



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS**

JOSENAI PENHA PORTO

**INVESTIGAÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS E
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AÇÚCARES
(*Saccharum officinarum*) COMERCIALIZADOS NO
MERCOSUL: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BRASIL,
PARAGUAI, ARGENTINA, URUGUAI.**

UFBA

SALVADOR

2024



JOSENAI PENHA PORTO

**INVESTIGAÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS E
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AÇÚCARES
(*Saccharum officinarum*) COMERCIALIZADOS NO
MERCOSUL: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BRASIL,
PARAGUAI, ARGENTINA, URUGUAI.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof. Dr. Marcelo Andrés Umsza Guez
Orientador

Prof. Dr. Jean Carlos Anjos
Coorientador

SALVADOR

2024

JOSENAI PENHA PORTO

**INVESTIGAÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS E
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AÇÚCARES
(*Saccharum officinarum*) COMERCIALIZADOS NO
MERCOSUL: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BRASIL,
PARAGUAI, ARGENTINA, URUGUAI.**

A Comissão Julgadora dos trabalhos de defesa de Dissertação de Mestrado do(a) candidato(a) **Josenai Penha Porto**, em sessão pública realizada em XX/XX/20XX.

Prof. Dr. Marcelo Andrés Umsza Guez (Orientador)

Faculdade de Farmácia

Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

Profa. Dra. Leticia de Alencar Pereira Rodrigues (Membro titular)

Instituto Senai de Inovação em Sistemas Avançados de Saúde

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Centro Integrado de Manufatura Enxuta
(SENAI Cimatec, Salvador, BA)

Eduard Ferney Valenzuela Toledo (Membro titular)

Departamento de Ciências da Vida (DCV)

(Universidade do Estado da Bahia, (UNEB), Salvador, BA)

Dedico este trabalho,

Ao meu Deus, ao meu filho Lucas e marido Deivide, minha família, amigos e as pessoas que fizeram parte dessa caminhada.

.

Meus agradecimentos,

Primeiramente, agradeço a Deus por me fortalecer e permitir que eu superasse todas as dificuldades ao longo do caminho. Em cada momento de dúvida, sentir o Senhor renovando minhas forças e me fazendo ter esperança. “Os que conhecem o teu nome confiam em ti, pois tu, Senhor, jamais abandonas os que te buscam” (Salmos 9:10).

Ao meu marido, Deivide Lucas, por estar ao meu lado em todos os momentos e me fortalecer com seu amor incondicional. Ao meu filho, Lucas Penha Porto, meu presente de Deus, por me inspirar a superar meus limites todos os dias. Foi após o seu nascimento que tive a coragem de aceitar este desafio.

À minha família, especialmente aos meus pais, meu irmão e minhas tias Janda, Jandira e Jaciara, por sempre torcerem pelo meu sucesso e me incentivarem nos estudos.

Ao meu orientador, Marcelo Umsza Guez, por sua orientação, cobranças, direcionamento e por aceitar o desafio de me orientar após o puerpério. Sou grata por me ajudar a chegar na minha nova versão acadêmica.

Ao meu Coorientador, Jean Carlo, por sua orientação, paciência, está disposto a passar o seu conhecimento e condução técnica na jornada desse desafio.

Ao Professor Madson por se predispor a me apoiar na bancada as análises de validação dessa metodologia.

Ao LIPAQ, especialmente a Eliete, Andreza e Manu por sempre me darem suporte técnico e emocional nas análises de cromatografia.

Ao Senai Cimatec, por oferecer a estrutura laboratorial para execução dessa pesquisa. A Universidade Federal da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos pela oportunidade de alcançar outro nível acadêmico.

À Professora Idalia Helena (UNEB) por abrir as portas do seu laboratório para que eu pudesse realizar as análises necessárias para o projeto, e por toda a atenção dedicada a mim.

À minha amiga, Gláucia Parente, por ajudar a conseguir as amostras, torcer pelo meu sucesso e vibrar com cada conquista. À equipe ML Flavors pela parceria e cumplicidade.

RESUMO

O açúcar derivado da cana-de-açúcar desempenha um papel crucial no comércio global de alimentos. Para aumentar a produtividade, países como Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, dependem da utilização de agrotóxicos nas lavouras. No entanto, o uso de agrotóxicos levanta preocupações quanto a segurança de alimentos, pois estudos relacionam a exposição a danos em órgãos como fígado, cérebro, pulmões e cólon, e até mesmo condições fatais como câncer. Países como Estados Unidos, Brasil e União Europeia implementaram programas rigorosos de monitoramento de pesticidas para impor limites de segurança. Este estudo investigou resíduos dessas substâncias em diferentes tipos de açúcar de cana (cristal, refinado, demerara, mascavo) do Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai e Europa. Também foi validado um método de extração para análise de cromatografia gasosa-espectrometria de massa, bem como realizou-se a caracterização desses açúcares quanto aos parâmetros polimétricos, cor (Coordenadas cartesianas e polares: L^* , a^* , b^* , C^* , h), e concentração de íons Ferro e Cobre. Os resultados dos parâmetros de cor mostraram que o açúcar demerara e mascavo apresentam suas colorações próximas ao amarelo e vermelho, açúcares cristais e refinados apresentaram maiores índices de luminosidade e de saturação mais próximas ao cinza confirmando sua coloração mais branca. Adicionalmente, foi observado um desvio polarimétrico maior para os açúcares mascavos (519-120,20 m/m) seguido de demerara (178,22-519,93 m/m), cristal orgânico (179,18-494,13m/m), refinado (126,99-254,19 m/m), cristal (120,17-239,56 m/m), respectivamente. No que tange à análise de minerais, observou-se que em relação aos parâmetros internacionais para concentração de ferro e cobre estavam fora dos valores preconizados. Dos 21 pesticidas investigados, 13 foram detectados em 29 de 36 amostras de açúcar, com os inseticidas dimetacloro e organoclorados sendo os mais prevalentes, apenas um agrotóxico estava em uma concentração 10 vezes maior que o permitido no *Codex Alimentarius* para cana-de-açúcar. Todavia, nesse trabalho foram encontrados em 13 amostras o Alfa-HCH, agrotóxico proibido para uso em países signatários da Convenção de Estocolmo como os países do Mercosul. O açúcar mascavo do Brasil apresentou 5 agrotóxicos em sua composição, bem como presença dos agrotóxicos (alfa-HCH, gama-HCH e dimetacloro) em duas amostras de açúcares orgânicos (cristal e demerara). Essas descobertas ressaltam a necessidade de regulamentação e monitoramento mais rigorosos do uso de pesticidas, especialmente em produtos amplamente consumidos, como o açúcar.

Palavras-chave: Açúcar, alfa-HCH, beta-HCH, dimetacloro, *Saccharum officinarum*, contaminantes.

ABSTRACT

Sugar derived from sugarcane plays a crucial role in global food trade. To increase productivity, countries such as Brazil, Argentina, Paraguai and Uruguay depend on the use of pesticides in their work. However, the use of pesticides raises concerns regarding food safety, because studies relate to exposure to damage to organs such as the liver, brain, lungs and colon, and at the same time fatal conditions such as cancer. Countries such as the United States, Brazil and Europe will implement rigorous pesticide monitoring programs to ensure maximum safety limits. This study investigated residues of these substances in different types of cane sugar (crystal, refined, demerara, mascavo) from Brazil, Paraguai, Argentina, Uruguay and Europe. An extraction method for gas chromatography-mass spectrometry analysis was also validated, as well as the characterization of sugars was carried out with regard to the polymeric parameters, color (Cartesian and polar coordinates: L^* , a^* , b^* , C^* , h), and iron and copper concentration. The results of the two parameters show that the demerara and mascavo sugar present their colors close to yellow and red, the crystal and refined sugars present higher luminosity and saturation indices closer to the yellow, confirming their whiter color. Additionally, a larger polarimetric deviation was observed for the raw sugars (519-120,20 m/m) followed by demerara (178.22-519,93 m/m), organic crystal (179,18-494,13m/m), refined (126,99- 254,19 m/m), crystal (120,17-239,56m/m). Notwithstanding the mineral analysis, it was observed that in relation to the international parameters for the concentration of ferrous and copper there are two recommended values. Two 21 pesticides investigated, 13 foram detected in 29 of 36 sugar samples, as the dimetachloro and organochlorine insecticides being the most prevalent, only one agrototoxic was in a concentration 10 times higher than that allowed in the Codex Alimentarius for sugarcane. Still, no work has been found in 13 samples of Alpha-HCH, an agrochemical prohibited for use in countries that are signatories to the Stockholm Convention such as the Mercosul countries. Brazilian sugar contains 5 pesticides in its composition, including the presence of two pesticides (alpha-HCH, gamma-HCH and dimetachlor) in two samples of organic sugars (crystal and demerara). These discoveries highlight the need for more rigorous regulation and monitoring of pesticide use, especially in widely consumed products, such as sugar.

Keywords: *Sugar, alfa-HCH, beta-HCH, dimethaclaro, Saccharum officinarum, contaminants.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – Investigação de resíduos de agrotóxicos em açúcares (cana-de-açúcar) e caracterização físico-química comercializados na América do Sul: Estudo comparativo entre Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. **12**

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	Produção Mundial de Açúcar.....	19
3.2	Caracterização físico-química do Açúcar.....	27
3.3	Agrotóxicos e seus efeitos à Saúde.....	28
3.4	Agrotóxicos utilizados na cana de açúcar e suas características	29
3.5	Metodologias utilizadas para detecção de agrotóxicos.....	35
3.6	Cenário regulatório e de monitoramento quanto ao uso de agrotóxico em alimentos no Brasil e no Mundo	38
3.7	Alimentos ricos em açúcar	40
	4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	5. REFERÊNCIAS	43

*CAPÍTULO II – Caracterização físico-química de diferentes açúcares de cana (Sacchar officinarum) comercializados em países do Mercosul: Brasil, Paraguai, Argentina Uruguai.....*52

*CAPÍTULO III – Investigação de resíduos de agrotóxicos em açúcares (Cana-de-açúcar) comercializados no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai.....*77

Capítulo I

Investigação de resíduos de agrotóxicos e caracterização físico-química em açúcares comercializados na América do Sul: Estudo comparativo entre Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Açúcares, incluindo dissacarídeos e monossacarídeos, são carboidratos produzidos pelas plantas através da fotossíntese. O termo “açúcar” é comumente utilizado para se referir à sacarose, um dissacarídeo de sabor adocicado formado por uma molécula de glicose e uma molécula de frutose, conhecido também como açúcar de mesa. Comercialmente duas plantas (com as maiores concentrações naturais já registradas) são consideradas fontes de açúcares, sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a beterraba sacarina (*Beta vulgaris*). Cerca de 86% das culturas açucareiras provêm da cana-de-açúcar, que crescem principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. Mais de 100 países produzem açúcar tendo a cana como base (TORO et al. 2020; WOJTCZAK, ANTCZAK e LISIK, 2012; RAMOS E MENESES, 2021).

De todos os produtos derivados da cana-de-açúcar, o açúcar se destaca devido as inúmeras aplicações na alimentação humana e na tecnologia de alimentos. Isso porque, ele atua como nutriente energético e contribui para a textura, corpo, palatabilidade, estabilidade, volume, dulçor nos alimentos (MACHADO, 2012; FARESIN, 2019; BRITO et al., 2023). Sua fabricação consiste em operações unitárias que visam extrair o caldo da cana-de-açúcar e posteriormente concentrá-lo em forma de cristais, o que a depender das etapas resulta em diferentes tipos: demerara, cristal branco, refinado e dentre outros (MACHADO, 2012; MESSA E NESPOLO, 2017; LOURENÇO, 2023). No entanto, é importante destacar que a produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar está sujeita a uma série de desafios, incluindo a possível presença de agrotóxicos devido ao uso extensivo no cultivo da cana. A Figura 1 apresenta o fluxograma de produção de açúcar, bem como ilustra a entrada de agrotóxicos nesse processo e a forma que eles podem chegar ao consumidor, seja pelo consumo direto, ou como ingrediente em outros alimentos da indústria. No Quadro 1 são apresentadas diferentes classificações de açúcar conforme o CODEX ALIMENTARIUS (CXS 212-1999) e a Figura 2 esquematiza as informações de forma que se percebe que quanto mais branco maior será o valor do parâmetro de polarização que corresponde a porcentagem de sacarose aparentemente presente em uma solução açucarada. O valor está expresso em percentuais por meio de uma leitura sacarimétrica.

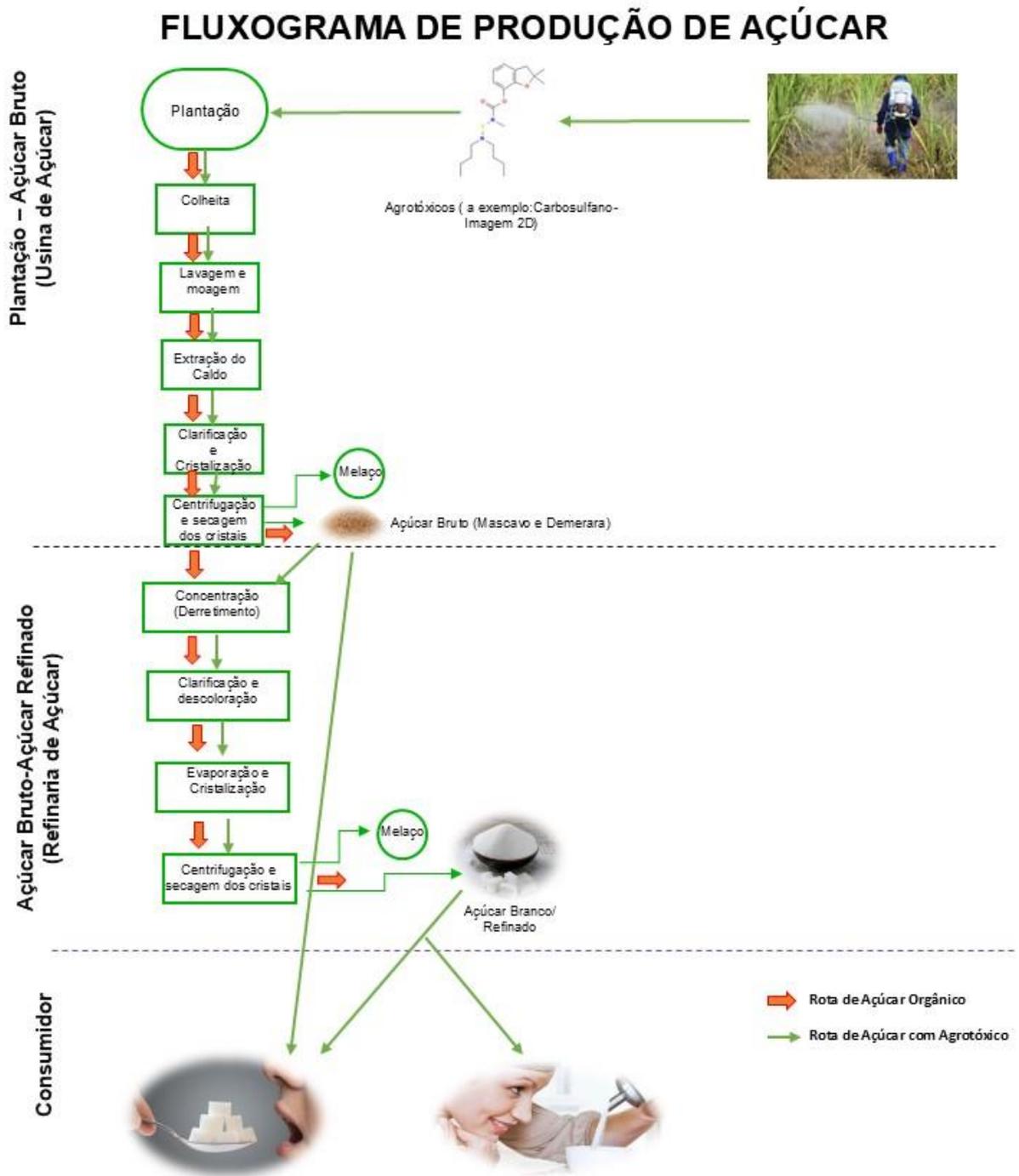


Figura 1. Fluxograma que ilustra da plantação e uso de agrotóxicos até o seu consumo.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Quadro 1. Diferentes classificações de açúcar.

Descrição	Tipos de açúcares de acordo com o CODEX ALIMENTARIUS (PADRÕES DE AÇÚCARES, 1999)			
	Açúcar Marrom	Açúcar Confeiteiro	Açúcar Branco	Plantação ou moinho de açúcar branco
Conceito	Açúcar umido purificado de grão fino marrom claro e escuro com teor de sacarose e açúcar invertido de 88% m/m.	Açúcar branco finamente pulverizado com ou sem adição de um agente antiaglomerante.	Sacarose purificada e cristalizada com um desvio de polarização inferior a 99,7° Z.	Ou qualquer outro nome equivalente aceito no país de origem em que é vendido: Sacarose purificada e cristalizada (sacarose) com uma polarização não inferior a 99,5° Z.
Brasil	Açúcar demerara: Açúcar que passa por um refinamento sem aditivo químico, com coloração marrom claro. Possui valor nutricional alto, parecido com o do açúcar mascavo;	Refinado ICUMSA 45: Também conhecido como açúcar branco, é submetido a um processo de refino onde preserva-se a sacarose e conserva-se a coloração branca. O termo ICUMSA se refere a um padrão internacional de pureza e grau de brancura.	Cristal branco: É apresentado na forma de cristais grandes e transparentes, mas difíceis de serem dissolvidos em água. Passa por leve processo de refinamento. É mais apropriado para o uso culinário.	Açúcar orgânico: Cultivado sem agrotóxicos, possui as mesmas calorias do açúcar comum. Além disso, é mais grosso e mais escuro, em relação ao cristal branco.
Mundo	Açúcar Mascavo: Refere-se a uma variedade de açúcares (mascavo), incluindo o bruto de vários graus de pureza (muitas vezes referido como açúcar não refinado). (WOJTCZAK & USIK, 2012; ARMANGE, 2021)			
	Açúcar " Altamente Polarizável" (da sigla em inglês VVHP): Assim como o VHP, é usado como matéria-prima para refinarias de açúcar, não sendo indicado ao consumo direto pelos consumidores. Possui uma polarização mais alta do que o VHP (99,6°Z).			
	Açúcar "Muito Polarizável" (da sigla em inglês VHP): É o açúcar bruto, apresentando a cor mais escura. Principal tipo exportado, o açúcar VHP é muito utilizado para outros tipos de açúcares e processos de industrialização.			

Referências: ÚNICA, (2023); MAPA (2018); WOJTCZAK, ANTCZAK e LISIK (2012); CODEX ALIMENTARIUS (PADRÕES DE AÇÚCAR, 1999). (Legenda m/m: massa sobre massa; °Z = grau de polarização)



Figura 02. Classificação do Açúcar de acordo com o *CODEX ALIMENTARIUS* considerando coloração e teor de sacarose.

O *Codex Alimentarius* é um programa conjunto da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e da Organização Mundial de Saúde (OMS), criado em 1963, com objetivo de fortalecer normas internacionais na área de alimentos, incluindo padrões, diretrizes e guias sobre Boas Práticas e de Avaliação de Segurança e Eficácia. Seus principais objetivos são proteger a saúde dos consumidores e garantir práticas leais de comércio entre os países. Atualmente, participam do Codex Alimentarius 187 países membros e a União Europeia, além de 238 observadores (57 organizações intergovernamentais, 165 organizações não governamentais e 16 organizações das Nações Unidas) (ANVISA, 2016).

Os documentos do *Codex Alimentarius* são de aplicação voluntária. Todavia, a Resolução das Nações Unidas 39/248, de 1985, recomenda que os governos adotem, sempre que possível, as normas e diretrizes do *Codex Alimentarius*, ao formular políticas e planos nacionais relacionados a Alimentos. A qualidade do açúcar é regida por legislações específicas de cada país que são signatários do Codex como base para suas próprias normativas. No Codex é possível encontrar características físico-químicas, microbiológicas, microscópicas, sensoriais e contaminantes químicos (agrotóxicos) para diferentes tipos de alimentos. No caso do açúcar, o padrão de identidade e qualidade relacionam alguns parâmetros, entre eles, teores de sacarose que se lê na escala de polarização (m/m), índice de cor, e teor de ferro. Características essas que são importantes para categorizar o açúcar e definir sua avaliação comercial (MACHADO, 2012). O valor comercial da cana-de-açúcar é baseado no valor do teor de açúcar (sacarose) de cana comercial (CCS), que atualmente é determinado a partir do teor de sólidos solúveis (SSC) do caldo extraído medido por refratômetro, polarização (Pol) determinada por polarímetro e teor de fibras (CHIATRAKUL et al., 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da presente pesquisa é identificar e quantificar resíduos agrotóxicos e verificar as características físico-químicas de amostras comerciais de açúcares cristal, refinado, demerara, mascavo e orgânico em circulação no mercado de países integrantes do Mercosul.

