. 7, 2022. https://doi.org/10.2174/1573399818666211117104626.
- SOH, B.; HAN, Y.; CHO, S. Y.; CHOI, S.; CHUNG, H.; LEE, K. Assessing cobalt and manganese in foods: A study on determination and health risk using inductively coupled plasma spectrometry. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 133, 106394, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106394.

- SÓLIS-FUENTES, J. A.; HERNÁNDEZ-CEJA, Y.; HERNÁNDEZ-MEDEL, M. R.; GARCÍA-GÓMEZ, R. S.; BERNAL-GONZÁLEZ, M.; MENDOZA-PÉREZ, S.; DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA, M. C. Quality improvement of jaggery, a traditional sweetener, using bagasse activated carbon. **Food Bioscience**, v. 32, 100444, 2019. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100444.
- SONONE, S. S.; JADHAV, S.; SANKHLA, M. S.; KUMAR, R. Water contamination by heavy metals and their toxic effect on aquaculture and human health through food chain. **Letters in Applied NanoBioScience**, v. 10, n. 2, p. 2148-2166, 2020. https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166.
- SREEDEVI, P.; JAYACHANDRAN, L. E.; RAO, P. S. Browning and bioactive composition of sugarcane juice (*Saccharum officinarum*) as affected by high hydrostatic pressure processing. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, p. 1962–1971, 2018. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9811-7.
- TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO). Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação/Universidade Estadual de Campinas, 4° Edição, p. 161, 2011. https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco 4 edicao ampliada e revisada.pdf.
- TAKEDA, E.; YAMAMOTO, H.; YAMANAKA-OKUMURA, H.; TAKETANI, Y. Increasing Dietary Phosphorus Intake from Food Additives: Potential for Negative Impact on Bone Health. **Advances in Nutrition**, v. 5, n. 1, p. 92-97, 2014. https://doi.org/10.3945/an.113.004002.
- TEKLEMARIAM, T. A.; CHOU, F.; KUMARAVEL, P.; BUSKRIK, J. V. ATR-FTIR spectroscopy and machine/deep learning models for detecting adulteration in coconut water with sugars, sugar alcohols, and artificial sweeteners. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 322, 124771, 2024. https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124771.
- TIAN, J.; WEI, X.; ZHAN, W.; XU, A. Effects of selenium nanoparticles combined with radiotherapy on lung cancer cells. **Frontiers in Bioengineering Biotechnology**, v. 8, 598997, 2020. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.598997.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Agricultural Research Service. Usual Nutrient Intake from Food and Beverages, by Gender and Age, What We Eat in America, NHANES 2015-2018. Washington DC. USDA, mai. 2021. www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/fsrq.
- VELÁSQUES, F.; ESPITIA, J.; MENDIETA, O.; ESCOBAR, S.; RODRÍGUEZ, J. Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. **Journal of Food Engineering**, v. 255, p. 32-40, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009.

- WANG, C.; ZHANG, J.; PEI, Y.; LI, C.; LI, Y.; CHEN, S.; WANG, Z. Visualized electrochemiluminescence detection of trace copper in practical food samples. **Food Chemistry**, v. 451, 139461, 2024. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139461.
- WANG, J.; KLIKS, M. M.; JUN, S.; JACKSON, M.; LI, Q. X. Rapid analysis of glucose, fructose, sucrose, and maltose in honeys from different geographic regions using fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 2, p. C208-214, 2010. https://doi.org/10.1111/j.17503841.2009.01504.x.
- WANG, J.; JIN, M.; ZHENG, J.; CHEN, Y.; SUN, T.; ZHENG, Y.; LAW, D.; WANG, D.; SHEN, B. Sociodemographic and clinical factors influencing serum potassium concentration: A retrospective cohort study. **Computational and Structural Biotechnology Journal**, v. 24, p. 1-11, 2024. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2023.11.044.
- WANG, N.; XIE, D.; WU, J.; WU, Z.; HE, H.; YANG, Z.; YANG, T.; WANG, Y. Selenium and bone health: A protocol for a systematic review and meta-analysis. **BMJ. Open**, v. 10, n. 10, e036612, 2020. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-036612.
- WANG, Y.; WANG, D.; HAO, H.; CUI, J.; HUANG, L.; LIANG, Q. The association between cadmium exposure and the risk of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 469, 133828, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133828.
- WILLIAM, J. H.; RICHARDS, K.; DANZIGER, J. Magnesium and Drugs Commonly Used in Chronic Kidney Disease. **Advances in Chronic Kidney Disease**, v. 25, n. 3, p. 267-273, 2018. https://doi.org/10.1053/j.ackd.2018.01.005.
- YAN, W.; LIU, X.; ZHANG, G. Identification of potential food sources affecting blood lead levels and their health hazards (CVD, respiratory diseases, cancer). **Science of The Total Environment**, v. 906, 167505, 2024. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167505.
- YU, Y.; YANG, J. Oral bioaccessibility and health risk assessment of vanadium (IV) and vanadium (V) in a vanadium titanomagnetite mining region by a whole digestive system in-vitro method (WDSM). **Chemosphere**, v. 215, p. 294-304, 2019. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.042.
- ZHANG, Y.; HUAN, J.; GAO, D.; XU, S.; HAN, X.; SONG, J.; WANG, L.; ZHANG, H.; NIU, Q.; LU, X. Blood pressure mediated the effects of cognitive function impairment related to aluminum exposure in Chinese aluminum smelting workers.

 Neurotoxicology, v. 91, p. 269-281, 2022.

 https://doi.org/10.1016/j.neuro.2022.05.017.
- ZHU, Z.; XIE, C.; LI, W.; HANG, F.; LI, K.; SHI, C.; DOHERTY, W. O. S. Nutritional and antioxidant properties of non-centrifugal cane sugar derived from membrane clarified juice. **LWT Food Science Technology**, v. 131, 109717, 2020. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109717.