2.2 Objetivos específicos

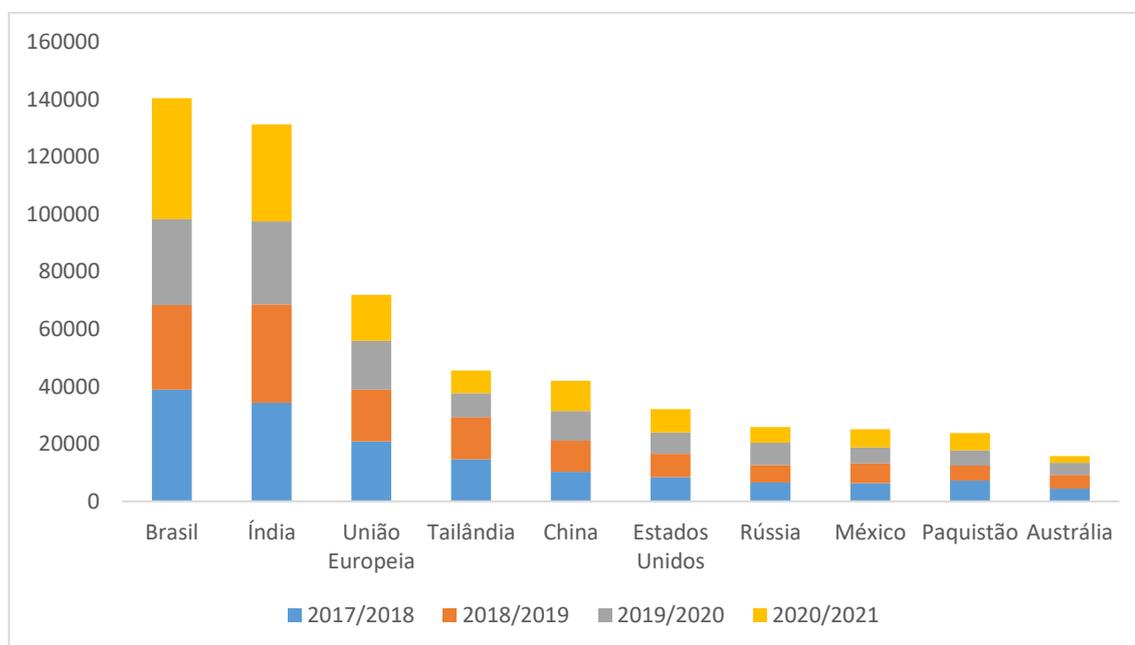
- ✓ Realizar caracterização físico-química dos açúcares dos países do Mercosul;
- ✓ Validar uma metodologia para investigação de agrotóxicos em açúcares;
- ✓ Analisar e identificar presença de resíduos de agrotóxicos nos diferentes açúcares estudados;
- ✓ Comparar os resultados encontrados com os limites definidos pelos órgãos e documentos regulamentadores estabelecidos Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Food and Drug Administration e *Codex Alimentarius*.
- ✓ Simular concentração de agrotóxicos em alimentos ricos em açúcar comumente consumidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Produção Mundial de Açúcar

A cana-de-açúcar apresenta-se como uma grande importância econômica mundial, por ser utilizada para produção de biocombustíveis e açúcares para fins comerciais e industriais (NEVES E CONEJERO, 2007). A Figura 03 apresenta os países com maior representatividade na produção de açúcares, expresso em toneladas. Esses dados apresentados na Figura 03 estão de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023) onde o Brasil figura como maior produtor mundial de açúcar de cana desde 2018, seguido da Índia, União Europeia, Tailândia e China (USDA, 2023; BANCO DO NORDESTE, 2021). COELHO E BRAGNALOLO (2024) apontam a constância do Brasil como líder mundial devido às vastas áreas com clima tropical e subtropical existentes no território, ideal para o cultivo da cana-de-açúcar. As regiões Nordeste e Centro-Sul do país, especialmente os estados de Pernambuco, Alagoas, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná, apresentam chuvas regulares e temperaturas altas, fatores que favorecem o desenvolvimento desse cultivar.

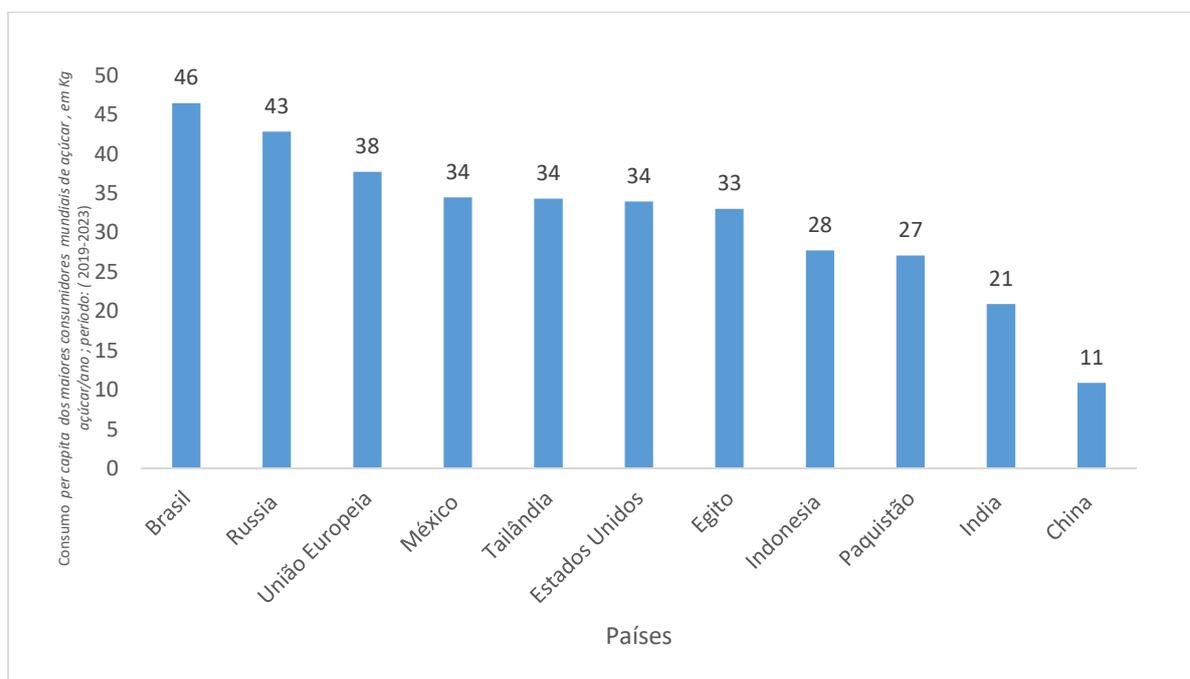
Figura 03 - Produção mundial de açúcar (Mil toneladas).



Adaptado do relatório técnico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE (Banco do Nordeste, 2021). **Fonte:** Autoria Própria, 2024.

Na Figura 4, pode ser vista a média anual de consumo de açúcar de cana-de-açúcar per capita. Observa-se que o Brasil é o maior consumidor de açúcar de *Saccharum officinarum* seguido da Rússia, União Europeia, México, Tailândia e Estados Unidos. Alguns países que estão nesse ranking possuem outra fonte de açúcar para consumo como a beterraba na União Europeia (Especialmente em países como a Alemanha, França e Rússia) e o milho (Especificamente Xarope de Milho) nos Estados Unidos (COSTA, 2004).

Figura 04 - Consumo per capita dos maiores consumidores em kg de açúcar/ano; período: (2019-2023). Adaptado dados de consumo do relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2024) versus dados da população mundial das Nações Unidas (ONU, 2024).



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) indicam que, em média, o açúcar representa 16% do consumo calórico diário dos brasileiros, a exemplo, superando a recomendação da Organização Mundial da Saúde, que é de 10% das calorias diárias (ANVISA, 2021). No mundo o consumo de açúcar adicionado alcançou 17% em 2014 um aumento de 8,5% quando comparado ao ano de 2002 (FAO, 2014). Pesquisas realizadas por Ng et al. (2012) também apontaram que aproximadamente 74% dos alimentos e bebidas comprados nos Estados

Unidos entre 2005 e 2009 continham açúcares adicionados. O cenário de consumo do açúcar segundo Popkin & Hawkes, 2015; Russell et al., 2023, está relacionado diretamente a renda per capita, isso porque, em áreas de renda mais baixa, como América Latina, as vendas de bebidas açucaradas estão em ascensão. Enquanto, em regiões de alta renda como América do Norte, Australásia e Europa Ocidental houve uma diminuição na ingestão.

Diante da grande aplicação do açúcar e necessidade de produção contínua, o uso de agrotóxicos é amplamente utilizado. Oliveira et al. (2007), afirmam que mais de 40 princípios ativos de agrotóxicos aplicados na cana de açúcar são encontrados em açúcares, e essa presença desses agrotóxicos pode ser vista nos açúcares encontrados pelos autores Khorasgani, Hemmati, Ashtarinej (2008), Sinha et al., (2011) e Janjamroon et. al., (2024), e os resultados indicaram, para estes agrotóxicos, valores abaixo do limite de detecção do método utilizado, o que atende aos limites em mg/kg, estabelecidos pelo *Codex Alimentarius*. O Quadro 2 apresenta estudos que identificaram a presença de agrotóxicos no colmo, no caldo extraído e no açúcar da cana-de-açúcar. Embora os autores desses estudos tenham concluído que as concentrações encontradas estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação de seus respectivos países, questiona-se essa interpretação. Isso porque a avaliação focou apenas no consumo direto do açúcar, sem considerar o potencial aumento da exposição a esses resíduos quando o açúcar é utilizado em outros alimentos. Pesquisas já demonstraram que, devido ao uso extensivo de agrotóxicos no cultivo da cana-de-açúcar, resíduos desses pesticidas podem ser encontrados nos derivados desse cultivar, e que se faz necessário mais estudos que verifiquem quali e quantitativamente a presença dos mesmos em produto puro (açúcar) e produtos onde são aplicados (SAMPAIO et al., 2012; LOPES, 2011).

Quadro 2- Trabalhos que identificaram presença de agrotóxicos na Cana (Colmo), Caldo ou Açúcar.

Método	Agrotóxicos		Concentração encontrada (mg/Kg)	Autores
	Investigados	Encontrados		
Colmo				
Método QuEChERS + (HPLC – MS/MS).	Clorantraniliprole e Clotianidina	Clorantraniliprole e Clotianidina	0,01	CHENG & HU (2022)
Caldo				
QuEChERS e CG	Trifluralina, atrazina, acetocloro, alaclor, endosulfan-alfa, endosulfan-beta e endosulfan-sulfato.	Não detectados.	0	FURLANI et al (2011)

Os resíduos de pesticidas organoclorados persistem durante todo o processo de produção de açúcar (GS/MS)	Aldrin; α -Clordano; γ -Clordano; p,p'-DDD; p,p'-DDE; p,p'-DDT; Dieldrin; Endrin; α -HCH ; β -HCH; γ -HCH; Heptacloro; Heptacloro Epóxido.	Aldrin, α -clordano, γ -clordano, p,p'-DDE, p,p'- DDT , Dieldrina, β -HCH, γ -HCH, heptacloro e epóxido de heptacloro	0,0008 a 0,4690	JANJAMROON et. al., (2024)
Açúcares				
Um novo método para análise de pesticidas em amostras de açúcar refinado usando um método de cromatografia gasosa-espectrômetro de massa (GC-	α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH, p,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT e clorpirifós, α -endosulfan, β -endosulfan e sulfato de endosulfan	Clorpirifós	0,22	SINHA et al., (2011)

MS/MS) e extração de solvente simples				
Ocorrência de resíduos de pesticidas no açúcar produzido a partir da cana-de-açúcar (HPLC)	Atrazina e amitrina	Atrazina e amitrina	0,1921 e 0,559	KHORASGANI, HEMMATI, ASHTARINEJ (2008)

Legenda: HPLC (do inglês: High Performance Liquid Chromatography que significa Cromatografia líquida de alta eficiência)

Ao decorrer dos anos o uso intenso de agrotóxico permitiu a agricultura mundial crescer em produtividade e área cultivada, possibilitando grandes avanços econômicos. Em 2020, foram utilizadas aproximadamente 2,7 milhões de toneladas de pesticidas em todo o mundo. Os Estados Unidos, Brasil e China são os principais países que consomem a maior parte de agrotóxico no mundo (FAO, 2022; SHARMA ET. AL, 2020). A aplicação mundial de pesticidas por área de cultivo foi de 1,8 kg/ha. O uso de pesticidas aumentou nas últimas décadas em quase 50% em comparação com a década de 1990, ao quantificar por área de cultivo o aumento foi de 1,2 a 1,8 kg/ha. A aplicação global de agrotóxicos aumentou nas últimas décadas, com o uso de herbicidas (41-52 %) e reduções na participação de fungicidas (25 a 23%) e inseticidas (24 a 18%).

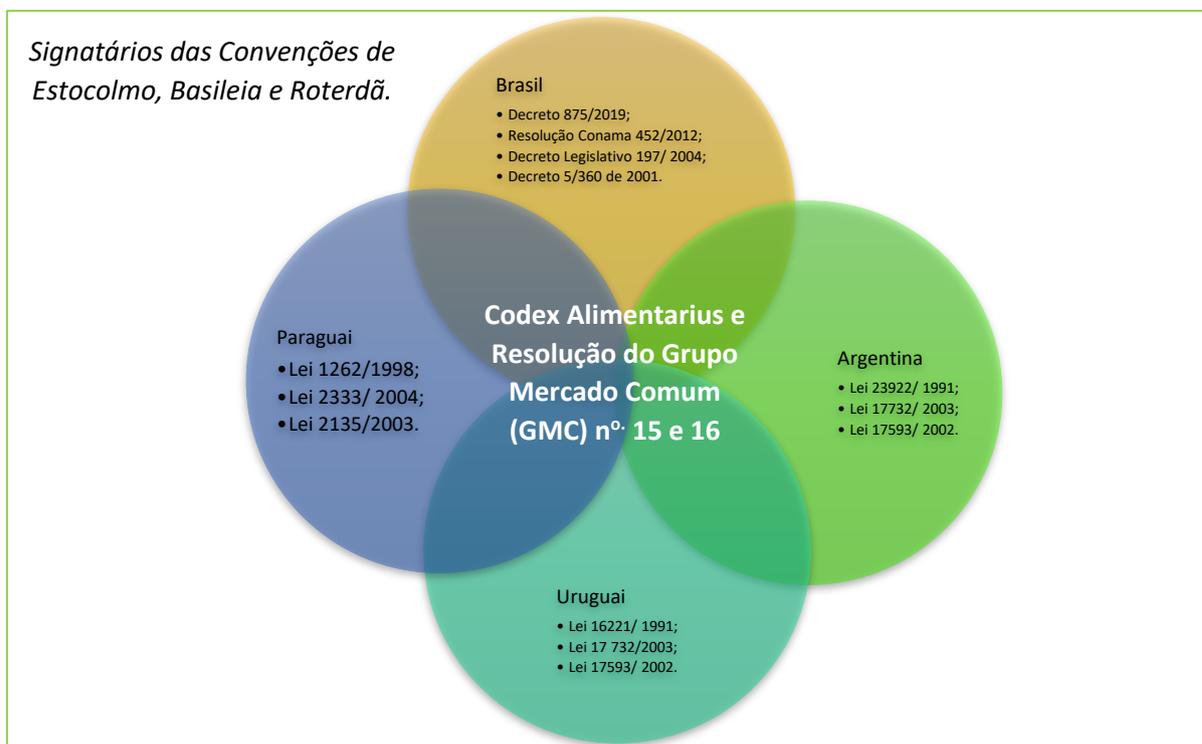
Armas et al. (2005) e Reis et al. (2019) identificaram 24 herbicidas utilizados no cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (BRASIL), e perceberam que alguns apareciam de forma sazonal e outros de uso contínuo no ambiente, dentre eles: ácido ariloxialcanóico, cloroacetanilida, triazina, triazolona, isoxazolidinona.

Problemas de saúde agudos e crônicos podem ser resultados da exposição a pesticidas usados na agricultura e entram em contato com seres humanos de forma direta ou indiretamente (REKHA, NAIK E PRASAD, 2006; MOTA et al., 2023). A consequência disso é o aumento na frequência de câncer, enfermidades renais crônicas, supressão do sistema imunológico, infertilidade em homens e mulheres, desequilíbrios endócrinos e transtornos neurológicos e comportamentais, especialmente entre crianças, têm sido vinculados à intoxicação crônica por pesticidas (ABHILASH & SINGH, 2009; MOTA et al., 2023). Os perigos à saúde humana variam conforme o nível de exposição, sendo os alimentos a principal via de contato diário com esses compostos. A presença de resíduos de pesticidas, em particular de inseticidas organoclorados persistentes, em diversos componentes do ambiente e nos alimentos, é motivo de preocupação em escala global (SINHA et al., 2011).

No Mercosul, os órgãos de cada País, (Brasil- ANVISA E MAPA; Argentina- Ministério da Agroindústria; Paraguai -Serviço Nacional de Qualidade e Sanidade Vegetal (SENAVE) e o Ministério de Saúde Pública e Bem-estar Social (MSPyBS); Uruguai: Ministério da Pecuária, Agricultura e Pescas (MGAP)) são os responsáveis seja pela regulação do uso de agrotóxico ou pelo monitoramento de resíduos dessas substâncias nos alimentos (MERCOSUL, 2016). Nesse sentido, a regulação sanitária de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Mercosul é particular a cada órgão regulador dos Estados Partes, que precisam integrar as regulações sanitárias considerando suas particularidades locais, bem como o

comércio e desenvolvimento econômico do bloco. A Figura 05 apresenta o cenário regulatório de agrotóxico dos quatro países fundadores do MERCOSUL (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai) na esfera de alimentos e ambiental. Estes países são signatários das Convenções de Basileia (sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, de 1989), Estocolmo (sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, de 2001) e Roterdã (sobre o Procedimento de Consentimento Prévio Informado Aplicado a Certos Agrotóxicos e Substâncias Químicas Perigosas Objeto de Comércio Internacional, de 1998). Com isso, se comprometem a proteger a saúde humana e o ambiente dos efeitos adversos de resíduos perigosos, a banir e restringir o uso de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) e a exercer o controle transfronteiriço desses produtos, que incluem os agrotóxicos, tendo como base a responsabilidade compartilhada no comércio internacional desses produtos (CENTURION et al., 2023). Destaca-se em especial a Resolução MERCOSUL/GMC/RES. N° 15/16 que estabelece critérios para o reconhecimento de limites máximos de resíduos de agrotóxicos em produtos vegetais in natura nos países desse bloco, a exemplo, depreende-se que mesmo que o País Importador não tenha realizado a análise de risco do resíduo de agrotóxico deverá considerar o Limite máximo de Resíduo do País Exportador para prevê o risco a sua população.

Figura 05. Legislações dos Países do Mercosul no âmbito de alimentos e ambiental. (Adaptado do trabalho de Centurion et al. (2023) sobre Regulação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no MERCOSUL: discussão necessária para vigilância sanitária e da Resolução do Grupo Mercado Comum (GMC) no. 15 e 16 (MERCOSUL, 2016). **Fonte:** Autoria Própria, 2024.



3.2 Caracterização Físico-Química do Açúcar

As propriedades da cana-de-açúcar englobam características físico-químicas e microbiológicas, que podem influenciar o rendimento na redução do açúcar durante o processamento, afetando a qualidade do produto. Pragas que danificam o tecido da planta permitem à entrada de microrganismos, que afetam negativamente a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, redução da pol % cana, brix, pureza e aumento no teor de fibra em canas próximas do saueiro, a exemplo (MACHADO et al., 2012).

As características físico-químicas do açúcar se relacionam principalmente aos teores de sacarose ou polarização (pol), índice de cor, teor de ferro (LOPES et al., 2010). No valor de polarização verifica-se a pureza do produto, que está relacionada à sua capacidade de adoçar e menores teores de sacarose indicam a presença de açúcares redutores (glicose e frutose), dextrana, amido e cinzas (MACHADO et al., 2012).

A cor é um parâmetro importante da aparência, pois é percebido logo no primeiro contato do consumidor com o produto e pode fornecer informação sobre o processamento (DURAN et al, 2012). Ademais, a análise de cor é extremamente importante para verificar se a classificação do açúcar em mascavo, demerara, cristal e refinado está de acordo ao especificado pelo fabricante no rótulo. E esse parâmetro está diretamente relacionada: ao número de partículas carbonizadas presentes, o que representa falha na higienização do equipamento que entra em contato com o produto, uma vez que tais partículas são arrastadas durante o processo de fabricação; e ao tamanho dessas partículas, ou seja, quanto menores as partículas, mais branco é o açúcar e vice-versa. Um açúcar de cor mais escura na produção de alimentos pode alterar além da cor, o sabor e o aroma dos produtos, por exemplo (DURAN et al., 2012; MACHADO et al, 2012; SILVA et al., 2017).

O ferro é considerado como contaminante natural de produtos de origem vegetal, dada a sua presença no solo onde a matéria-prima é plantada. Entretanto, sua presença também pode estar relacionada à má conservação dos equipamentos (ferrugem), podendo contaminar o produto através do contato, seja durante a colheita, seja durante o processamento da cana. A contaminação por ferro em grandes concentrações é facilmente perceptível, pois altera o sabor do produto. Além disso, pode causar reações gástricas como, por exemplo, acidez estomacal. Para além disso, a presença do ferro no açúcar está relacionada à oxidação de compostos fenólicos por enzimas feloxidases (DURAN et al., 2012).

Mas, segundo SILVA et al. (2017), mesmo diante de um padrão de identidade e qualidade do açúcar ainda há uma grande variabilidade inclusive em açúcares do mesmo grupo e isso se dá devido a diferentes fontes da cana-de-açúcar e processamento nas usinas.

3.3 Agrotóxicos e seus efeitos à Saúde

Considera-se agrotóxicos como compostos de substâncias químicas destinadas ao controle, destruição ou prevenção, direta ou indiretamente, de agentes patogênicos para plantas e animais úteis e às pessoas. A utilização em massa de agrotóxicos na agricultura se inicia na década de 1950, nos Estados Unidos, com a chamada 'Revolução Verde', que teria o intuito de modernizar a agricultura e aumentar sua produtividade (LOPES & ALBURQUEQUE, 2018).

As intoxicações por agrotóxicos são processos patológicos caracterizados por desequilíbrio fisiológico com manifestações variadas de acordo com a classe das substâncias, e podem ser apresentadas de forma aguda e crônica, com manifestação de forma leve, moderada

ou grave, a depender da quantidade da substância química absorvida, do tempo de absorção, da toxicidade do produto, da suscetibilidade do organismo e do tempo decorrido entre a exposição e o atendimento médico (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2020)

São inúmeros os estudos que associam o uso de agrotóxicos e seus efeitos nocivos na saúde humana (CASSAL et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2023; ALLESCHER, H. D. *et al*, 2023). Os efeitos agudos, conforme Mariconi (1986) aparecem durante ou após o contato da pessoa com o agrotóxico, podendo ser divididos em efeitos muscarínicos (bradicardia, miose, espasmos intestinais e brônquicos, estimulação das glândulas salivares e lacrimais); nicotínicos (fibrilações musculares e convulsões); e centrais (sonolência, letargia, fadiga, cefaleia, perda de concentração, confusão mental e problemas cardiovasculares). Segundo Koifman e Hatagima (2003) muitos agrotóxicos apresentam atividade potencialmente capaz de desregular o equilíbrio endócrino de seres humanos e animais, sendo que a exposição a esses disruptores endócrinos estaria associada a cânceres, a modificação na razão entre sexos ao nascimento, infertilidade, má-formações congênitas no trato genital masculino e a modificações na qualidade do sêmen.

Estudos relacionam a exposição a pesticidas com diabetes e distúrbio da glicose. Os mecanismos potenciais pelos quais os pesticidas perturbam a homeostase da glicose incluem indução de lipotoxicidade, estresse oxidativo, inflamação, acúmulo de acetilcolina (WEI, WANG & LIU, 2023).

A Ingestão Diária Aceitável (IDA) é um parâmetro de segurança definido como a quantidade máxima de agrotóxico que pode ser ingerida por dia, durante toda a vida, de modo a não causar danos à saúde. A quantidade máxima de ingestão permitida é calculada para cada agrotóxico, expressa no valor de IDA, medida em miligramas de agrotóxico por quilo de peso corpóreo da pessoa que o ingere (mg/kg). A Dose de Referência Aguda (DRfA) é o parâmetro de segurança toxicológico agudo definido como a quantidade estimada do resíduo de agrotóxico presente nos alimentos que pode ser ingerida durante um período de 24 horas, sem causar efeito(s) adverso(s) à saúde, expressa em miligrama de resíduo por quilograma de peso corpóreo (mg/kg p.c.). A DRfA é estabelecida somente para ingredientes ativos que tenham potencial de toxicidade aguda (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2023).

3.4 Agrotóxicos utilizados na cana de açúcar e suas características

No Quadro 03 e Figura 06, são apresentadas as classes de agrotóxicos mais utilizadas e seu percentual na lista de uso aprovado na ANVISA para cultura da cana-de-açúcar no Brasil,

totalizando 119 produtos distribuídos entre diferentes categorias: (47%) Herbicidas, (28%) inseticidas, (21%) fungicidas, (1%) nematocidas e acaricidas, respectivamente. A classificação dos agrotóxicos se dá conforme a ação do princípio ativo no organismo alvo: os inseticidas, por exemplo, atuam sobre os insetos; os herbicidas envelhecem nas plantas especificamente; os fungicidas combatem fungos, entre outros. Outra classificação importante é a toxicológica, baseada em estudos que avaliam o nível de periculosidade desses produtos para diferentes organismos (Quadro 3).

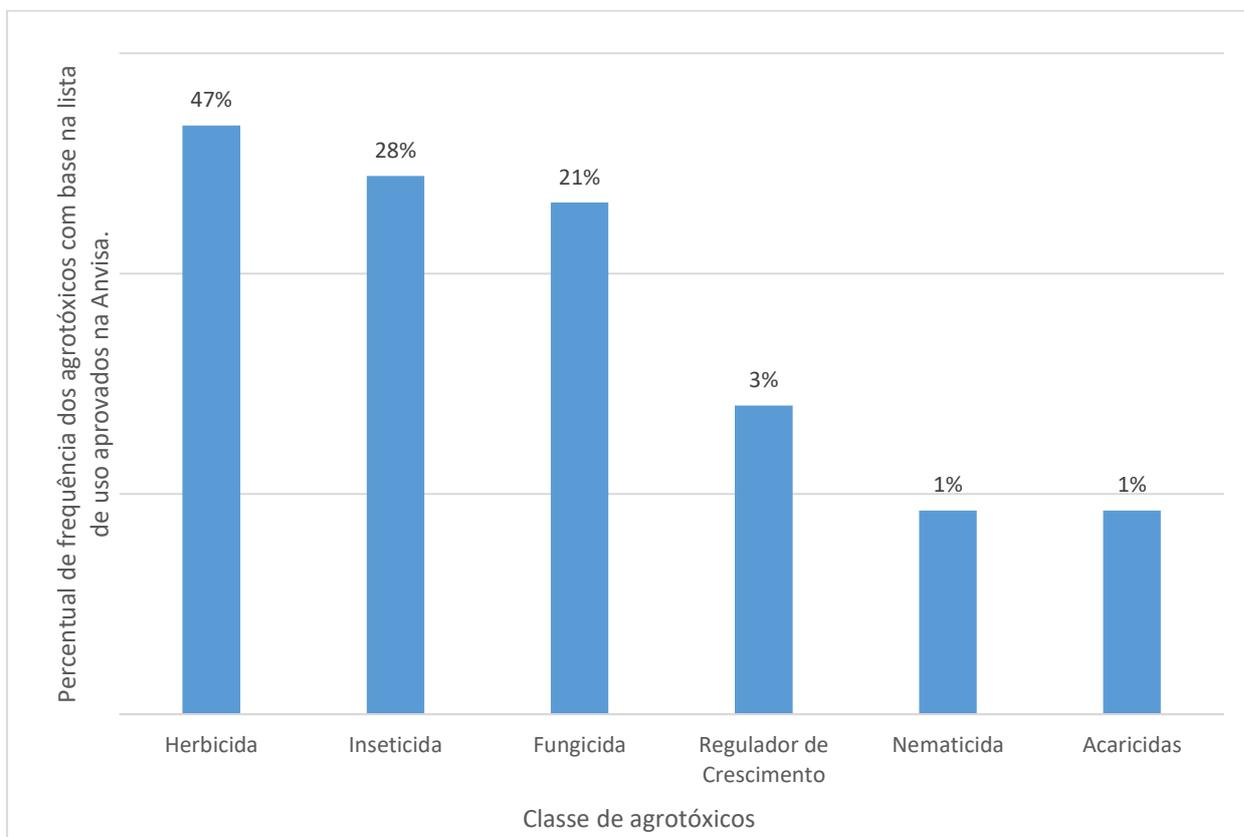
Christofoletti et al. (2017) destacam que, ao longo dos anos, o número de agrotóxicos aprovados para uso no Brasil tem aumentado. Segundo sua pesquisa e dados do site da ANVISA, em 2005, havia 65 ingredientes ativos autorizados; em 2016, esse número aumentou em 35%, alcançando 85 produtos. Em 2023, observou-se um acréscimo de 29% nos agrotóxicos permitidos para uso na cana-de-açúcar, totalizando atualmente 119 (BRASIL, 2023).

Quadro 03. Classificação do Agrotóxico pode ser de acordo com o alvo da praga.

Classe	Definição e alvo	Exemplos
Herbicida	Combater ervas daninhas e maturação da cana-de-açúcar.	Exemplo: Glifosato, Atrazina, Acetocloro.
Inseticida	Substâncias químicas sintéticas, ou naturais, ou de origem biológica que controlam insetos, larvas e formigas. O controle pode resultar em morte do inseto ou prevenir comportamentos considerados destrutivos.	Carbosulfano, Clotiadina.
Fungicida	Substâncias químicas utilizadas para combater fungos	Ciproconazol, Difeconazol.
Regulador de Crescimento	Auxilia no crescimento da planta.	Cloreto de mepiquate, Etefom.
Nematicida	Substâncias químicas utilizadas para combater nematoides.	Fluensulfona
Acaricidas	Agem no combate a ácaros.	Abamectina

Fonte: Adaptado de MENDES et al (2019).

Figura 06. Classe dos Principais grupos de agrotóxicos empregados na cultura da cana-de-açúcar no Brasil.



Fonte: Adaptado de dados da Monografia de Agrotóxico da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2023).

A partir da Figura 06, percebemos que os agrotóxicos com maior utilização na cana-de-açúcar são herbicidas, inseticidas e fungicidas, pois as três classes quando aplicadas são eficientes no controle de pragas e aumento da produtividade. Herbicidas como o glifosato, por exemplo, são usados tanto para controle de ervas daninhas quanto para acelerar o processo de maturação da cana, melhorando o teor de açúcar (DALLEY & RICHARD JR., 2017). A exemplo, de acordo com Dalley & Richard Jr. (2017), o Estados Unidos utiliza o glifosato para amadurecimento da cana-de-açúcar, enquanto o herbicida fluazifop é usado como o principal amadurecimento da cana na África do Sul. De igual modo, herbicidas glifosato, fluazifop e sulfometuron-metil e os reguladores de crescimento ethephon e trinexapac-etil são registrados para uso no Brasil. Além disso, os fungicidas e inseticidas são essenciais para combater doenças e pragas que afetam diretamente a qualidade da produção, como fungos e insetos (DALLEY & RICHARD JR., 2017). Assim também como Acetocloro, Atrazina, 2,4-D glicosato são

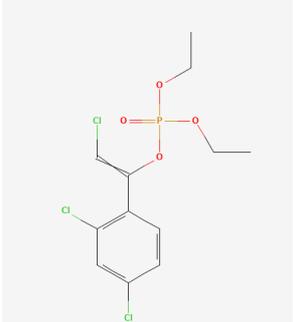
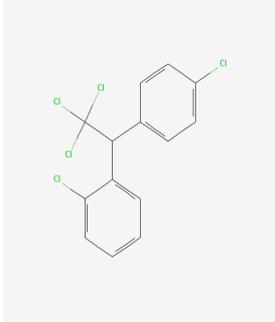
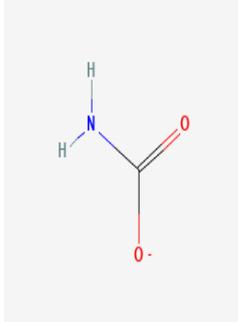
permitidos para uso na cana-de-açúcar na Argentina, Paraguai e Uruguai (Centurion et al., 2023).

Quanto a classificação conforme as semelhanças das estruturas moleculares do princípio ativo de que os constituem podemos dividi-los em organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretróides. Outra classificação utilizada são os novos neonicotinóide (DHANKHAR & KUMAR, 2023; MENDES et al., 2019). Dessa forma, abaixo são apresentadas as principais classes de pesticidas encontradas nos açúcares (DALLEY & RICHARD JR., 2017).

3.3.1 Organofosforados

Organofosforados (Quadro 4-A) são substitutos ecológico para os cloros orgânicos o mais comumente encontrado é o glifosato. Consiste em diferentes inseticidas: Maraton, Paration e Dimetoato; alguns são considerados por sua capacidade de desregulação endócrina. Esta categoria de inseticidas está relacionada a consequências nas características das enzimas colinesterase, interrupção do metabolismo móvel diário de proteínas, carboidratos e gorduras, menor secreção de insulina e resultados genotóxicos e efeitos na função mitocondrial, problemas para a ansiedade que inflige pressão oxidativa celular e estruturas endócrinas nos seres humanos e animais (DHANKHAR & KUMAR, 2023).

Quadro 04- A) Estrutura química em 2D organofosforado (Clorfenvinfos). B) Estrutura química em 2D organoclorado (DDT). C) Estrutura química em 2D Carbamato.

Organofosforado (Clorfenvinfos)	Organoclorado (DDT)	Carbamato
 <p>A)</p>	 <p>B)</p>	 <p>C)</p>

Fonte: A) Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10107#section=2D-Structure>>. Acesso em 11 de Setembro de 2023. B) Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13089>>. Acesso em 11 de Setembro de 2023. C) Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/276#section=Structures>>. Acesso em 11 de Setembro de 2023.

Com relação ao glifosato é o herbicida mais usado na agricultura moderna (DALLEY & RICHARD, 2017; UMSZA-GUEZ et al, 2019), principalmente devido ao crescimento da vegetação geneticamente alerta tolerante ao glifosato, incluindo variedades positivas de cana-de-açúcar, soja e milho. Sua aplicação massiva no cultivo de soja geneticamente alterada levantou questões sobre os prováveis resultados estrogênicos sinérgicos devido à publicidade simultânea de glifosato e fitoestrogênio “genisteína”, comumente encontrados na flavona na soja e seus produtos (DHANKHAR & KUMAR, 2023).

3.3.2 Organoclorados

O pesticida de cloro orgânico é o diclorodifeniltricloroetano, “o inseticida DDT”, cuja aplicação descontrolada causou muitos problemas de saúde humana e ambientais, como exemplo em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, entre 1961 e 1965 que foi constatado que 370 famílias foram afetadas diretamente e 1.400 famílias indiretamente com os efeitos dessa substância, que causaram alterações neurológicas, hepáticas, hematológicas, endócrinas, reprodutivas, renais, imunológicas e cancerígenas nas pessoas, além de contaminar uma área de 70 mil m² e foi constatado que a exposição dos agentes ocorreu por meio do solo, da água, do ar e dos alimentos de origem animal (ovos e leite) (CETESB, 2023). Metoxicloro, endosulfan, Dieldrin, dicofol e heptacloro são outros organoclorados utilizados como inseticidas. A Quadro 4-B apresenta a estrutura de um organoclorado (COMPANHIA DO ESTADO DE DESENVOLVIMENTO DE SÃO PAULO, 2023).

A categoria padrão de inseticidas organoclorados está relacionada a consequências físicas, distúrbios endócrinos, consequências no desenvolvimento embrionário, alterações hematológicas e hepáticas e metabolismo lipídico. A capacidade carcinogênica dos organoclorados é surpreendente (DHANKHAR & KUMAR, 2023).

3.3.3 Carbamatos

A classe dos carbamatos (Quadro 4-C), que incluem carbofuran, ziram e aldicarb, são todos inseticidas sintéticos relacionados a desregulação endócrina, problemas reprodutivos viáveis, características mitocondriais e efeitos nos mecanismos metabólicos celulares nos insetos (DHANKHAR & KUMAR, 2023).

3.3.4 Outras categorias de pesticidas químicos

Triazinas, simazina, ametrina e atrazina, são agrotóxicos sintéticos associados a resultados de desregulação endócrina e toxicidade reprodutiva. Além disso, há achados de que

há uma provável datação estatística entre a ocorrência da maioria dos cânceres de mama e os herbicidas triazínicos. A atrazina é a mais considerada das triazinas; é um herbicida amplamente utilizado associado a consequências dopaminérgicas, citotóxicas e oxidativas (DHANKHAR & KUMAR, 2023).

3.5 Metodologias utilizadas para detecção de agrotóxicos

A identificação de agrotóxicos em alimentos processados é um desafio, devido à baixa concentração desse analito e complexidade da matriz, geralmente encontrado em nível traço e ultra-traço. A escolha da técnica é essencial para conseguir quantificar o residual e o tipo de agrotóxico no alimento. Pois, a partir do limite encontrado é possível verificar o risco da exposição ao consumidor (NASCIMENTO et al., 2023). É importante destacar que a investigação de agrotóxicos em alimentos já foi realizada por diversos autores em diferentes matrizes com técnicas distintas. Diante disso, no Quadro 05, são apresentados um resumo de alguns trabalhos que realizaram essa investigação.

O método QuEChERS, cujo acrônimo significa "Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe" (Rápido, Fácil, Barato, Eficaz, Robusto e Seguro), representa uma estratégia convencionalmente utilizada para a preparação de amostras em análises químicas, especialmente focalizada na determinação de resíduos de pesticidas em produtos alimentícios. A Técnica consiste em duas etapas principais: a remoção e a limpeza da amostra. Na etapa de remoção, a amostra é homogeneizada com solventes orgânicos, como acetato de etila ou acetonitrila, extraíndo os analitos de interesse, como pesticidas. Em seguida, a adição de sal facilita a separação entre a fase úmida e a fase orgânica. A fase orgânica, contendo os analitos, é então isolada para análises posteriores (NASCIMENTO et al., 2023).

O Quadro 05 relaciona os alimentos, agrotóxicos investigados e metodologias utilizadas. Como pode ser visto a Cromatografia Gasosa acoplada com Espectrofotometria de massa é que apresenta maior frequência como técnica de detecção, isso porque ela apresenta alta sensibilidade e boa detecção agrotóxicos. Verifica-se também que apesar dos agrotóxicos serão associados a alimentos frescos, as pesquisas dos autores também encontraram em alimentos processados como o trabalho de Nascimento et al. (2023) em vinhos, Galani et al. (2021) em comidas das regiões de camarões e Umsza-Guez (2019) em propólis.

Quadro 05- Trabalhos que identificaram agrotóxicos em alimentos e as metodologias utilizadas.

Alimento	Agrotóxico investigados	Agrotóxicos encontrados	Metodologia	Referência
Cana-de-açúcar	<i>Clorantraniliprole</i> e <i>Clotianidina</i>	<i>Clorantraniliprole</i> e <i>Clotianidina</i>	HPLC+CG	CHUANYING CHENG & JIYE HU (2022)
Cana-de-açúcar	Clorantraniliprol	Clorantraniliprol	HPLC+CG	WANG & ZHANG (2017)
Mel	46 pesticidas organoclorados, organofosforados, piretróides e organonitrogênios	Diazinon, Tetradifon, Dicofol, Pirimicarb, Diazinon, gama-HCH, Chlorpyrifos, Fenitron, Malation, beta-HCH, bromopropylate.	Querchers por CG	EISSA et al. (2014)
Vinho tinto, branco e rosé	47 Pesticidas investigados (encontrados 10 Pesticidas)	Atrazine, Malation, Metalaxil, Imazalil, Pyraclostrobine, Difenoconazol, Epoconazol,	CG+MS	NASCIMENTO et al. (2023)

		Tebuconazol, Cyfluthrin, L-cyhalothrin		
11 comidas das 3 maiores cidades de Camarões	23 Agrotóxicos	Alacloro, Aldrin, Dieldrin, Heptacloro, DDT, DDE, DDD, alfa e beta- endosulfan, beta-HCH.	HPLC+MS	Galani et al. (2021)
Própolis	Glifosato, Ácido Aminometilfosfônico (AMPA), Picloram e Atrazina (Herbicidas)	Atrazina e AMPA	HPLC	UMSZA-GUEZ et al, 2019
Vegetais (Espinafre, alface, salsão, salsinha, repolho)	DDT, DDE, DDD	DDT, DDE, DDD	GC-MS	OLATANJI, 2019

Legenda: CG (Cromatografia Gasosa); HPLC: da sigla em inglês Cromatografia Líquida de Alta Pressão; MS: da sigla inglês Espectrofotometria de Massas

A partir desses achados é possível verificar que existem agrotóxicos que são resistentes ao processamento tecnológico intrínseco desses alimentos, pois segundo Cabrera et al. (2014) a eficiência de remoção de resíduos depende do processamento envolvido e das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, tais como estabilidade e interação com o alimento. No caso dos agrotóxicos encontrados em maior frequência como o Clorantraniliprol, a família dos hexaclorociclanos (alfa, beta e gama-HCH), DDT, DDD E DDE), depreende-se então que são sejam estáveis e realizam interações com os alimentos de forma que mesmo após o processamento podemos encontrá-los. Os POPs encontrados pelos pesquisadores nos alimentos se deve a capacidade desses compostos de bioacumulação influenciada pela insolubilidade da substância química em água, propriedade que interfere na eliminação do contaminante no processamento tecnológico (CETESB, 2023). Segundo a COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2023), as evidências de bioacumulação são dadas em algumas regiões, onde é detectada a presença de POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes) (independentemente de haver produção ou uso local), com a constatação que essas substâncias entram nas cadeias alimentares e acumulam-se em peixes, aves, mamíferos marinhos e no próprio homem.

3.6 Cenário regulatório e de monitoramento quanto ao uso de agrotóxico em alimentos no Mercosul e no Mundo

Agravos à saúde podem ocorrer depois de um longo período de consumo de alimentos contendo pequenas concentrações de resíduos de agrotóxicos. Dessa forma, para controlar e monitorar o uso de agrotóxicos em alimentos existem nos países agências regulatórias que visam monitorar esse uso a fim de mitigar riscos a população. A União Europeia, por exemplo, por intermédio dos países membros, Islândia e Noruega, também possuem programas de monitoramento para avaliar os níveis de resíduos de agrotóxicos em alimentos (BRASIL, 2020). Já nos Estados Unidos o Departamento de Agricultura conduz o Programa de Dados sobre Pesticidas (PDP), que foi iniciado em 1991 como parte de uma iniciativa de segurança de alimentos no país. Desde então, o PDP testou 127 produtos diferentes no abastecimento alimentar dos EUA para detectar resíduos de pesticidas, incluindo frutas e vegetais frescos e processados, alimentos para bebês e fórmulas infantis, grãos e produtos de grãos, amêndoas, manteiga de amendoim, leite e produtos lácteos, peixe, carne bovina, suína, aves, ovos, mel, água engarrafada, água subterrânea potável e água potável tratada e ambiente. Utilizando os métodos laboratoriais mais atuais, o PDP testou mais de 700 compostos (pesticidas, metabólitos

e isômeros), incluindo inseticidas, fungicidas, herbicidas e reguladores de crescimento. Este banco de dados contém mais de 44,3 milhões de descobertas de resíduos de pesticidas, incluindo detecções positivas e não detectadas, para os 305. Todavia, não se encontra nesse banco de dados a testagem de açúcar ou cana de açúcar, apesar dos Estados Unidos ser um dos principais países que lideram no uso de agrotóxicos (EUA, 2023).

No caso do MERCOSUL, a Argentina estabeleceu seus próprios LMRs por meio da Resolução SENASA 934/10. No Brasil, o monitoramento à exposição crônica a resíduos de agrotóxicos é conduzido pela ANVISA utilizando dados do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) de 2013 a 2018. O PARA, é uma ação do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), coordenado por essa autarquia em conjunto com os órgãos estaduais e municipais de vigilância sanitária e laboratórios estaduais de saúde pública. O PARA foi criado, como projeto, em 2001 com o objetivo de estruturar um serviço para avaliar e promover a segurança dos alimentos em relação aos resíduos de agrotóxicos (BRASIL, 2020).

A ANVISA utiliza como referência os controles realizados nos Estados Unidos e na União Europeia. No Painel de Monografias, ferramenta que permite o acesso a informações sobre os ingredientes ativos de agrotóxicos em uso no Brasil, pode ser visto 160 agrotóxicos autorizados para estarem presentes na cana-de-açúcar e seus derivados (Melaço, bagaço, açúcar). O Paraguai e Uruguai adota os LMRs recomendados pelo Codex Alimentarius.

Apesar de já existirem ações políticas voltadas ao monitoramento não existem dados nesses bancos de dados que relatem o teor ou tipo de agrotóxico encontrado em açúcares. O Quadro 06 compara as legislações dos países quanto ao uso de agrotóxico em cana-de-açúcar, bem como limite permitido. Como poder ser visto, alguns agrotóxicos permitidos na União Europeia (UE) não estão em uso no Brasil o que pode estar relacionado a finalidade de utilização e eficácia para praga específica daquele local.

Quadro 06- Comparação dos limites residuais (mg.kg^{-1}) da União Europeia em comparação com o Brasil.

Agrotóxico	Limite máximo residual (mg/Kg) por alimento conforme as legislações.	
	União Europeia (UE)	Brasil
Aldrin e Diendrin	0,01	Não permitido
Clordano (α -Clordano e γ -Clordano)	0,01	Não permitido
DDT	0,05	Não permitido
Endrin	0,01	Não permitido
α -HCH	0,01	Não permitido
β -HCH	0,01	Não permitido
γ -HCH	0,01	Não permitido
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	0,01	Não permitido

Adaptado da Monografia da Agência Nacional de Vigilância Sanitária e do trabalho de Janjaroon et al. (2024).

Fonte: Autoria Própria, 2024.

3.7 Alimentos ricos em açúcar

Estudos mostram que o açúcar proveniente da cana-de-açúcar é amplamente utilizado em alimentos industrializados, seja em produtos como refrigerantes, sucos adoçados, biscoitos, doces e outros alimentos processados são os principais veículos de consumo de açúcar adicionado

Para além do supracitado é importante destacar que o consumo de alimentos salgados não isenta do consumo de açúcar, pois a pesquisa de Japur et al., (2021) mostrou que de 2200 alimentos avaliados 30% correspondiam a alimentos salgados que possuíam o açúcar na terceira posição na lista de ingredientes.

Uma das causas para o aumento do consumo de açúcares na dieta deve-se principalmente a diversidade e o aumento da oferta de alimentos industrializados que influenciam os padrões alimentares da população (AQUINO E PHILIPPI, 2002).

O Quadro 07 apresenta a quantidade de açúcar adicionado em alimentos industrializados, conforme os dados obtidos pela monitorização da Anvisa (2021) e pelo estudo

de Faresin (2019). Além de conferir o sabor doce característico, o açúcar desempenha funções importantes nos alimentos, como contribuir para a textura e a palatabilidade (FARESIN, 2019).

Nos sorvetes, por exemplo, o açúcar atua como um componente incongelável, reduzindo a temperatura de congelamento da mistura de água e açúcar à medida que sua concentração aumenta (FARESIN, 2019). Já nos biscoitos, ele tem a função de melhorar a cor, a textura, a aparência e o sabor, além de contribuir para o valor nutricional (MORAES et al., 2010).

Adicionalmente, Moraes et al. (2010) reforça que o açúcar auxilia na conservação do produto devido à sua capacidade de reter umidade, o que garante aos biscoitos uma textura mais macia e agradável.

Quadro 07- Quantidade de açúcar adicionado nos alimentos industrializados.

Alimentos	Quantidade de Açúcar (g.100 g⁻¹)
Biscoitos doces sem recheio	22,6
Biscoitos Maria e Maizena	22,8 a 36,4
Biscoito tipo rosquinha	28,2
Biscoito tipo waffer	38,4
Bebidas lácteas fermentadas	13,8
Bebidas lácteas não fermentadas	12,9
Achocolatado em pó	85
Refrigerantes	10,51
Sorvetes	12 a 17

Adaptado do relatório de monitoramento de açúcar em alimentos pela ANVISA (2021) e Faresin (2019). **Fonte:** Autoria própria, 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O açúcar, especialmente o derivado da cana-de-açúcar, desempenha um papel essencial na indústria de alimentos devido às suas propriedades nutricionais e sensoriais, como o fornecimento de energia e a melhoria da textura e palatabilidade dos alimentos. A produção de açúcar envolve processos tecnológicos que resultam em diferentes tipos de cristais, como o cristal branco e o orgânico, com base em diferentes etapas de processamento. No entanto, a indústria açucareira enfrenta desafios, principalmente relacionados ao uso de agrotóxicos no cultivo da cana-de-açúcar, o que pode comprometer a qualidade e a segurança do produto e atender as legislações nacionais e internacionais.

REFERÊNCIAS

ABHILASH, P. C., & SINGH, N. (2009). **Pesticide use and application: An Indian scenario.** *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1–12

ALLESCHER, H. D. *et al.* Effect of opioid active therapeutics on the ascending reflex pathway in the rat ileum. *Neuropeptides*, v. 34, p. 181-186, 2000.

ANVISA. Relatório do Monitoramento do Teor de Açúcares em alimentos industrializados. 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/monitoramento/programas-nacionais-de-monitoramento-de-alimentos/relatorio-do-monitoramento-do-teor-de-acucar-em-alimentos-industrializados-do-ano-de-2021/view>>. Acesso em 07 de Novembro de 2024.

AQUINO, R.C.; PHILLIPI, S.T. **Consumo infantil de alimentos industrializados e renda familiar na cidade de São Paulo.** *Rev Saúde Pública* 2002;36(6):655-60.

ARMAS, E.D.; MONTEIRO, R.T.S.; AMANCIA, A.V.; CORREA, R.M.L.; GUERCIO, M.A. Uso de Agrotóxicos em Cana-De-Açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de Poluição Hídrica. *Quim. Nova*, 28(6): 975-982, 2005.

ARGENTINA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Resolución-934-2010-SENASA. SENASA: 2021 Disponível em: <<http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-934-2010-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>>. Acesso em 6 de novembro de 2024.

AUDIE, J.; BOYD, C. **The synergistic use of computation, chemistry and biology to discover novel peptide-based drugs: the time is right.** *Current Pharmaceutical Design*, v. 16, p. 567-582, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Agrotóxico em Alimentos. Disponível em: < <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/perguntasfrequentes/agrotoxicos/agrotoxicos-em-alimentos>>. Acesso em 10 de Junho de 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Agrotóxico em Alimentos. Disponível em:< <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/perguntasfrequentes/agrotoxicos/agrotoxicos-em-alimentos>>. Acesso em 10 de Junho de 2022.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Monografia de Agrotóxico.** Disponível em:< <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>>. Acesso em 16 de julho de 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa número 47: Regulamento Técnico do Açúcar.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. Diretrizes brasileiras para o diagnóstico e Tratamento de intoxicação por agrotóxicos [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. – Brasília : Ministério da Saúde, 2020.

BRITO, N. L. H. **Substituição de açúcar por edulcorantes em biscoitos do tipo cookie.** Trabalho de conclusão de curso de graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR):2023.

CASSAL, V.B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R.P., DANÚBIO,G.S.; SIMÃO, R.S. **Agrotóxico: uma revisão de suas consequências para a saúde pública.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 18:1,437-445, 2018.

CASSAL, V.B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R.P., DANÚBIO,G.S.; SIMÃO, R.S. **Agrotóxico: uma revisão de suas consequências para a saúde pública.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 18:1,437-445, 2018.

CEFET - Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais. **Cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massa.** Disponível em:< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAa8AI/cromatografia-gasosa-acolpada-a-espectrometria-massa>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

CEFET - Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais. **Cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massa**. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAa8AI/cromatografia-gasosa-acoplada-a-espectrometria-massa>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

CHENG, C.; HU, J. **Residue levels of chlorantraniliprole and clothianidin in rice and sugar cane and chronic dietary risk assessment for different populations**. *Microchemical Journal* 183 (2022) 107936.

CHIATRAKUL, J.; TERDWONGWORAKUL, A.; PHUANGSOMBUT, K.; PHUANGSOMBUT, A. **Improved evaluation of commercial cane sugar content in sugarcane stalk using near infrared hyperspectral imaging and stalk axis rotation technique Jirawat Chiatrakul**. *Biosystems Engineering Volume 223, Part A*, novembro de 2022 , páginas 161-173

COELHO, L.F.; BRAGAGNOLO, C. **Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros**. *Estud. Econ., São Paulo*, vol.54 n.1, p.167-204, jan.-mar. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1980-53575416lccb>

COLLINS, C.H. BRAGA; G.L. BONATO; PIERINA, S. **Fundamentos de Cromatografia**. Editora Unicamp - Campinas, SP. 2006.

Dalley CD, Richard EP. Herbicidas como maturadores para cana-de-açúcar. *Ciência das ervas daninhas* . 2010;58(3):329-333. doi:10.1614/WS-D-09-00001.1

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. **Programa de Dados dos Pesticidas**. Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/datasets/pdp>>. Acesso em 19 de Setembro de 2023.

DHANKHAR, N.; KUMAR, J. **Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review**. *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>

EISSA, F. EL-SAWI, S.; ZINAN, N.E.H. **Determining Pesticide Residues in Honey and their Potential Risk to Consumers**. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 23, No. 5 (2014), 1573-1580

FARESIN, L.S. Desenvolvimento de sorvete funcional com redução de açúcar e gordura. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Passo fundo: 2019.

FONTANETTI, C.S.; BUENO, O.S. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017. p. 51

FONTANETTI, C.S.; BUENO, O.S. *Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica*. Bauru, SP: Canal 6, 2017. p. 51

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Pesticide use, pesticide trade and pesticide indicators**. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/cc0918en/cc0918en.pdf>>. Acesso em 01 de Setembro de 2023.

FURLANI, A. MARCILIO, K.M. LEME, F.M.; TFOUNI, S.A.V. **Analysis of pesticide residues in sugarcane juice using QuEChERS sample preparation and gas chromatography with electron capture detection**. *Food Chemistry* 126 (2011) 1283–1287.

GALANI, Y.J.H.; HOUBRAKEN, M.; WUMBELI, A.; DJEUGAP, J.; FOTIO, D.; GONG, Y.Y.; SPANOGHE, P. **Contamination of Foods from Cameroon with Residues of Halogenated Pesticides, and Health Risk of Adult Human Dietary Exposure**. *Int. j. Environment. Res. Public Health*, 2021, 18, 5043.

GRYGLEWICZ, S., & PIECHOCKI, W. **Conversion Pathways of DDT and Its Derivatives during Catalytic Hydrodechlorination**. *Polish Journal of Environmental Studies*, (2010). 19 (4), 715–721.

JANJAMROON, W.; SRIPROM, P.; KAEWLAOYOONG, A.; CHERUIYOT, N.C.; PERMANA, L.; MANAMOONGMOONGKOL, K.; PHUMJAN, L. **Organochlorine pesticide residues persist throughout the sugar production process**. *Journal of Food Composition and Analysis* 125 (2024) 105720

LOPES, C.A.V.; ALBURQUE, G.S.C. **Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática**. *Saúde debate: Rio De Janeiro*. 42:117, 518-534, 2018.

LOPES, C.H. **Tecnologia de produção de açúcar de cana**. São Paulo: EdUSFcar, 2011. P.75-183;

MEDEIROS, A.R. **Estudo da composição química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM) do óleo fixo das sementes de abóbora, cuité, jaca, melancia e da casa de cuité**. Monografia (Curso de Graduação em Farmácia). Universidade Federal de Campo Grande, 2015.

MENDES, C. R.A.; MENDES, C. E. P.; SANTOS, F. S. E.; LUZ, K. S. R.; SANTANA, L. P. **AGROTÓXICOS: principais classificações utilizadas na agricultura brasileira - uma revisão de literatura**. *Revista Maestria*, v.17, p. 95-107, 2019.

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

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes brasileiras para o diagnóstico e tratamento de intoxicações agudas por agrotóxicos.** Brasília: DF, 2020.

MORAES, K.S.; ZAVAREZE, E.R.; MIRANDA, M.Z.; SALAS-MELLADO, M.M. **Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar.** Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(Supl.1): 233-242, maio 2010.

MOTA, A.L.C.; BARBOSA, I.M.; RODRIGUES, A.B.; CHAVES, E. M.C.C.; ALMEIDA, P.C. **Pesticide exposure and risk of Central Nervous System tumors in children: a systematic review with meta-analysis.** Ciência & Saúde Coletiva, 28(9):2583-2594, 2023.

NASCIMENTO, M.M.; DOS ANJOS, JEANCARLO P.; NASCIMENTO, M.L.; FÉLIX, C.A.; ROCHA, G.O.; ANDRADE, J.B. **Development of a green liquid-phase microextraction procedure using a customized device for the comprehensive determination of legacy and current pesticides in distinct types of wine samples.** TALANTA. 2023. 124914. ISSN 0039-9140. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.124914>.>

NASCIMENTO, M.M.; NASCIMENTO, M.L.; DOS ANJOS, J.P.; CUNHA, R.L.; ROCHA, G.O.; DOS SANTOS, I. F.; PEREIRA, A.P.; ANDRADE, J. B. **A green method for the determination of illicit drugs in wastewater and surface waters-based on a semi-automated liquid-liquid microextraction device.** Journal of Chromatography A. 2023,464230,ISSN 0021-9673. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.464230>>

NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A. **Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar: Cenários e Agenda Estratégica.** Econ. Aplic. 11: 4, 587-604, OUTUBRO-DEZEMBRO 2007.

NG, S. W.; SLINING, M. M.; POPKIN, B. M. Use of caloric and noncaloric sweeteners in US consumer packaged foods, 2005-2009. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, v. 112, n. 11, p. 1828- 1834, 2012.

OLATANJI, O.S. **Evaluation of selected polychlorinated biphenyls (PCB) congeners and dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) in fresh root and leafy vegetables using GC-MS.** Nature (2019) 9:538. DOI: 10.1038/s41598-018-36996-8.

OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA JÚNIOR, J.F.S. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia.** Ciênc. Tecnol. Aliment. 27(supl.): 99-102, 2007.

OLIVEIRA, T.C.; LANÇAS, F.M. **Determination of selected herbicides in sugarcane-derived foods by graphene-oxide based disposable pipette extraction followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry.** *Journal of Chromatography A* Volume 1687, 4 de janeiro de 2023 , 463690.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais Divisão da População: Perspectivas da População Mundial (2024).** Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/DataSources/156>>. Acesso em: 26 de Outubro de 2024.

PARAGUAI. Servicio Nacional de Calidad de Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE). **Resoluciones del Servicio Nacional de Calidad de Sanidad Vegetal y de Semillas. SENAVE: 2021.** Disponível em: <<https://www.senave.gov.py/resoluciones-del-senave>>. Acesso em 6 de novembro de 2024.

PITTELLA, C.M. **Determinação de resíduos de agrotóxicos em mel de abelhas (*Apis sp*) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária (2009).

PITTELLA, C.M. **Determinação de resíduos de agrotóxicos em mel de abelhas (*Apis sp*) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária (2009).

POPKIN BM, HAWKES C. **Sweetening of the global diet, particularly beverages: patterns, trends, and policy responses.** *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2015; 4(2): 174-186.

RAMOS, V.P.; MENESES, C.O.R. **Efeitos do consumo excessivo de açúcar sobre o desempenho cognitivo: uma revisão de literatura.** *Brazilian Journal of Health Review*, Curitiba, v.4, n.6, p. 24931-24951 nov./dec. 2021.

REIS, F.C.; VICTÓRIA FILHO, R.; ANDRADE, M.T.; BARROSO, A.A.M. **Use of herbicides in sugarcane in the São Paulo state.** *Planta Daninha* 2019; v37:e019184227.

RUSSELL, C., BAKER, P., GRIMES, C., LINDBERG, R., & LAWRENCE, M. A. **Global trends in added sugars and non-nutritive sweetener use in the packaged food supply: drivers and implications for public health.** *Public Health Nutrition*, 2023, 26(5), 952-964.

SAMPAIO, M.R.F.; TOMASINI, D.; CARDOSO, L.V.; CALDAS, S.S.; PRIMEL, E.G. **Determination of Pesticide Residues in Sugarcane Honey by QuEChERS and Liquid Chromatography.** *J. Braz. Chem. Soc.*, 23(2):197-205, 2012.

SAMPAIO, M.R.F.;TOMASINI,D.; CARDOSO, L.V.; CALDAS,S.S.;PRIMEL, E.G. Determination of Pesticide Residues in Sugarcane Honey by QuEChERS and Liquid Chromatography. *J. Braz. Chem. Soc.*, 23(2):197-205, 2012.

SANTOS, M.T; PONTES, M.A.N.;MORAIS, M.F.S.;NETA, M.N.S.; SILVA, D.D. **Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações.** Disponível em: <http://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf>. Acesso em 18 de dezembro de 2022.

SANTOS, M.T; PONTES, M.A.N.;MORAIS, M.F.S.;NETA, M.N.S.; SILVA, D.D. **Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações.** Disponível em: <http://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf>. Acesso em 18 de dezembro de 2022.

SERVIÇO FLORESTAL DOS ESTADOS UNIDOS. **Gestão e Coordenação de Pesticidas.** Disponível em: <<https://www.fs.usda.gov/foresthealth/protecting-forest/integrated-pest-management/pesticidemanagement/pesticide-training-links.shtml>> . Acesso em 19 de Setembro de 2023.

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

SILVA, R.F. **Qualidade microbiológica, físico-química, instrumental e sensorial de marcas de açúcar mascavo.** 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2017.

SKOOG, D.A; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Principles of Instrumental Analysis. CHAPTER TWENTY-SEVEN Gas Chromatography.** Sétima Edição. Cengage Learning: 2016. P-720-746.

SKOOG, D.A; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Principles of Instrumental Analysis. CHAPTER TWENTY-SEVEN Gas Chromatography.** Sétima Edição. Cengage Learning: 2016. P-720-746.

TORO, S.H.J.; GÓMEZ-NARVÁEZ, F.; CONTRERAS-CALDERÓN, J.; ARISSETO, A.P. **Acrylamide in sugar products**. *Current Opinion in Food Science* 45(2022) 100841.

UMSZA-GUEZ, M.A.; SILVA-BELTRAN, N.P.; MACHADO, B.A.S.; BALDERRAMA-CARMONA, A.P. **Herbicide determination in Brazilian própolis using high pressure liquid chromatography**. *International Journal of Environmental Health Research*. DOI: 10.1080/09603123.2019.1670335

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR E BIOENERGIA DO BRASIL. **AÇÚCAR- BRASIL: O MAIOR PRODUTOR MUNDIAL DE AÇÚCAR**. Disponível em: < <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/acucar/>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Sugar: World Markets and Trade**. Disponível em:< <https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Guatemala Sugar Exports are Down While Domestic Demand Continues to Grow**. Disponível em:< <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/sugar.pdf>>. Acesso em 26 de Outubro de 2024.

URUGUAI. **Decreto 317 de 2 de agosto de 2007**. Montevideu: Presiden cia de la República; 2007. Disponível em: <<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/317-2007>>. Acesso em 02 de Novembro de 2024.

VAN DER POEL, P. H.; SCHIWECK, H.; SCHWARTZ, T. *Sugar technology: Beet and Cane Sugar Manufacture*. Berlin: Dr. Albert Bartens, 1998.

WEI, Y.; WANG,L.; LIU, J. **The diabetogenic effects of pesticides: Evidence based on epidemiological and toxicological studies**. *Environmental Pollution Volume 331, Part 2, 15 August 2023, 121927*.

WANG, D.; ZHANG, K. **Determination of the dissipation dynamics and residue behaviors of chlorantraniliprole in sugarcane and soil by LC–MS/MS**. *Enviroment Monit Asses* (2017) 189:372. DOI 10.1007/s10661-017-6099-8

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK,A.; LISIK, K. **Contamination of commercial cane sugars by some organic acids and some inorganic anions**.

ZAHRA
ASGHAR HEMMATI, AZADEH ASHTARINEZH. **Occurrence pesticide residues in produced sugar from sugarcane**. *Toxicology Letters Volume 180, Supplement, 5 October 2008, Pages S193-S194*.
NAZARI KHORASGANI, ALI

ZUIN, V.G.; SCHELLIN, M.; MONTERO, L.; YARIWAKE, J.H.; AUGUSTO, F. ; POPP, P. **Comparison of stir bar sorptive extraction and membrane-assisted solvent extraction as enrichment techniques for the determination of pesticide and benzo[a]pyrene residues in Brazilian sugarcane juice.** *Journal of Chromatography A*, 1114 (2006) 180–187.

Capítulo II

Manuscrito: Caracterização físico-química de diferentes açúcares de cana (Saccharum officinarum) comercializados em países do Mercosul: Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai

1 **Caracterização físico-química de diferentes açúcares de cana (*Saccharum officinarum*)**
2 **comercializados em países do Mercosul: Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai**

3
4 Josenai Penha Porto¹; Jeancarlo Pereira dos Anjos²; Idalia Helena Santos Estevam ³; Luis
5 Fernandes Pereira Santos⁴; Marcelo Andrés Umsza-Guez^{1*}

6
7 ¹ *Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo s/n - Ondina, CEP: 40170.115,*
8 *Salvador-BA, Brasil*

9 ² *Universidade Federal do ABC, Avenida dos Estados, 5001 - Bloco A - Sala 650-3- Santa*
10 *Terezinha, CEP: 09210580, Santo André-SP, Brasil.*

11 ³ *Universidade Estadual da Bahia, Rua Silveira Martins, 2555, CEP: 40301-110, Salvador-BA,*
12 *Brasil.*

13 ⁴ *Rua Basílio da Gama, s/n, bairro Canela, Escola de Nutrição, Universidade Federal da Bahia,*
14 *40.110-907, Salvador, BA, Brasil.*

15
16
17
18
19
20

Periódico a ser submetido (1ª <i>Food Production, Processing and Nutrition, ISSN.</i> submissão): 26618974

Maior percentil (Scopus): https://www.scopus.com/sourceid/21101075728
--

Periódico a ser submetido (2ª <i>Food Science and Nutrition, E-ISSN:2048-7177</i> submissão):
--

Maior percentil (Scopus): https://www.scopus.com/sources
--

21
22
23 ***Corresponding author:** *Marcelo Andrés Umsza Guez (Programa de Pós Graduação em*
24 *Ciência de Alimentos, Rua Barão de Jeremoabo s/n - Ondina - Salvador - Bahia - CEP:*
25 *40170.115. Telefone: (71) 3283-6920. E-mail: marcelo.umsza@ufba.br*

26 RESUMO

27 A caracterização físico-química do açúcar advindo da cana-de-açúcar é essencial para
28 classificar o tipo de açúcar de acordo com os requisitos do Codex. Este trabalho buscou analisar
29 diferentes tipos de açúcares comercializados no Mercosul (Uruguai, Paraguai, Argentina e
30 Brasil), avaliando a polarimetria (m/m), cor (Coordenadas cartesianas e polares: L*, a*, b*, C*,
31 h), e concentração de Ferro e Cobre. Os resultados dos parâmetros de cor mostraram que o
32 açúcar demerara e mascavo apresentam suas colorações próximas ao amarelo e vermelho,
33 através dos parâmetros de a*, b* e h*. Enquanto os açúcares cristais e refinados apresentaram
34 maiores índices de luminosidade e de saturação mais próximas ao cinza confirmando sua
35 coloração mais branca. Adicionalmente, foi observado um desvio polarímetro maior para os
36 açúcares mascavos, o que sugere moléculas opticamente ativas que interferem no desvio
37 polarimétrico. No que tange à análise de minerais, os resultados ressaltam a importância de
38 considerações específicas ao avaliar a composição mineral dos açúcares e sua conformidade
39 com normas e recomendações internacionais, particularmente para exportação. Pois, observou-
40 se que em relação aos parâmetros internacionais para concentração de ferro e cobre estavam
41 fora dos valores preconizados.

42

43 **Palavras-Chaves:** Açúcar, colorimetria, coordenadas, minerais, sacarose.

44

45

46 1 INTRODUÇÃO

47

48 Açúcares, incluindo dissacarídeos e monossacarídeos, são carboidratos produzidos
49 pelas plantas através da fotossíntese. Diversas plantas são consideradas fontes de açúcares,
50 sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a beterraba sacarina (*Beta vulgaris*) aquelas
51 com as maiores concentrações naturais já registradas. Cerca de 86% das culturas açucareiras
52 provêm da cana-de-açúcar, que crescem principalmente nas regiões tropicais e subtropicais.
53 Mais de 100 países produzem açúcar tendo a cana como base (TORO et al. 2020; WOJTCZAK,
54 ANTCZAK e LISIK, 2012; RAMOS E MENESES, 2021).

55 De todos os itens originados da cana-de-açúcar, o açúcar sobressai às diversas utilidades
56 na nutrição humana e na indústria alimentícia. Isso ocorre porque ele funciona como fonte de
57 energia e por fornecer atributos distintivos, como consistência, estrutura, sabor, durabilidade,
58 densidade, doçura (COELHO & BRAGNALOLO, 2024; MACHADO, 2012; FARESIN, 2019;

BRITO et al., 2023). Sua fabricação consiste em operações unitárias que visam extrair o caldo da cana-de-açúcar e posteriormente concentrá-lo em forma de cristais, o que a depender das etapas resulta em diferentes tipos: demerara, cristal branco, refinado e dentre outros (MACHADO, 2012; MESSA E NESPOLO, 2017; LOURENÇO, 2023). A qualidade do açúcar é regida por legislações específicas de cada país que utilizam o *CODEX ALIMENTARIUS* como base para suas próprias normativas. No CODEX, o açúcar em seu padrão de identidade e qualidade está relacionado com alguns parâmetros, entre eles o teor de sacarose mensurado na escala de polarização (pol), índice de cor e teor de ferro. Características essas que são importantes para categorizar o açúcar e definir sua avaliação comercial (MACHADO, 2012).

Em 2016, a DATAGRO (CONSULTORIA AGRÍCOLA INDEPENDENTE) comparou os dois blocos econômicos e o Mercosul possui uma produção de açúcar de 37,40 milhões de toneladas em comparação com a União Europeia (16,8 milhões de toneladas). UE não consegue atender sua demanda interna e depende de importações, enquanto o destaque do Mercosul é o Brasil, principal produtor mundial de açúcar, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023)

Diante do exposto, este trabalho teve com objetivo de analisar amostras diferentes de açúcar (mascavo, demerara, cristal, orgânico e orgânico) produzidos no MERCOSUL para verificar se atendem os padrões de identidade e qualidade estabelecidos no *Codex Alimentarius*, considerando os critérios de cor (L^* , a^* , b^* , C^* , h), polarimetria (sacarose) e contaminantes químicos (ferro e cobre).

79

80 **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

81

82 **2.1 Amostras**

Foram coletadas 36 amostras de açúcares (12 de Mascavo, 10 Cristal, 5 Demerara, 5 Refinado, 3 Cristal Orgânico, 1 Demerara Orgânico) comercializadas nos mercados varejistas da Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil. As amostras foram catalogadas quanto a origem (País/Estado), quando descritos no rótulo e denominação de venda legal informada pelo fabricante ou empacotador, além disso foram retiradas fotos dos painéis de rotulagem (frontal, lateral, posterior). Após o recolhimento das informações, as amostras foram armazenadas em suas embalagens originais e mantidas em temperatura de 21 graus celsius.

90 Considera-se a seguinte identificação das Amostras: *Cristal*: 01 PY (Paraguay-
91 Assunción); 02 PY (Paraguay-Caaguzu); 03 PY (Paraguay - Fernadno de la Mora); 04 AR
92 (Argentina – Tucumán); 05 UR (Uruguai); 06 BR (Brasil -Ceará); 07 BR (Brasil-Goiás); 08 BR
93 (Brasil-Goiás); 09 BR (Brasil-Ceará); 10 BR (Brasil-São Paulo); *Refinado*: 11 AR (Argentina-
94 Jujuy); 12 AR (Argentina-Tucumán); 13 AR (Argentina); 14 PY (Paraguai-Luque); 15 UR
95 (Uruguai). *Cristal Orgânico*: 16 BR (Brasil-São Paulo); 17 BR (Brasil-São Paulo); 18
96 PY(Paraguai). *Demerara*: 19 BR (Brasil-São Paulo); 20 BR(Brasil-Paraná); 21 BR (Brasil-
97 Mato Grosso); 22 BR (Brasil-São Paulo); 23 BR (Brasil-São Paulo), *Demerara Orgânico*: 24
98 BR(Brasil-Orgânico). *Mascavo*: 25 BR (Brasil-São Paulo); 26 BR (Brasil-Pará); 27 BR (Brasil-
99 Mato Grosso); 28 BR(Brasil-Paraná); 29 BR (Brasil-São Paulo); 30 BR (Brasil -São Paulo); 31
100 BR (Brasil-São Paulo); 32 BR (Brasil-Minas Gerais); 33 PY(Paraguai-Guairá); 34 PY
101 (Paraguai-San Lorenzo); 35 BR (Brasil-São Paulo); 36 AR (Argentina).

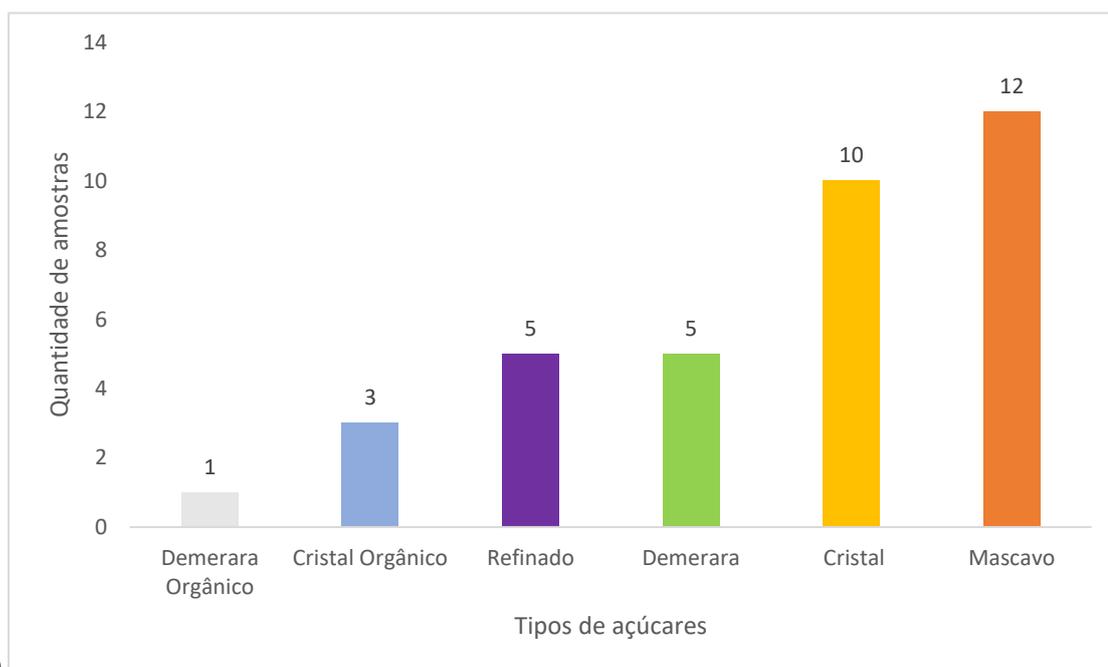
102 A Figura 2a mostra o quantitativo de 36 amostras coletadas nos diferentes países: Brasil,
103 Argentina, Paraguai e Uruguai. Percebe-se que o Brasil foi o país que mais apresentou amostras
104 nesse trabalho (22), isso se deve, a extensão territorial brasileira e facilidade de acesso as
105 amostras pelos autores. Já a Figura 2b podemos verificar a quantidade de amostras por
106 diferentes tipos de açúcares (12 de Mascavo, 10 Cristal, 5 Demerara, 5 Refinado, 3 Cristal
107 Orgânico, 1 Demerara Orgânico). O açúcar mascavo foi predominante no quantitativo, seguido
108 do cristal, demerara, refinado, cristal orgânico, demerara orgânico.

Países com Amostras



Da plataforma Bing
© Microsoft, OpenStreetMap, Overture Maps Foundation

109 a)



110 b)

111 **Figura 2. a)** Quantidade de amostras obtidas dos Países: Brasil (BR- 22 amostras), Paraguai
112 (PY- 07 amostras), Uruguai (UR- 02 amostras) e Argentina (AR- 05 amostras). **b)** Número de
113 amostras por diferentes tipos de açúcares.

114

115

116

117

118

119 2.2 Análise de Cor

120

121 A cor foi avaliada utilizando um colorímetro Minolta CR-5 no espaço de cor CIELab,
122 com iluminante padrão D65 e ângulo de observação de 2°, conforme a metodologia do
123 fabricante. As coordenadas CIELab e CIELCh, que definem a cor em um espaço tridimensional
124 com valores de cor (L^* (luminosidade), a^* (vermelho/verde) e b^* (amarelo/azul)). O croma (C^*)
125 representa a saturação ou intensidade da cor, enquanto (h) representa o ângulo de tonalidade,
126 ou seja, define a cor observável, começando em $+a^*$ (0°, vermelho), passando por $+b^*$ (90°,
127 amarelo), $-a^*$ (180°, verde) e $-b^*$ (270°, azul). As variações de cor foram expressas pelo ângulo
128 Hue (h) e pela saturação da cor (C^*). (HUNTERLAB, 1996; GAYA; FERRAZ, 2006).

129

130 2.3 Determinação de sacarose por polarimetria.

131

132 Foi utilizada uma metodologia adaptada pela ASSOCIATION OF OFFICIAL
133 ANALYTICAL CHEMISTS (2020). 26 g de açúcar foram diluídas 100 mL de água ultrapura.
134 A solução foi transferida para a ampola do Polarímetro Óptico P1000-LED (marca: A. KRÜSS
135 Optronic GmbH) e a leitura foi realizada com luz monocromática de sódio ($\lambda = 589,2$ nm) para
136 determinar a porcentagem de sacarose ou o desvio polarimétrico, a uma temperatura constante
137 de $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ com faixa de leitura de 0-180°. O valor obtido foi registrado para calcular a
138 massa de sacarose (m/m), conforme equação abaixo:

139

140 Eq. 01: $L \cdot 100 / 34,62 =$ sacarose por cento m/m

141 Legenda:

142 L = leitura no polarímetro ($\alpha_D 20$)

143

144 2.4 Teores de Minerais: Ferro e Cobre

145

146 Para a análise de minerais foi realizada uma digestão à quente em um reator de
147 laboratório MARS 6 *Synthesis* (radiação micro-ondas). Aproximadamente 0,3g de amostra
148 foram adicionados aos frascos reatores no qual foram adicionados 3 ml de ácido nítrico e 1 ml
149 de peróxido de hidrogênio, posteriormente avolumando para balões de 10ml com água de miliq
150 ultrapura. Em seguida, foram analisados em espectrofotômetro de feixe duplo de absorção
151 atômica modelo Varian AA240 com o software Agilent SpectrAA Base conforme (AOAC,
152 2020).

153

154 **2.5 Análise Estatística**

155

156 Todas as análises foram conduzidas utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2024),
157 com um nível de significância de 5%. Primeiramente, foram realizadas análises descritivas dos
158 dados em função dos grupos, com a utilização de médias, desvios padrão. Subsequentemente,
159 foram realizadas as análises exploratórias dos dados. Para testar a hipótese de nulidade para
160 cada variável, foi aplicada Análise de Variância (ANOVA one way) e teste de Tukey.

161

162 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

163

164 **3.1 Análise de Cor**

165

166 A diferença total de cor entre os açúcares reflete a distância entre os tipos, indicando a
167 classificação em mascavo, demerara, cristal ou refinado. Na Figura 3 (Coordenadas cartesianas
168 -CIELab), Figura 4 (Coordenadas Polares- CIELCh) e Tabela 1S (ver no arquivo suplementar)
169 são apresentados os resultados do valor L*, a*, b*, C* e h. Esse limiar visual é considerado
170 importante quando há uma alteração nesses parâmetros de pelo menos 3 unidades CIELab, o
171 que é perceptível a um observador típico (ASSUNÇÃO et al., 2024). Assim, a diferença de cor
172 foi detectada nas amostras analisadas. Isso se deve a muitos compostos presentes na *Saccharum*
173 *officinarum* serem transferidos para o açúcar durante o processo de fabricação, o que influencia
174 diretamente sua coloração. Nesse contexto, a temperatura de cozimento do caldo (105 °C) e a
175 de cristalização do xarope (75 °C), além do branqueamento, desempenham papéis cruciais na
176 definição das características visuais do produto. Esses fatores combinados determinam as
177 propriedades específicas de cada tipo de açúcar, seja ele cristal, demerara ou mascavo
178 (CLARKE; BLANCO; GODSHALL, 1984; SMITH; PATON, 1985).

179 Valores maiores de luminosidade L* indicam maior refletância luminosa em produtos
180 de coloração mais clara (SOUZA et al., 2023), como observado nos açúcares refinados que
181 superaram estatisticamente 92,1% das outras amostras de açúcares avaliados (Figura 3, 4 e
182 Tabela 1) ($p < 0,05$), atribuída ao processo de branqueamento típico desse açúcar (MACHADO,
183 2012).

184 Para os açúcares demerara e mascavo, os valores para a* se encontram dentro dos
185 intervalos de 2,21 a 3,96 e 3,25 a 6,76, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1S). A presença dos

186 compostos fenólicos no caldo de cana-de-açúcar é responsável por conferir a coloração marrom
187 avermelhada (MAGRI, 2020). Já os açúcares cristal e refinado apresentaram a maior parte seu
188 resultado negativo ($>2,0$ a $-1,99$; $1,6$ a $-1,99$) para este parâmetro de cor (Figura 3 e Tabela 1S),
189 esta diferença pode ser justificada através da decomposição de flavonoides que durante a
190 clarificação da moagem, em decorrências das altas temperaturas empregadas durante o processo
191 (COSTA et al., 2014; SMITH & PATON, 1985).

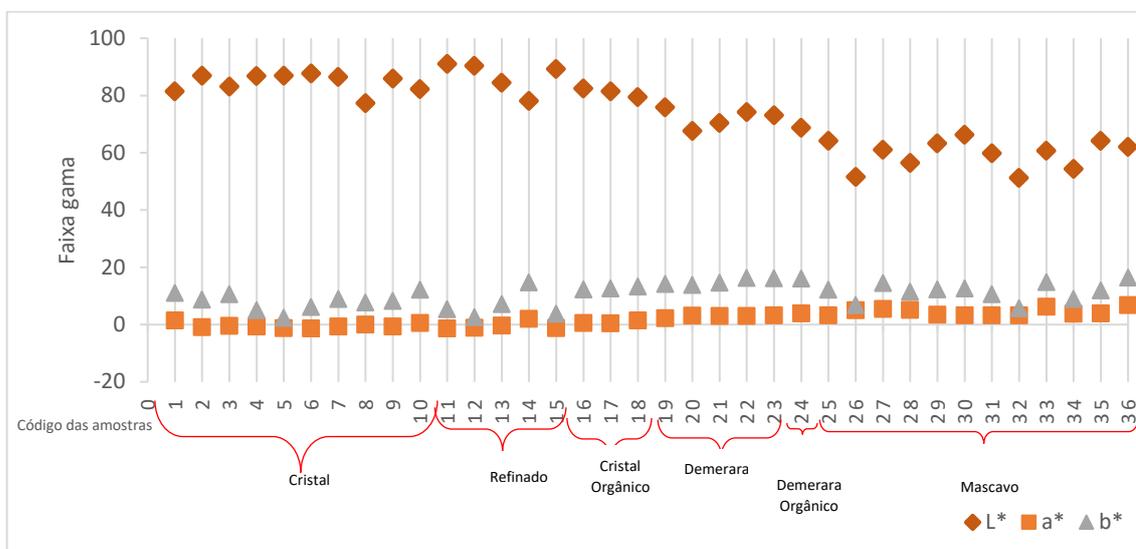
192 Os valores de b^* se encontram positivos nas amostras indicando uma coloração amarela
193 presente. Nesse trabalho, foram encontrados os intervalos de $2,40$ a $12,21$ (Açúcar Cristal); $2,58$
194 a $14,69$ (Refinado); $14,17$ a $16,32$ (Demerara); $5,72$ a $16,37$ (Mascavo). Entre os compostos
195 responsáveis por essa cor, destacam-se os fenólicos, derivados dos ácidos cinâmico e benzóico,
196 que apresentam colorações que variam de incolor a amarelo. Além disso, os flavonoides, que
197 englobam substâncias na faixa do amarelo (ROUPA & ASOKAN, 2008; GODSHALL, 1984).

198 Foram encontrados no índice C^* para os açúcares cristais e refinados os valores de
199 valores de $2,67$ a $11,05$ e $2,58$ - $14,69$. Para o índice C^* resultados iguais a 0 significam a cor
200 cinza, nesse trabalho, como os resultados estão diferentes de zero que os açúcares estão mais
201 próximos ao branco.

202 Os resultados das coordenadas cartesianas (CIELab) concordam com os resultados
203 encontrados no ângulo Hue (coordenada polar) que indicam que os açúcares demeraras e
204 mascavo estão mais próximos ao vermelho, pois os valores apresentados nesse parâmetro
205 corresponderam a $76,16$ a $81,16$ e $53,43$ a $75,39$, respectivamente (Figura 4 e Tabela 1S). O
206 açúcar mascavo e o demerara, por passarem por menos processamento comparado ao açúcar
207 cristal, mantêm uma maior concentração de compostos fenólicos (SAMPAIO et al., 2023).
208 Especificamente no caso do açúcar mascavo, estudos apontam para uma quantidade
209 significativa de compostos como o ácido ferúlico e o ácido caféico, esses ácidos impactam a
210 coloração marrom a avermelhada. Em contrapartida, o açúcar cristal e o refinado, possui uma
211 concentração consideravelmente menor desses compostos, uma vez que o processo de
212 refinamento elimina grande parte dos nutrientes originalmente presentes na cana-de-açúcar. No
213 entanto, é possível encontrar traços de compostos fenólicos no açúcar cristal, dependendo do
214 método de processamento utilizado e da origem da cana (SAMPAIO et al., 2023).

215 Assim, ao considerar a composição e o impacto do processamento, podemos
216 compreender melhor como diferentes tipos de açúcar adquirem suas propriedades distintas,
217 tanto em termos de coloração quanto de benefícios à saúde.

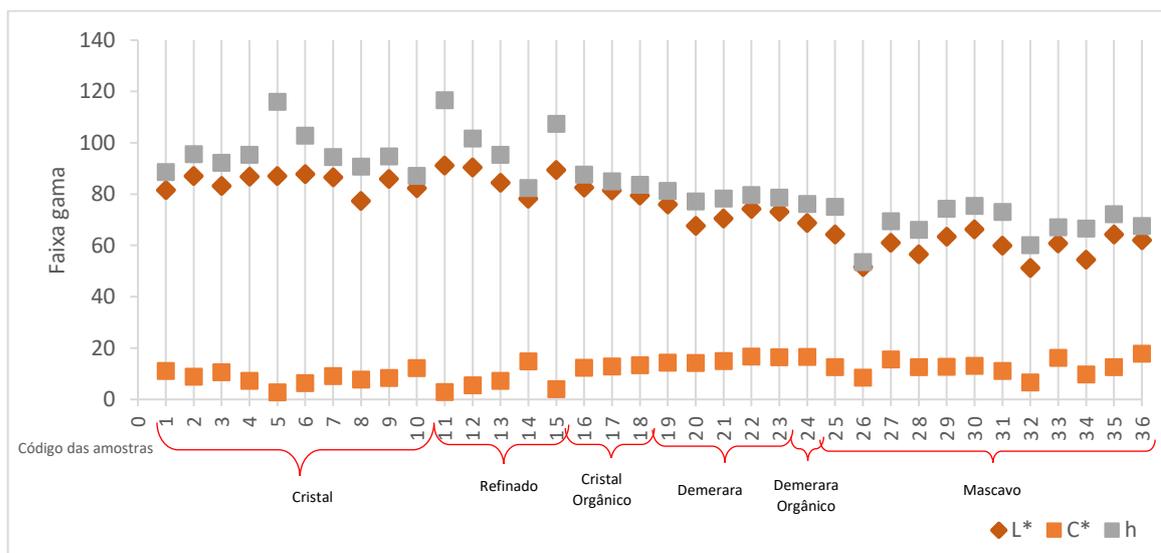
218



219

220 **Figura 3.** Valores colorimétricos das amostras de açúcar avaliadas de coordenadas cartesianas
 221 (CIELab) (n=3).

222



223

224 **Figura 4.** Valores colorimétricos das amostras de açúcar avaliadas de coordenadas polares
 225 (CIELCh) (n=3).

3.3 Determinação de Sacarose (m/m) por polarimetria

A quantidade de sacarose na cana-de-açúcar depende das condições ambientais durante o crescimento e do período de concentração de açúcar (AUDE, 1993). No entanto, de acordo com Caputo et al., (2007) apesar da alta produtividade da cana-de-açúcar os produtores enfrentam dificuldade na safra devido a necessidade da precocidade da colheita para atender a demanda da indústria, o que impacta na ausência de padronização de teores de polarização e consequentemente teores de sacarose. Com isso, os processos de fabricação possuem o objetivo de retirar o máximo de sacarose no mel final, fazendo-se necessário o “balanço de massa de pol” para detalhar as perdas de açúcar (sacarose) que ocorrem no processo industrial (MACHADO et al., 2012). É importante destacar que apesar dos problemas da safra, para cada tipo de açúcar é preconizado uma quantidade de sacarose conforme o *Codex Alimentarius* que corresponde a sua classificação.

Na Figura 5 pode-se observar os resultados da concentração de sacarose (m/m). A maioria dos açúcares mascavos apresentaram maiores desvios polarimétricos (sacarose), superando estatisticamente 29,4% das amostras ($p < 0,05$), exceto a amostra 35. Esta amostra e a 05 apresentaram menores quantidades de sacarose ($p < 0,05$). Esses valores dessas amostras podem ser decorrentes de açúcares colhidos de cana-de-açúcar que estavam fora do estágio de maturação adequada para colheita (CAPUTO et al, 2007).

O processo de cristalização na fabricação de açúcar pode interferir no índice de saturação de sacarose, isso porque, as condições ideais de pressão e temperatura, que levam a supersaturação do xarope, propiciam a cristalização da sacarose (MACHADO, 2012).

Alguns trabalhos indicam que os teores mínimos de sacarose que cada açúcar deve conter são: acima de 99,3%, no açúcar cristal, de 98,5%, no refinado, de 96,0%, no demerara e de 90,0% no açúcar mascavo (MESSA & NESPOLO, 2017; MORGANO et al., 2003). Estes valores representam o grau de concentração, sendo que o açúcar cristal contém basicamente sacarose, enquanto o açúcar mascavo mantém outros componentes provenientes da cana-de-açúcar (MESSA & NESPOLO, 2017). Todavia, neste trabalho encontrou-se os desvios polarimétricos maiores em açúcares mascavos (120,20-519,93 m/m), seguidos por demerara (178,22-519,93 m/m), cristal orgânico (179,18-494,13 m/m), cristal (120,17-239,56 m/m), refinado (126,99-254,19 m/m), ao contrário do que relata o trabalho dos autores anteriores. Acredita-se que esse resultado ocorra ao ângulo da rotação do plano polarizado da luz, pois quanto maior esse desvio na escala entre 0 a 180°, maior será o valor encontrado. Todavia, é sabido que a rotação do ângulo pode estar relacionado a outros tipos de açúcares como (Maltose rotação +137,0° e Rafinose +107,0°) que por ter centro óptico ativo podem está presentes no

açúcar mascavo contribuindo para o aumento da rotação de leitura conforme o Instituto Adolfo Lutz (2004) traz o valor do ângulo e o tipo de moléculas relacionadas ao valor encontrado nesse ângulo além disso Zuza, (2015) e Meade e Chen, (1997) também discorrem sobre presença de moléculas opticamente ativas nos açúcares. Isso porquê, a interferência na leitura do polarímetro ao medir o açúcar mascavo pode ocorrer devido à presença de compostos opticamente ativos como outros açúcares, que são comuns em açúcares menos refinados (ZUZA, 2015). Esses compostos causam desvios na rotação específica da luz polarizada, complicando a medição precisa da sacarose, como também partículas em suspensão e outras substâncias presentes no açúcar mascavo, que não são removidas devido ao seu processamento mínimo, podem causar variações nos resultados da polarimetria (ZUZA, 2015). Além disso, os açúcares que apresentaram menores concentrações de sacarose de acordo com Machado et al. (2012) está relacionado a presença de outros açúcares redutores (raminose), dextrana, amido e cinzas.

A técnica de polarimetria possui diversas aplicações na análise de substâncias que apresentam atividade óptica. No entanto, ela também apresenta algumas limitações importantes, pois só pode ser utilizada para analisar substâncias que possuem atividade óptica (capacidade de rotacionar o plano de luz polarizada). Compostos que não apresentam quiralidade ou não têm centros assimétricos não podem ser estudados diretamente com essa técnica, ademais possui sensibilidade limitada, pois não consegue detectar substâncias em concentrações muito baixas. Além disso, em misturas complexas, como o açúcar, a presença de outras substâncias opticamente ativas (outros açúcares) pode mascarar ou interferir nos resultados, dificultando a interpretação ou exigindo técnicas complementares para separação e identificação. A polarimetria fornece apenas informações sobre a rotação óptica de uma substância, não permitindo conclusões detalhadas sobre a estrutura molecular, posição ou número de centros quirais. Técnicas complementares, como espectroscopia ou cristalografia de raios X, podem ser necessárias para análise estrutural completa. Essas limitações indicam que, apesar de ser uma técnica muito utilizada, recomenda-se para uma maior precisão outras técnicas analíticas para obter resultados mais completos e confiáveis (MACHADO et al, 2012; ZUZA, 2015; ATKINS & PAULA, 2012).

Os resultados desse trabalho em relação ao teor de sacarose mostram uma grande variação que pode ser decorrente de problemas na colheita conforme retrata Caputo et al. (2007), ou perdas durante o processamento conforme relatado por Machado et al. (2012) e os resultados que se mostraram com pouca variabilidade nos açúcares mascavos se devem a limitação da técnica de polarimetria que possui uma leitura até o ângulo de 180° .

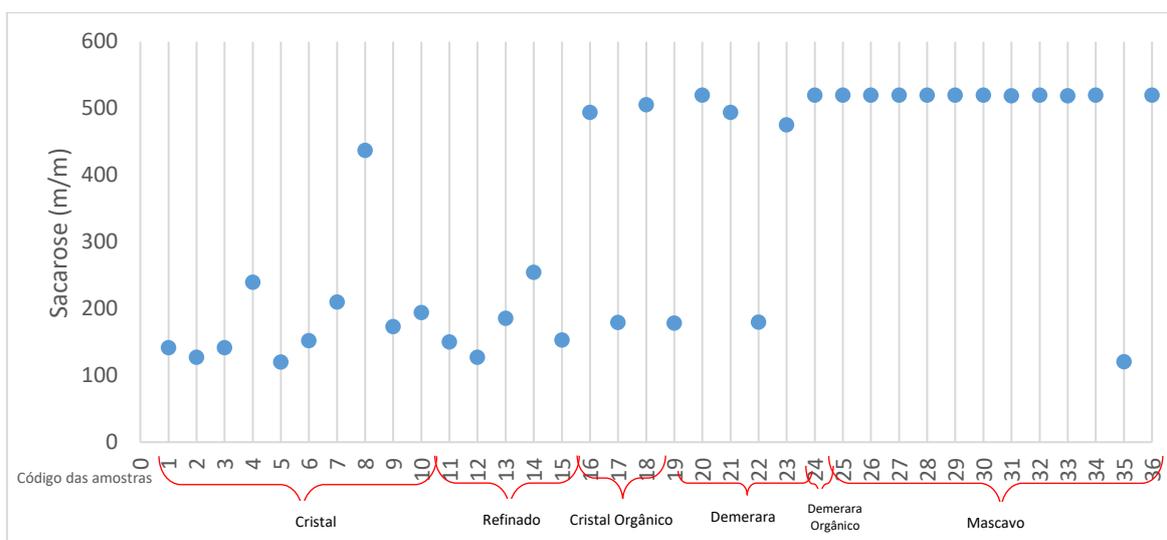


Figura 5. Valor de sacarose (m/m) em função da amostra (n=3).

3.4 Teores de Minerais: Ferro e Cobre

Para comparar os resultados (Figuras 6), foram utilizados os valores de Ferro e Cobre nos açúcares, conforme reportados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA) e recomendados para consumo diário da World Health Organization (WHO, 1996). Considerando uma ingestão diária de 100 gramas de açúcar independentemente do tipo, o teor de ferro ingerido estaria na faixa 0,11 a 50 mg 100g⁻¹. Como esperado de acordo com a literatura o açúcar mascavo superou em valores de ferro 0,011 a 0,1 quando comparados com outros açúcares. Todavia, no aspecto nutricional quando recomendado pelo WHO (1996), os teores de ferro foram abaixo de 20mg exceto na amostra 24. E quando comparado a TBCA, a quantidade de ferro em açúcares mascavos está abaixo de 8,3mg 100g⁻¹ exceto para a amostra 23 e 24 (Figura 6).

Os valores de Cobre compreendem um intervalo de 0,489 a 0,661 mg 100g⁻¹, em conformidade aos critérios das legislação brasileira a Instrução Normativa de nº160/2022 da ANVISA (Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos) com um limite de 10mg Kg⁻¹ (1mg 100g⁻¹), mas se comparado com a ARSO (THE AFRICAN ORGANIZATION FOR STANDARDISATION) (2012) que estabelece um limite de 1mg Kg⁻¹, os açúcares dos países Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina estariam desqualificados para exportação ao continente africano (Figura 6). Além disso, o cobre pode estar presente nos alimentos em decorrência da presença no solo e captação pela planta devido à utilização de agrotóxicos contendo cobre ou pela migração devido ao contato com equipamentos de cobre

(ANVISA, 2021). A presença desse contaminante químico indica falha nas boas práticas de fabricação advindas de equipamentos em mau estado de conservação, utensílios e manipulação no processo, não conformidades estruturais que contradizem ao indicado com o pré-requisitos do *Codex Alimentarius International Food Standards* (1969), primeiro conjunto de padrões e diretrizes globais de alimentos foi estabelecido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS). É importante destacar que a presença de cobre nas amostras de açúcares brasileiras pode ser decorrentes da presença de agrotóxicos contendo compostos de cobre que são permitidos pela legislação brasileira para uso no cultivo da cana conforme indica o documento Perguntas e Resposta número 22 edição de 2021 da ANVISA sobre Contaminantes em alimentos.

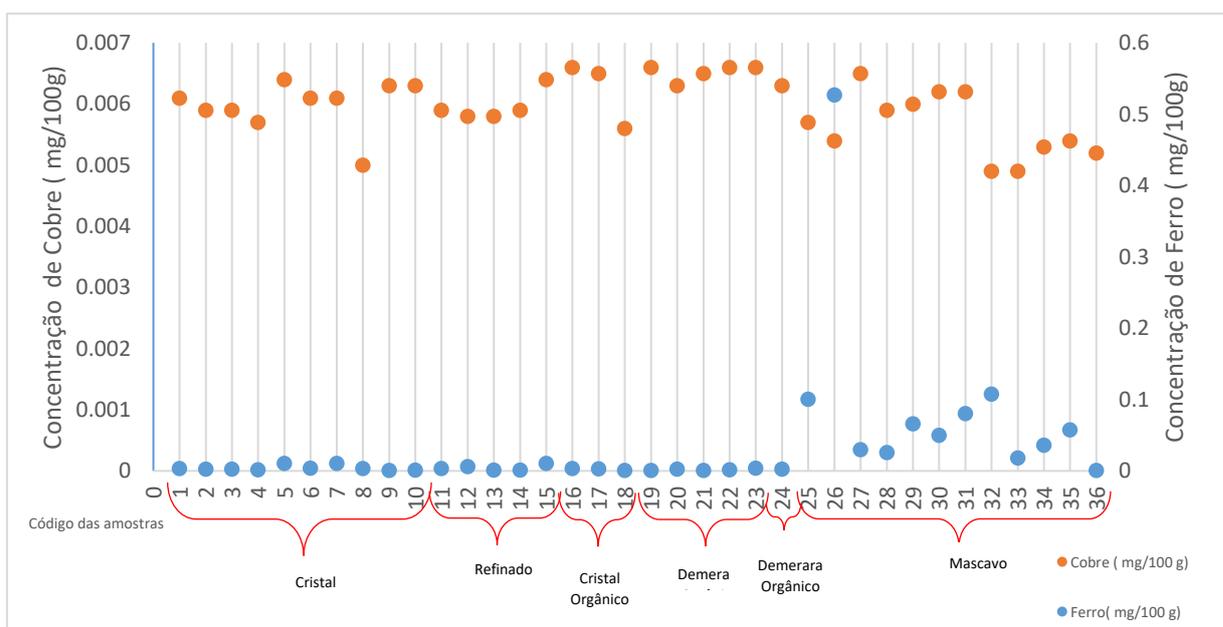


Figura 6. Teor de Ferro (conc. ajustada mg/100 g) em comparação com o Cobre (Conc. Ajustada mg/100 g) em função das amostras (n=2).

4 CONCLUSÃO

É possível concluir o açúcar demerara e mascavo apresentam suas colorações próximas ao amarelo e vermelho, evidenciados nos parâmetros de a^* , b^* e h^* , isso é devido a presença de compostos fenólicos que conferem essa coloração. Enquanto os açúcares cristais e refinados apresentaram maiores índices de luminosidade e de saturação mais próximas ao cinza confirmando sua coloração mais branca, devido ao processamento de branqueamento. Além

disso, neste trabalho, encontrou-se os desvios polarimétricos de 29,4% maiores em açúcares mascavos em relação aos outros grupos de açúcares, ao contrário do que relatam outros autores. Assim, os resultados de minerais (Ferro e Cobre) evidenciam a necessidade de considerações específicas ao avaliar a composição mineral dos açúcares e sua adequação às normas e recomendações internacionais, especialmente para fins de exportação, pois existiram amostras que estavam 21,2% abaixo do recomendado para a quantidade de ferro e açúcares que se encontravam 15,2% acima do recomendado para teor de cobre.

Contribuição dos Autores

Josenai Penha Porto: Conceituação, Metodologia, Validação, Investigação, desenho e execução dos experimentos, Curadoria de dados, Redação-revisão e edição. **Marcelo Umsza Guez:** Conceituação, Metodologia, Validação, Investigação, desenho e execução dos experimentos, Curadoria de dados, Redação-revisão. **JeanCarlos:** Metodologia, Validação. **Idalia Helena:** Metodologia e Validação de Polarimetria. **Luis Pereira:** Metodologia de Minerais.

Conflitos de Interesses

Todos os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à pesquisa descrita, à publicação dos resultados e às questões financeiras.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação de Ciências dos Alimentos.

Material Suplementar

Tabela 1S. Os dados são expressos como média \pm desvio padrão ($n = 3$). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) dos valores colorimétricos: L*, a*, b*, C*, h em função da amostra.

	Tipo	ID	Origem	L*	a*	b*	C*	h
Cristal		01	PY	81,51 ($\pm 0,43$) fg	1,48 ($\pm 0,33$)	11,04 ($\pm 0,49$) hi	11,05 ($\pm 0,50$) ijk	88,58 ($\pm 0,58$) fgh
		02	PY	86,93 ($\pm 0,17$) c	-0,84 ($\pm 0,12$)	8,75 ($\pm 0,43$) jk	8,80 ($\pm 0,42$) lmn	95,49 ($\pm 1,02$) d
		03	PY	83,14 ($\pm 0,33$) ef	-0,40 (0,11)	10,60 ($\pm 0,49$) ij	10,61 ($\pm 0,49$) jkl	92,16 ($\pm 0,67$) def
		04	AR	86,78 ($\pm 0,75$) c	-0,64 ($\pm 0,16$)	5,04 ($\pm 0,53$) op	7,22 ($\pm 0,91$) nopq	95,26 ($\pm 2,09$) d
		05	UR	86,96 ($\pm 0,69$) c	-1,16 ($\pm 0,01$)	2,40 ($\pm 0,30$) q	2,67 ($\pm 0,28$) tu	115,88 ($\pm 2,52$) a
		06	BR	87,73 ($\pm 0,38$) bc	-1,38 ($\pm 0,03$)	6,12 ($\pm 0,39$) mno	6,28 ($\pm 0,38$) pqr	102,75 ($\pm 0,99$) c
		07	BR	86,46 ($\pm 0,19$) cd	-0,67 ($\pm 0,16$)	8,97 ($\pm 0,50$) jk	9,00 ($\pm 0,49$) lmn	94,35 ($\pm 1,25$) de
		08	BR	77,35 ($\pm 1,43$) hi	-0,04 ($\pm 0,42$)	7,70 ($\pm 1,34$) klm	7,70 ($\pm 1,34$) nop	90,67 ($\pm 2,95$) efg
		09	BR	85,88 ($\pm 0,58$) cd	-.0,65 ($\pm 0,16$)	8,25 ($\pm 0,61$) kl	8,28 ($\pm 0,60$) mno	94,58 ($\pm 1,42$) de
		10	BR	82,28 ($\pm 0,39$) ef	0,62 ($\pm 0,08$)	12,21 ($\pm 0,05$) fghi	12,23 ($\pm 0,06$) ghij	87,08 ($\pm 0,38$) ghi

Refinado	11	AR	91,05 ($\pm 0,15$) a	-1,28 ($\pm 0,01$)	5,34 ($\pm 0,15$) nop	2,88 ($\pm 0,18$) tu	116,52 ($\pm 1,62$) a
	12	AR	90,35 ($\pm 0,50$) a	-1,10 ($\pm 0,03$)	2,58 ($\pm 0,20$) q	5,46 ($\pm 0,15$) qrs	101,58 ($\pm 0,59$) c
	13	AR	84,44 ($\pm 0,71$) de	-0,37 ($\pm 0,12$)	7,19 ($\pm 0,94$) klmn	7,22 ($\pm 0,91$) nopq	95,26 ($\pm 2,09$) d
	14	PY	78,12 ($\pm 0,67$) h	1,99 ($\pm 0,20$)	14,69 ($\pm 0,43$) abc	14,83 ($\pm 0,44$) bcde	82,28 ($\pm 0,72$) jkl
	15	UR	89,32 ($\pm 0,73$) ab	-1,17 ($\pm 0,01$)	3,76 ($\pm 0,25$) pq	3,93 ($\pm 0,24$) st	107,28 ($\pm 1,16$) b
Cristal Orgânico	16	BR	82,50 ($\pm 0,51$) ef	0,54 ($\pm 0,47$)	12,24 ($\pm 1,26$) efghi	12,25 ($\pm 1,28$) ghij	87,61 ($\pm 2,09$) ghi
	17	BR	81,43 ($\pm 0,51$) fg	0,50 ($\pm 0,92$)	12,64 ($\pm 0,29$) defgh	12,81 ($\pm 0,27$) fghi	84,94 ($\pm 0,87$) hij
	18	PY	79,45 ($\pm 0,59$) gh	1,48 ($\pm 0,33$)	13,24 ($\pm 0,45$) cdefg	13,32 ($\pm 0,48$) efg	83,63 ($\pm 1,18$) ijk
Demerara	19	BR	75,91 ($\pm 0,51$) ij	2,21 ($\pm 0,31$)	14,17 ($\pm 0,44$) bcde	14,34 ($\pm 0,49$) cdef	81,16 ($\pm 0,96$) jklm
	20	BR	67,62 ($\pm 1,39$) mn	3,17 ($\pm 0,35$)	13,79 ($\pm 0,36$) cdef	14,15 ($\pm 0,37$) defg	77,06 ($\pm 1,34$) mnopq
	21	BR	70,44 ($\pm 0,98$) l	3,04 ($\pm 0,14$)	14,65 ($\pm 0,16$) abc	14,96 ($\pm 0,17$) bcde	78,28 ($\pm 0,50$) lmnop
	22	BR	74,21 ($\pm 0,20$) jk	2,99 ($\pm 0,02$)	16,32 ($\pm 0,57$) a	16,60 ($\pm 0,57$) ab	79,61 ($\pm 0,30$) klmn
	23	BR	73,10 ($\pm 0,39$) k	3,25 ($\pm 0,25$)	16,14 ($\pm 0,39$) a	16,46 ($\pm 0,42$) ab	78,63 ($\pm 0,74$) lmno
Demerara Orgânico	24	BR	68,73 ($\pm 0,22$) lm	3,96 ($\pm 0,26$)	16,06 ($\pm 0,43$) ab	16,54 ($\pm 0,48$) ab	76,16 ($\pm 0,59$) nopqr

Mascavo	25	BR	64,18 ($\pm 0,74$) op	3,26 ($\pm 0,06$)	12,11 ($\pm 0,22$) fgghi	12,54 ($\pm 0,21$) fghij	74,95 ($\pm 0,46$) opqr
	26	BR	51,60 ($\pm 0,56$) s	5,03 ($\pm 0,17$)	6,79 ($\pm 0,47$) lmno	8,45 ($\pm 0,47$) mno	53,43 ($\pm 1,04$) v
	27	BR	61,01 ($\pm 0,48$) q	5,48 ($\pm 0,14$)	14,54 ($\pm 0,16$) abcd	15,54 ($\pm 0,10$) bcd	69,33 ($\pm 0,71$) st
	28	BR	56,52 ($\pm 0,57$) r	5,09 ($\pm 0,20$)	11,50 ($\pm 0,70$) ghi	12,58 ($\pm 0,71$) fghi	66,09 ($\pm 0,56$) t
	29	BR	63,32 ($\pm 0,86$) p	3,45 ($\pm 0,04$)	12,23 ($\pm 0,33$) efghi	12,71 ($\pm 0,31$) fghi	74,22 ($\pm 0,48$) pqr
	30	BR	66,26 ($\pm 0,36$) no	3,28 ($\pm 0,16$)	12,59 ($\pm 0,26$) efgh	13,01 ($\pm 0,29$) efgh	75,39 ($\pm 0,38$) nopqr
	31	BR	59,88 ($\pm 0,41$) q	3,25 ($\pm 0,08$)	10,59 ($\pm 0,25$) ij	11,08 ($\pm 0,26$) hijk	72,96 ($\pm 0,18$) qrs
	32	BR	51,20 ($\pm 0,79$) s	3,28 ($\pm 0,12$)	5,72 ($\pm 0,61$) no	6,60 ($\pm 0,48$) opqr	60,00 ($\pm 3,46$) u
	33	PY	60,72 ($\pm 0,49$) q	6,30 ($\pm 0,56$)	14,86 ($\pm 1,33$) abc	16,15 ($\pm 1,38$) abc	67,02 ($\pm 1,43$) t
	34	PY	54,35 ($\pm 1,19$) r	3,84 ($\pm 0,25$)	8,89 ($\pm 1,07$) jk	9,69 ($\pm 1,07$) klm	66,56 ($\pm 1,44$) t
	35	BR	64,21 ($\pm 0,59$) op	3,86 ($\pm 0,10$)	11,99 ($\pm 0,51$) fgghi	12,60 ($\pm 0,51$) fghi	72,12 ($\pm 0,31$) rs
	36	AR	62,05 ($\pm 0,72$) qp	6,76 ($\pm 0,41$)	16,37 ($\pm 0,93$) a	17,71 ($\pm 1,01$) a	67,58 ($\pm 0,61$) t

Referências

ALLESCHER, H. D. *et al.* **Effect of opioid active therapeutics on the ascending reflex pathway in the rat ileum.** *Neuropeptides*, v. 34, p. 181-186, 2000.

ARMAS, E.D.;MONTEIRO, R.T.S.;AMANCIA, A.V.; CORREA, R.M.L.; GUERCIO, M.A. **Uso de Agrotóxicos em Cana-de-Açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de Poluição Hídrica.** *Quim. Nova*, 28(6): 975-982, 2005.

ARSO. AFRICAN ORGANIZATION FOR STANDARDISATION. BROWN SUGAR-SPECIFICATION-2012. Disponível em:<
<https://law.resource.org/pub/eac/ibr/eas.749.2010.pdf>>. Acesso em 21 de Julho de 2024.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 16th ed., v. 2. Arlington: A.O.A.C., 1995, Chapter 50, p. 14. (method 985.35).

ASSUNÇÃO, L.S.;SOUZA, C.O.; SHAHIDI, F.; OLIVEIRA, T.S.; ASSIS, D.J.; SANTOS, L.F.P.; NUNES, I.L.; MACHADO, B.A.S.;RIBEIRO, C.D.F. **Otimização e caracterização de nanopartículas interespecíficas híbridas de óleo de palma bruto Unaué HIE OxG com subprodutos vegetais como encapsulantes.** *Alimentos* 2024 , 13 (4), 523; <https://doi.org/10.3390/foods13040523>

AUDE, M.I.S. **Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.23, n.2, p.241-248. 1993

AUDIE, J.; BOYD, C. **The synergistic use of computation, chemistry and biology to discover novel peptide-based drugs: the time is right.** *Current Pharmaceutical Design*, v. 16, p. 567-582, 2010.

BALASUBRAINI, V.; REGUPATHY, A. **Residues of HCH and DDT in food samples from hotels in Tamil Nadu.** *Tropical Agricultural Research and Extension*. 2(1): 40-43, 1999.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Instrução Normativa de nº160/2022 da ANVISA (Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa número 47: Regulamento Técnico do Açúcar.

CAPUTO, M.M.; SILVA, M.A.; BEAUCLAIR, E.G.F.; GAVA, G.J.C. **Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais.** INCI v.32 n.12 Caracas dic. 2007.

CASSAL, V.B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R.P., DANÚBIO,G.S.; SIMÃO, R.S. **Agrotóxico: uma revisão de suas consequências para a saúde pública.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 18:1,437-445, 2018.

CEFET - Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais. **Cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massa.** Disponível em:< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAa8AI/cromatografia-gasosa-acoplada-a-espectrometria-massa>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

CHEN, J. C. P.; CHOU, C. C. **A manual for cane sugar manufactures and their chemists.** 12ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993.

CLARKE, M. A.; LEGENDRE, B. R. **Qualidade da cana-de-açúcar: Impactos no rendimento do açúcar e fatores da qualidade.** Soc. Tec. Açúc. Alco. Bras., Açúc. Alco. Subprod., v. 17, n. 6, p. 36–40, 1999.

COELHO, L.F.; BRAGAGNOLO, C. **Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros.** Estud. Econ., São Paulo, vol.54 n.1, p.167-204, jan.-mar. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1980-53575416lccb>

COLLINS, C.H. BRAGA; G.L. BONATO; PIERINA, S. **Fundamentos de Cromatografia.** Editora Unicamp - Campinas, SP. 2006.

COSTA, G.H.G; MASSON, I.S.; ROVIERO, J.P.; MUTTON, M.J.R. **Reflexos do processamento de cana-de-açúcar bisada na qualidade do açúcar VHP**. B.CEPPA, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 281-288, jul./dez. 2014.

DATAGRO. Açúcar: A Integração no Mercosul. Disponível em:< <https://portal.datagro.com/pt/sugar-etanol>>. Acesso em 23 de Julho de 2024.

EMBRAPA. MARIN, F.R. **Fenologia: CANA**. Disponível:< <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/fenologia> >. Acesso em 26 de Julho de 2024.

FONTANETTI,C.S.; BUENO, O.S. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017. p. 51

GODSHALL, M. A. **Removal of colorants and polysaccharides and the quality of white sugar**. Proceedings of sixth international symposium organized by association Andrew van Hook (AvH), 1999.]

JAPUR, C.C.; ASSUNÇÃO, D.C.B.; BATISTA, R.A.B; PENAFORTE, F.R.O. **Disponibilidade de informação sobre quantidade de açúcar em alimentos industrializados**. Ciênc. saúde coletiva 26 (3) • Mar 2021 • <https://doi.org/10.1590/1413-81232021263.07872019>

LOPES, C.A.V; ALBURQUE, GSC. **Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática**. Saúde debate: Rio De Janeiro. 42:117, 518-534, 2018.

LOPES, C.H. **Tecnologia de produção de açúcar de cana**. São Paulo: EdUSFcar, 2011. P.75-183;

LUCHINI, P.D. **Teores de Nutrientes minerais e metais pesados em açúcar mascavo produzido por diferentes sistemas orgânicos convencionais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

MAGRI, N.T.C. **Correção entre a qualidade do caldo de cana-de-açúcar e infecção por Leifsonia xyli subsp. Xyli agente causal do raquitismo das soqueiras**. Tese (Doutorado)-USP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piraciba:2020. 128p.

MEADE, G.P., CHEN, J.C.P. **Cane Sugar Handbook**. 11ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 947p

MEDEIROS, A.R. **Estudo da composição química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM) do óleo fixo das sementes de abóbora, cuité, jaca, melancia e da casa de cuité**. Monografia (Curso de Graduação em Farmácia). Universidade Federal de Campo Grande, 2015.

MESSA, S.; NESPOLO, C.S. Produção e composição de diferentes tipos de açúcar. Disponível em:<

https://www.udesc.br/arquivos/ceo/id_cpmenu/1043/rural_202_15198249105143_1043.pdf>.

Acesso em 12 de Junho de 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes brasileiras para o diagnóstico e tratamento de intoxicações agudas por agrotóxicos**. Brasília: DF, 2020.

MORGANO, M.A.; MORIYA, C.; FERREIRA, M.M.C. **Determinação Quantitativa do Teor de Sacarose em Açúcar Cristal por Espectroscopia FT-IR/ATR e Regressão Multivariada**. Braz. J. Food Technol., 6:77-83, 2003.

NEIRO, E.S.; NANNI, M.R.; ROMAGNOLI, F.; CAMPOS, R.M.; CEZAR, E.; CHICATI, M.L.; OLIVEIRA, R.B. Análise de cor para discriminação de seis variedades de cana-de-açúcar em quatro épocas de colheitas no ano. Disponível em:<
<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.54.51/doc/p1471.pdf>>. Acesso em 27 de Julho de 2024.

OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA JÚNIOR, J.F.S. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia**. Ciênc. Tecnol. Aliment. 27(supl.): 99-102, 2007.

PITTELLA, C.M. **Determinação de resíduos de agrotóxicos em mel de abelhas (Apis sp) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária (2009).

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. R

ROUPA, T.R.; ASOKAN, A. **Effect of rind pigments and juice colorants on juice claribility, settling time and mud volume of sugarcane.** *Sugar Tech.*, v.10, n.2, p. 109-113, Jun.2008.

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.** *Sugar Tech*, v. 25, p. 110-120, 2023.

SAMPAIO, M.R.F.;TOMASINI,D.; CARDOSO, L.V.; CALDAS,S.S.;PRIMEL, E.G. **Determination of Pesticide Residues in Sugarcane Honey by QuEChERS and Liquid Chromatography.** *J. Braz. Chem. Soc.*, 23(2):197-205, 2012.

SANTOS, M.T; PONTES, M.A.N.;MORAIS, M.F.S.;NETA, M.N.S.; SILVA, D.D. **Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações.** Disponível em: <http://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf>. Acesso em 18 de dezembro de 2022.

SKOOG, D.A; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Principles of Instrumental Analysis. CHAPTER TWENTY-SEVEN Gas Chromatography.** Sétima Edição. Cengage Learning: 2016. P-720-746.

SMITH, P.; PATON, N. H. **Sugarcane Flavonoids.** *Sugar Technology Reviews*, v. 12, p. 117–142, 1985.

SOUZA, E. L.; SANTOS, L.F.P. S.; BARRETO, G.A. LEAL, I.L.; OLIVEIRA, F. O., DOS SANTOS,L.M.C.; RIBEIRO, C.D.F., MINAFRA E REZENDE, C.S.; MACHADO, B.A.S. **Desenvolvimento e caracterização de panetones enriquecidos com pó de composto bioativo produzido a partir de subproduto de uva Shiraz (*Vitis vinifera* L.) e amido de araruta (*Maranta arundinaceae* L.).** *Food Chemistry Advances* 2 (2023) 10022.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR E BIOENERGIA DO BRASIL. **Açúcar-Brasil: o maior produtor mundial de açúcar.** Disponível em: < <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/acucar/>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Sugar: World Markets and Trade.** Disponível em:< <https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

WAQUIL, P.D.; ALVIM, A.M.; SILVA, L.X.; TRAPP, G.P.; MATTOS, E.J. **União Européia e Mercosul: o setor agrícola no processo de integração inter-blocos.** XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2004. Disponível em:<https://www.academia.edu/68266684/Uni%C3%A3o_Europ%C3%A9ia_e_Mercosul_o_setor_agr%C3%ADcola_no_processo_de_integra%C3%A7%C3%A3o_inter_blocos>. Acesso em 23 de Julho de 2024.

WEI, Y.; WANG,L.; LIU, J. **The diabetogenic effects of pesticides: Evidence based on epidemiological and toxicological studies.** *Environmental Pollution Volume 331, Part 2, 15 August 2023, 121927.*

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK,A.; LISIK, K. **Contamination of commercial cane sugars by some organic acids and some inorganic anions.**

ZAHRA NAZARI KHORASGANI, ALI ASGHAR HEMMATI, AZADEH ASHTARINEZH. **Occurrence pesticide residues in produced sugar from sugarcane.** *Toxicology Letters Volume 180, Supplement, 5 October 2008, Pages S193-S194.*

ZUIN, V.G.; SCHELLIN, M.; MONTERO, L.; YARIWAKE, J.H.; AUGUSTO, F. ; POPP, P. **Comparison of stir bar sorptive extraction and membrane-assisted solvent extraction as enrichment techniques for the determination of pesticide and benzo[a]pyrene residues in Brazilian sugarcane juice.** *Journal of Chromatography A, 1114 (2006) 180–187.*

ZUZA, E.P. **Determinação sacarimétrica de caldos e melaços provenientes da cana-de-açúcar sem adição de clarificantes químicos.** Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

Rekha, S. N., Naik, R., & Prasad, R. (2006). **Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis.** *Chemical Health and Safety, 13, 12–19.*

Capítulo III

Manuscrito: Investigação de resíduos de agrotóxicos em açúcares (Cana-de-açúcar) comerciais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai

Investigação de resíduos de agrotóxicos em açúcares (Cana-de-açúcar) comerciais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai.

Josenai Penha Porto¹; Jeancarlo Pereira dos Anjos²; Madson Moreira Nascimento ³; Marcelo Andrés Umsza-Guez^{1*}

^{1,3} *Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo s/n - Ondina, CEP: 40170.115, Salvador-BA, Brasil*

² *Universidade Federal do ABC, Avenida dos Estados, 5001 - Bloco A - Sala 650-3- Santa Terezinha, CEP: 09210580, Santo André-SP, Brasil.*

<p><i>Periódico a ser submetido (1ª <i>Food Chemistry</i>, ISSN: 1873-7072</i> <i>submissão):</i></p>
<p><i>Maior percentil (Scopus):</i> https://www.scopus.com/sources</p>
<p><i>Periódico a ser submetido (2ª <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>,</i> <i>submissão):</i> <i>ISSN:0021-8561</i></p>
<p><i>Maior percentil (Scopus):</i> https://www.scopus.com/sources</p>

***Corresponding author:** *Marcelo Andrés Umsza Guez (Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos, Rua Barão de Jeremoabo s/n - Ondina - Salvador - Bahia - CEP: 40170.115. Telefone: (71) 3283-6920. E-mail:marcelo.umsza@ufba.br*

RESUMO

O açúcar produzido a partir da cana-de-açúcar desempenha um papel essencial no comércio global de alimentos, devido à sua ampla aplicação em diversos produtos alimentícios. Devido a essa alta demanda os países produtores, buscam a utilização de agrotóxicos para garantir a máxima produtividade. Este trabalho buscou analisar diferentes tipos de açúcares comercializados no Mercosul (Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil), avaliando os limites de resíduos defensivos agrícolas através de cromatografia gasosa acoplada com espectrofotômetro de massas. Dos 21 pesticidas investigados, 13 foram detectados em 29 de 36 amostras de açúcar, com os inseticidas dimetacloro e organoclorados sendo os mais prevalentes. O açúcar mascavo do Brasil apresentou 5 produtos fitossanitários em sua composição. Bem como, foram encontrados 3 agrotóxicos (Endrin, Alfa-HCH e Beta HCH) conhecidos como POPs (Poluentes orgânicos Persistentes) nas amostras de açúcares que são proibidos para uso em países signatários da Convenção de Estocolmo como os do Mercosul. Esta constatação ressalta a necessidade de regulamentação e monitoramento mais rigorosos do uso de pesticidas, especialmente em produtos amplamente consumidos, como o açúcar.

Palavras-Chaves: POPs, Poluentes, produto fitossanitário, Endrin, Alfa-HCH, Beta HCH, Convenção de Estocolmo.

1 INTRODUÇÃO

Açúcares, incluindo dissacarídeos e monossacarídeos, são carboidratos produzidos pelas plantas através da fotossíntese. O termo “açúcar” é comumente utilizado para se referir à sacarose, um dissacarídeo de sabor adocicado formado por uma molécula de glicose e uma molécula de frutose, conhecido também como açúcar de mesa. Comercialmente duas plantas (com as maiores concentrações naturais já registradas) são consideradas fontes de açúcares, sendo a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a beterraba sacarina (*Beta vulgaris*). Cerca de 86% das culturas açucareiras provêm da cana-de-açúcar, que crescem principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. Mais de 100 países produzem açúcar tendo a cana como base (TORO et al. 2020; WOJTCZAK, ANTCZAK e LISIK, 2012; RAMOS E MENESES, 2021).

A cana-de-açúcar apresenta-se como uma grande importância econômica mundial, por ser utilizada para produção de biocombustíveis e açúcares para fins comerciais e industriais (NEVES E CONEJERO, 2007). No entanto, é importante destacar que a produção de açúcar a

partir da cana-de-açúcar está sujeita a uma série de desafios, incluindo a possível presença de agrotóxicos devido ao uso extensivo no cultivo da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2007).

O açúcar derivado da cana-de-açúcar desempenha um papel crucial no comércio global de alimentos. Para aumentar a produtividade, as principais nações produtoras, como Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, dependem fortemente da utilização de agrotóxicos nas lavouras (Centurion et al., 2023). No entanto, o uso de agrotóxicos levanta sérias preocupações com a segurança de alimentos, pois estudos relacionam a exposição a danos em órgãos como fígado, cérebro, pulmões e cólon, e até mesmo condições fatais como câncer (CETESB, 2008). Razão pela qual faz-se necessária a determinação da presença de resíduos potencialmente tóxicos provenientes da cana-de-açúcar nos açúcares consumidos pela população (CENTURION et al., 2008). Países como Estados Unidos, Brasil e União Europeia implementaram programas rigorosos de monitoramento de pesticidas para impor limites de segurança (CODEX, 2023; ANVISA, 2023). Além disso, quando se tem um acordo de livre comércio como no caso do Mercosul e uma commodities como açúcar com alta exportação a integração dos limites residuais máximos precisa ser levantados para garantia da qualidade sanitária preconizada pelo país importador (CENTURION et al., 2023; JANJAROOM et al., 2023).

Este estudo investigou resíduos dessas substâncias em diferentes tipos de açúcar de cana (cristal, refinado, demerara, mascavo) do Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostras

A Figura 1 mostra o quantitativo de 36 amostras coletadas nos diferentes países: Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai por diferentes tipos de açúcares (12 de Mascavo, 10 Cristal, 5 Demerara, 5 Refinado, 3 Cristal Orgânico, 1 Demerara Orgânico). O açúcar mascavo foi predominante no quantitativo, seguido do cristal, demerara, refinado, cristal orgânico, demerara orgânico. As amostras foram catalogadas quanto a origem preferencialmente e País/Estado, Departamento ou Provincia, quando descritos no rótulo e denominação de venda legal informada pelo fabricante ou empacotador, além disso foram retiradas fotos dos painéis de rotulagem (frontal, lateral, posterior). Após o recolhimento das informações, as amostras foram armazenadas em suas embalagens originais e mantidas em temperatura de 21 graus celsius.

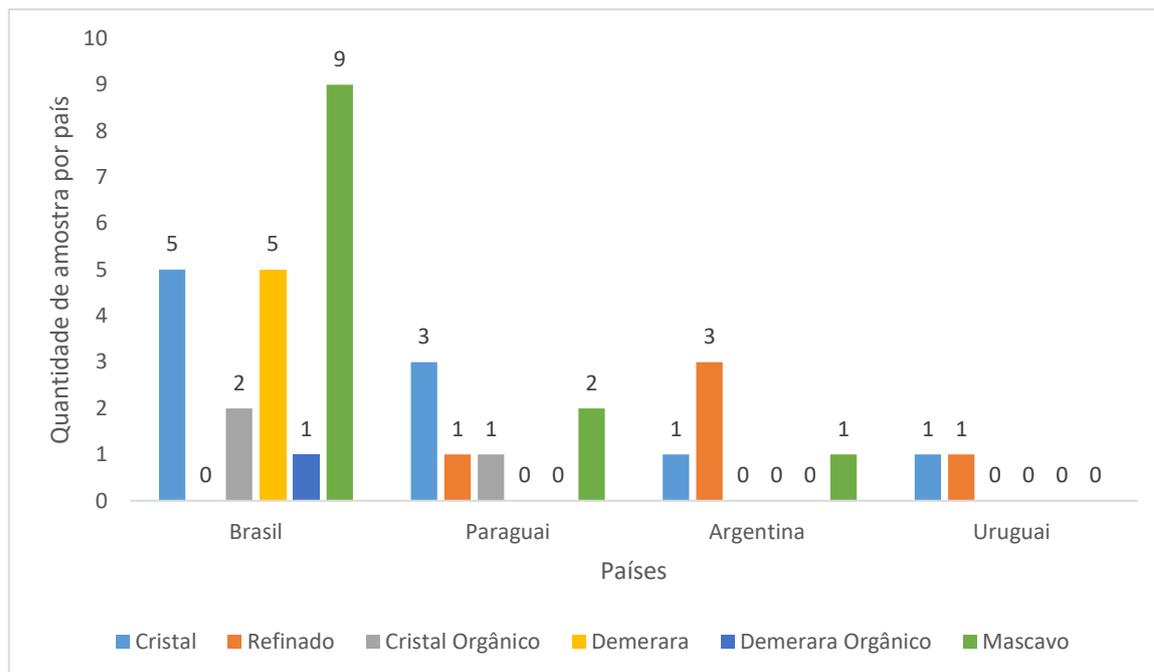


Figura 1. Quantidade de amostras obtidas dos Países: Brasil (BR- 22 amostras), Paraguai (PY- 07 amostras), Uruguai (UR- 02 amostras) e Argentina (AR- 05 amostras) por diferentes tipos de açúcares.

2.2 Condição cromatográfica

Um microlitro do mix de pesticida concentrado (44 pesticidas) foi analisado usando cromatografia gasosa de injeção splitless–espectrômetro de massa (GC–MS/MS) no modo MS/MS. A análise de todos os pesticidas foi realizada usando um cromatógrafo gasoso (Varian-3800) interligado a um detector de massa de armadilha iônica Saturn 2000 MS/MS (Varian Inc., EUA) com software de sistema de dados necessário para calibração, coleta de espectros GC–MS e processamento de dados para análise qualitativa e quantitativa. O GC–MS tem um programa de biblioteca do National Institute of Standards and Technology (NIST) com mais de 150.000 padrões de espectros de massa (Sinha, Pal, Dewan, Mansuri e Saiyed, 2006) para a confirmação de analitos no modo de varredura. A separação foi obtida em uma coluna capilar DB-5 MS de alta resolução (30 m 0,25 mm id 0,25 μ m de espessura de filme) da Varian Inc., EUA. Hélio ultrapuro (99,999%) foi usado como gás de arraste a uma vazão de 1 mL min⁻¹ (68.947 Pa).

2.3 Extração de Agrotóxicos

A metodologia utilizada foi adaptada do trabalho de NASCIMENTO et al. (2024), onde as condições ótimas de extração foram: 150 μ L de tolueno como solvente extrator; concentração de NaCl (1,2%, mv -1); pH 7; e um tempo de extração de 55 min, sob agitação assistida por vórtice (a 550 rpm).

2.4 Cromatografia gasosa para agrotóxicos

A temperatura inicial da coluna (80 °C) foi mantida por 2 min, aumentada para 200° C na taxa de 7 °C min⁻¹, que foi subsequentemente mantida por 1 min e, finalmente, aumentada para 250 C a uma taxa de 5 °C min⁻¹. Essa temperatura foi mantida por 5 min. A temperatura da porta do injetor era de 250 °C. O tempo total de execução foi de 30 min. Um microlitro de cada analito foi injetado para confirmação e quantificação no Sistema de Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM, ou *GC-MS* do inglês *Gas chromatography-mass spectrometry*), da marca Shimadzu, composto por um Cromatógrafo Gasoso (modelo GC-2010), Detector de Massas (modelo QP-2010 Plus) e Injetor Automático (modelo AOC-20i), com rack para 12 *vials*. O gerenciamento e todo o controle operacional do equipamento é realizado pelo software GCMS Solution versão 2.5.

2.5 Curva de calibração

As curvas de calibração foram construídas usando seis concentrações (50,100, 200,300, 400, 500 μ g/L) como visto na tabela 02 de diferentes de agrotóxicos plotadas contra as contagens de área. Pelo menos cinco determinações repetidas foram realizadas para cada concentração na curva de calibração. As concentrações padrão de calibração abrangeram toda a faixa linear da análise.

As concentrações desconhecidas da amostra foram determinadas usando análise de regressão linear dos gráficos de calibração que forneceram inclinações e interceptações. Análises de regressão linear foram realizadas em gráficos das concentrações calculadas versus concentrações esperadas. Com esta análise, uma inclinação de 0,995 seria indicativa de 99% de precisão (Tabela 2).

4.5 Experimento de recuperação

Misturas de GC (Cromatografia Gasosa) de 0,1 g.L⁻¹ foram preparadas usando os padrões de referência de pesticidas descritos anteriormente. A porcentagem de recuperação de cada pesticida foi calculada pela comparação da razão da área do pico dos padrões enriquecidos com aqueles dos padrões puros. Os critérios de aceitação foram de 60,4%-117% em níveis de 0,1-1g kg⁻¹. As amostras de açúcar foram adicionadas com a mistura dos 44 agrotóxicos em uma concentração (0,1-1g kg⁻¹) e deixadas em repouso por 1 h para que todos os agrotóxicos fossem absorvidos completamente pelas amostras antes de fazer a extração.

4.6 Análise Estatística

O Microsoft Excel 2013 foi utilizado para operações matemáticas. Estatística 7.0 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA) e Origin 8.0 (OriginLab, Northampton, MA, EUA) foram utilizados para estatística análises e gráficos. A Análise de Variância (ANOVA, $p < 0,05$) foi aplicada na validação dos modelos matemáticos obtidos a partir da otimização multivariada (mistura simplex-centróide projeto e projeto Doehlert) e verificar a linearidade das curvas analíticas. Para o exploratório técnicas de análise, como análise de componentes principais (PCA) e análise hierárquica de cluster (HCA), todos os dados foram escalonados automaticamente para manter todas as variáveis na mesma importância. Os critérios para PCs extração foi baseada no teste de Scree e autovalores ≥ 1 . Foi considerado significativo apenas para cargas fatoriais superiores a 0,6 para todas as variáveis.

As tabelas a seguir (01, 02 e 03), apresentam os valores utilizados nesse trabalho para validação do método conforme preconiza a validação de método do *Codex Alimentarius* e com os critérios descritos acima. Os resultados obtidos foram $\mu\text{g/L}$, mas para discutir conforme as legislações dos países foram convertidos para mg/Kg.

Tabela 01. As diferentes características de MS do composto pesticida para quantificação e confirmação usando GC-MS/MS.

Composto	Tempo de Retenção	Íons característicos do modo de varredura			Íon de confirmação
<i>Sulfotep</i>	7,40	322	97	238	322
<i>Alfa-HCH</i>	7,89	183	109	181	183
<i>Beta-HCH</i>	8,53	183	109	181	183
<i>Gama-HCH</i>	8,78	181	111	183	181
<i>Clorothalonil</i>	9,23	266	263	267	266
<i>Dimethaclaro</i>	10,29	134	197	148	134
<i>Metil paration</i>	10,67	109	125	93	109
<i>Fenitroton</i>	11,48	109	125	277	109
<i>Clorpirifós</i>	12,01	97	197	199	97
<i>Aldrin</i>	12,12	66	91	263	66
<i>Paration</i>	12,27	291	97	109	291
<i>4,4-DDE</i>	15,46	246	210	318	246
<i>Dieldrin</i>	15,59	263	277	235	263
<i>Cyproconazole II</i>	16,19	222	139	82	222
<i>Endrin</i>	16,31	263	265	380	263
<i>4,4-DDD</i>	16,92	235	165	199	235
<i>Tebuconazol</i>	18,76	250	126	125	250
<i>Lambda-cialotrina II</i>	22,06	181	197	208	181
<i>Permetrina II</i>	23,81	183	165	163	183
<i>Difeconazol I</i>	27,79	265	267	323	265
<i>Difeconazol II</i>	27,9	265	267	323	265

Tabela 02. Concentrações testadas e Equações de regressão linear para os compostos.

Composto	Concentrações (µg/L)	Equação de Regressão Linear
<i>Sulfotep</i>	10, 50, 100, 200,300	971,3x-4653,1
<i>Alfa-HCH</i>	50,100,200,300,400	602,76x-5993
<i>Beta-HCH</i>	10,50,100,200,300,400	1285,3x+25641
<i>Gama-HCH</i>	10,50,100,200,300,400	499,93x-10416
<i>Clorothalonil</i>	10,50,100,200,300,400	701,33x+375,6
<i>Dimethacloro</i>	10,50,100,200,300,400	4113,4x-43639
<i>Metil paration</i>	10,50,100,200,300,400	2896,9x-13091
<i>Fenitrotion</i>	10,50,100,200,300,400	593,20x-14262
<i>Clorpirifós</i>	10,50,100,200,300,400	1004,2x-16727
<i>Aldrin</i>	10,50,100,200,300,400	2149,6x-20073
<i>Paration</i>	10,50,100,200,300,400	209,42x-34606
<i>4,4-DDE</i>	10,50,100,200,300,400	4011,2x+25601
<i>Dieldrin</i>	10,50,100,200,300,400	833,04x-1878,9
<i>Cyproconazole II</i>	10,50,100,200,300,400	4320,2x-51193
<i>Endrin</i>	10,50,100,200,300,400	539,31x-6898,5
<i>4,4-DDD</i>	10,50,100,200,300,400	4066,3x-81288
<i>Tebuconazol</i>	10,50,100,200,300,400	3093,1x-77211
<i>Lambda-cialotrina II</i>	10,50,100,200,300,400	32655x-780568
<i>Permetrina II</i>	10,50,100,200,300,400	3550,5x-12279
<i>Difeconazol I</i>	10,50,100,200,300,400	252,37x-7468,9
<i>Difeconazol II</i>	10,50,100,200,300,400	486,5x-5370,2

Tabela 03. Parâmetros analíticos utilizados para validação do método.

Agrotóxicos	Faixa linear (µg/L)	R2	a	b	SD	LD (µg/kg)	LQ (mg/kg)	Taxa de Recuperação (%)
<i>Sulfotep</i>	10-400	0,9989	971,9309	-4653,0764	3208,9798	0,1188	0,3962	104,0
<i>Alfa-HCH</i>	10-400	0,9997	600,2764	-5493,4322	1393,8709	0,0836	0,2786	84,3
<i>Beta-HCH</i>	50-400	0,9956	1340,5584	9495,0081	12594,7504	0,3382	1,1274	91,2
<i>Gama-HCH</i>	50-400	0,9961	521,8578	-16819,5305	4655,7742	0,3212	1,0706	99,5
<i>Clorotalonil</i>	50-400	0,9958	707,5723	-2199,0447	6554,1099	0,3335	1,1115	99,5
<i>Dimethaclaro</i>	50-400	0,9935	4275,1082	-145457,1159	49106,8732	0,4135	1,3784	117,4
<i>Metil paration</i>	50-400	0,9949	2892,9131	14243,3760	29481,8200	0,3669	1,2229	133,3
<i>Fenitrotion</i>	50-400	0,9940	605,5198	10708,0427	6703,7642	0,3986	1,3285	60,0
<i>Clorpirifós</i>	50-400	0,9983	1054,4005	2057,6890	6198,0817	0,3501	1,1669	107,5
<i>Aldrin</i>	50-400	0,9968	2083,7693	-16402,0056	15734,7850	0,2718	0,9061	81,1
<i>Paration</i>	50-400	0,9928	205,0020	35895,3150	2477,4616	0,4351	1,4502	117,6
<i>4,4-DDE</i>	50-400	0,9934	3972,8255	36801,1809	45810,8488	0,5428	1,8092	83,0
<i>Dieldrin</i>	10-400	1,0000	830,5620	-819,3395	654,3459	0,0284	0,0945	80,8
<i>Cyproconazole</i>	10-400	0,9992	4320,1925	-51192,6237	13893,7998	0,1158	0,3859	60,1
<i>II</i>								
<i>Endrin</i>	50-400	0,9947	559,8985	-12910,2175	5823,8213	0,3745	1,2482	79,1
<i>4,4-DDD</i>	50-400	0,9921	4196,7815	-119401,1159	53213,8223	0,4565	1,5216	81,6
<i>Tebuconazol</i>	50-400	0,9983	3227,0185	-116325,5508	-116325,5508	0,2111	0,7036	128,4
<i>Lambda-cialotrina II</i>	50-400	0,9934	33988,3476	-1169854,9878	392063,8082	0,4153	1,3842	107,3
<i>Permetrina II</i>	50-400	0,9963	3306,6627	64335,3333	3306,6627	0,4228	1,4095	114,2
<i>Difeconazol I</i>	50-400	0,9944	239,3690	11264,3049	2557,8085	0,3847	1,2823	110,9
<i>Difeconazol II</i>	50-400	0,9919	491,7478	-6902,1809	6303,5386	0,4615	1,5382	60,4

Legenda: R2(Coeficiente de determinação); a (Coeficiente Angular); b (Intercepto Linear); SD (Desvio Padrão); LD (Limite de detecção); LQ (Limite de Quantificação).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as curvas analíticas investigadas foram alcançados coeficientes de determinação (R^2) adequados, que variou de 0,9935 (Dimethacloro) a 1,00 (Dieldrin). No entanto, a avaliação baseada apenas no R^2 não é suficiente para garantir a linearidade das curvas analíticas, pelo menos se $R^2 > 0,9990$. Por isso, foi aplicado teste de falta de ajuste (ANOVA, $p < 0,05$) nas curvas analíticas com $R^2 \leq 0,9990$.

De acordo com os resultados (Tabela 03), todas as curvas analíticas testadas não apresentaram evidências da significância da falta de ajuste a um nível de confiança de 95%, indicando linearidade adequada no intervalo de concentração o que concorda com o trabalho de Nascimento et al. (2023) sobre análise de pesticidas em vinho.

A extração com tolueno apresentou uma eficiência de 60,4% para o Ciproconazol II e de 133% para o Metil Paration. Esses valores de recuperação são considerados aceitáveis, conforme os critérios de Anjos et al. (2015) e Nascimento et al. (2023). Além disso, é importante levar em conta a complexidade da matriz do açúcar e o nível de concentração das análises alvo. Vale ressaltar que um valor superior a 100% na análise de recuperação indica que a amostra utilizada possuía, além da concentração de pesticida adicionada, uma quantidade pré-existente desse composto em sua matriz.

Os resultados de resíduos de agrotóxicos encontrados nos açúcares comercializados no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai podem ser vistos na Tabela 04 (Concentração $\mu\text{g/L}$) e Tabela 05 (Concentração mg/Kg). Foi observado que dos 21 agrotóxicos (Sulfotep, Alfa-HCH, Beta-HCH, Gama-HCH, Clorothalonil, Dimetacloro, Metil paration, Fenitrotion, Clorpirifós, Aldrin, Paration, 4,4-DDE, Dieldrin, Cyproconazol II, Endrin, 4,4-DDD, Tebuconazol, Lambda-cialotrina II, Permetrina II, Difeconazol I, Difeconazol II.) testados determinou-se valores residuais de 13 praguicidas em 28 amostras das 36 analisadas, sendo 11 de açúcar mascavo, 10 de cristal, 5 demerara, 2 refinados, 01 cristal orgânico e 01 demerara orgânico. Como poder ser visto tabela 05, as 11 amostras de açúcares mascavo apresentaram maiores concentrações de agrotóxico (1,4 a 917 mg/kg) porque em especial esse açúcar passa por menos processamento para ser obtido do que as demais, concordando assim com os trabalhos de Gryglewicz e Piechocki (2010) e Jamjanrron *et al.* (2024). Estes autores afirmam que os agrotóxicos, em especial os organoclorados, tendem a se degradar durante a produção de açúcar devido as altas temperaturas, bem como os processos de branqueamento e descoloração realizados nos açúcares refinado e branco. As amostras que menos apresentaram agrotóxicos foram os açúcares refinados (2), sendo esta afirmação de acordo com o trabalho de Sinha *et*

al. (2011) que também investigou agrotóxicos em 27 açúcares refinados, encontrando apenas 01 composto em uma amostra.

Tabela 04. Tipo de açúcar, origem por país e amostras que apresentaram agrotóxicos em sua composição na concentração de µg/L.

Tipo	ID	Alfa-HCH	Beta-HCH	Gama-HCH	Clorothalonil	Dimethaoloro	Metilparation	Fenitroton	Clorpirifós	4,4-DDE	Cyclopronazole II	Tebuconazol	Lambda-cialotrina II
Cristal	1	PY	19,69±0,50	18,33±0,26	ND	ND	23,614±0,13	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	PY	ND	ND	ND	ND	ND	132,64±1,30	ND	ND	ND	ND	ND
	3	AR	14,68±2,74	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4	BR	186,53± 4,01	ND	1637,30±129,73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5	BR	ND	ND	1733,80±96,23	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6	BR	ND	ND	1565,70±131,90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7	BR	222,21± 40,95	ND	1542,50±12,72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8	AR	14,67±2,74	ND	ND	ND	41,34±0,38	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Refinado	9	AR	66,06±1,44	ND	166,87±24,53	ND	36,71±6,91	ND	693,77±1,61	ND	ND	ND	ND
	10	UR	1097,00±14,64	ND	ND	ND	47,68±1,27	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cristal Orgânico	11	BR	25,82±0,10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Demerara	12	BR	ND	ND	5966,38±754,74	ND	75,84±8,30	ND	ND	ND	ND	25,99±0,51	ND
	13	BR	ND	ND	1291,41±87,12	ND	38,84±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14	BR	ND	ND	4080,40±43,68	ND	110,33±10,52	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	15	BR	ND	ND	ND	81,76±2,74	65,46±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16	BR	21,49± 1,32	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Demerara Orgânico	17	BR	ND	ND	1238,07±5,63	ND	38,84±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND

	Tipo	ID	Alfa-HCH	Beta-HCH	Gamma-HCH	Clorothalonil	Dimethaclaro	Metil paration	Fenitroton	Clorpirifós	4,4-DDE	Cyclopronazole II	Tebuconazol	Lambda-cialotrina II
Mascavo	18	BR	ND	ND	96,43±3,42	ND	170,14±9,7 9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	19	BR	ND	ND	83,53±13,8 1	ND	ND	3997,0±52 9,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	20	BR	ND	ND	77,01±6,46	ND	63,07±3,42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	21	BR	ND	ND	ND	53,25±2,74	51,45±4,31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	22	BR	41,09±9,32	ND	1195,70±3 1,37	ND	38,84±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	23	BR	ND	ND	1291,40±8 7,12	ND	107,85±13, 57	ND	ND	ND	23,58±0,87	ND	ND	ND
	24	BR	ND	ND	87,42±9,61	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	25	BR	21,40±2,57	8,48±2,88	4080,40±4 3,69	ND	ND	ND	ND	87,42±9,61	ND	14,32±0,78	ND	53,09±0,45
	26	PY	15,09±1,84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	27	PY	ND	ND	ND	ND	ND	464,25±27, 87	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28	AR	ND	ND	9174,00±7 99,36	ND	110,42±12, 51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
N° amostras positivas			12	2	14	2	15	2	2	1	2	1	1	1
% de amostras totais (36)			38,23	5,9	41,2	5,9	41,12	5	5,9	3,4	5,9	3,4	3,4	3,4

Legenda. Identificação das Amostras: *Cristal*: 01 PY (Paraguay-Assunción); 02 PY (Paraguay- Fernadno de la Mora); 03 AR (Argentina- Tucuman); 04 BR (Brasil-Ceará); 05 BR (Brasil- Goiás); 06 BR (Brasil – Goiás)); 07 BR (Brasil - Ceará), 08 AR (Argentina – Jujuy). *Refinado*: 09 AR (Argentina – Jujuy), 10 UR (Uruguai). *Cristal Orgânico*: 11 BR (Brasil – São Paulo). *Demerara* : 12 BR (Brasil – São Paulo); 13 BR (Brasil - Paraná); 14 BR (Brasil -Mato Grosso), 15 BR (Brasil – São Paulo),16 BR (Brasil – São Paulo), *Demerara Orgânico*: 17 BR (Brasil - Goiás), *Mascavo*: 18 BR (Brasil - São Paulo), 19 BR (Brasil – São Paulo), 20 BR (Brasil - Pará), 21 BR (Brasil – Mato Grosso), 22 (Brasil - Paraná), 23 BR (Brasil – São Paulo), 24 BR (Brasil – São Paulo) , 25 BR (Brasil – Minas Gerais), 26 PY (Paraguai – Guairá), 27 PY (Paraguai – San Lorenzo), 28 AR (Argentina -Jujuy). ND* Não detectado.

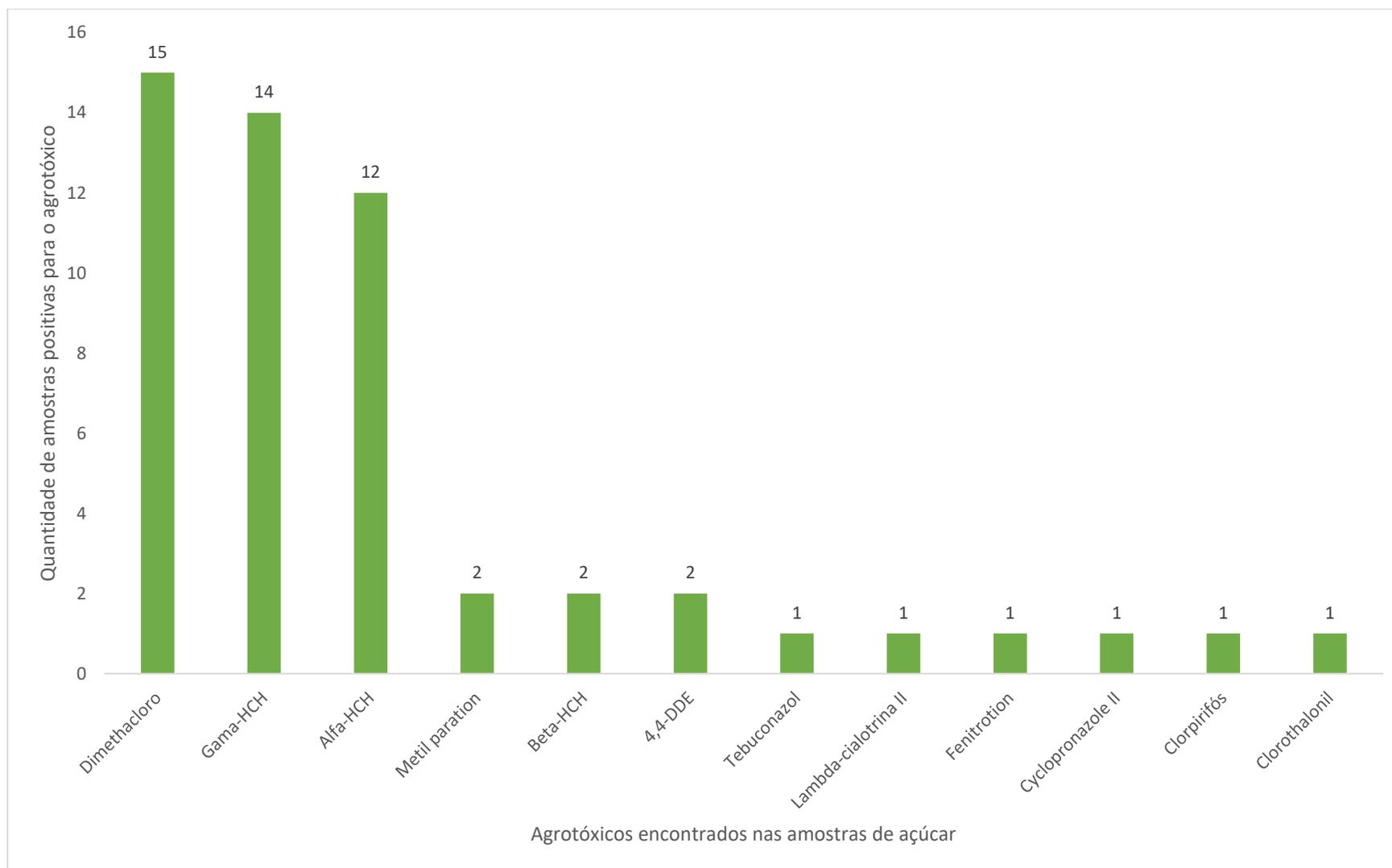
Tabela 05. Tipo de açúcar, origem por país e amostras que apresentaram agrotóxicos em sua composição na concentração de mg/Kg.

Tipo	ID	Alfa-HCH	Beta-HCH	Gama-HCH	Clorothalonil	Dimethaclo 0	Metil paration	Fenitrotion	Clorpirifós	4,4-DDE	Cyclopronaz ole II	Tebuconazol	Lambda- cialotrina II
Cristal	1	PY	1,97±0,05	18,33±0,26	ND	ND	23,614±0,13	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2	PY	ND	ND	ND	ND	ND	132,64±11,30	ND	ND	ND	ND	ND
	3	AR	1,47±0,27	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	4	BR	18,65± 0,40	ND	1637,30±129,73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5	BR	ND	ND	1733,80±96,23	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6	BR	ND	ND	1565,70±131,90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	7	BR	22,22± 4,09	ND	1542,50±12,72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8	AR	1,47±0,27	ND	ND	ND	41,34±0,38	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Refinado	9	AR	6,06±0,14	ND	166,87±24,53	ND	36,71±6,91	ND	693,77±1,61	ND	ND	ND	ND
	10	UR	109,70±1,46	ND	ND	ND	47,68±1,27	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cristal Orgânico	11	BR	2,58±0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Demerara	12	BR	ND	ND	5966,38±754,74	ND	75,84±8,30	ND	ND	ND	ND	25,99±0,51	ND
	13	BR	ND	ND	1291,41±87,12	ND	38,84±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	14	BR	ND	ND	4080,40±43,68	ND	110,33±10,52	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	15	BR	ND	ND	ND	81,76±2,74	65,46±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	16	BR	2,15± 0,13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Demerara Org Oânico	17	BR	ND	ND	1238,07±5,63	ND	38,84±0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tipo	ID	Alfa-HCH	Beta-HCH	Gama-HCH	Clorotalonil	Dimethacoloro	Metil paration	Fenitroton	Clorpirifós	4,4-DDE	Cyctopronazole II	Tebuconazol	Lambda-cialotrina II	
Mascavo	18	BR	ND	ND	9,64±0,34	ND	17,01±0,98	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	19	BR	ND	ND	8,35±1,38	ND	ND	399,7±52,9	ND	ND	ND	ND	ND	
	20	BR	ND	ND	7,70±0,65	ND	6,31±0,34	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	21	BR	ND	ND	ND	5,33±0,27	5,14±0,43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	22	BR	4,11±0,93	ND	119,57±3,1 4	ND	3,89±0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	23	BR	ND	ND	129,14±8,7 1	ND	10,79±1,36	ND	ND	ND	2,4±0,1	ND	ND	
	24	BR	ND	ND	8,74±0,96	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	25	BR	2,14±0,26	0,85±0,28	408,40±4,3 4	ND	ND	ND	ND	8,74±0,96	ND	1,4±0,1	ND	55,4±0,5
	26	PY	1,51±0,18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	27	PY	ND	ND	ND	ND	ND	46,43±2,79	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28	AR	ND	ND	917,40±79, 94	ND	11,04±1,25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Nº amostras positivas			12	2	14	2	15	2	2	1	2	1	1	1
% de amostras totais (36)			38,23	5,9	41,2	5,9	41,12	5	5,9	3,4	5,9	3,4	3,4	3,4

Legenda. Identificação das Amostras: *Cristal*: 01 PY (Paraguay-Assunción); 02 PY (Paraguay- Fernadno de la Mora); 03 AR (Argentina- Tucuman); 04 BR (Brasil-Ceará); 05 BR (Brasil- Góias); 06 BR (Brasil – Goiás); 07 BR (Brasil - Ceará), 08 AR (Argentina – Jujuy). *Refinado*: 09 AR (Argentina – Jujuy), 10 UR (Uruguai). *Cristal Orgânico*: 11 BR (Brasil – São Paulo). *Demerara* : 12 BR (Brasil – São Paulo); 13 BR (Brasil - Paraná); 14 BR (Brasil -Mato Grosso), 15 BR (Brasil – São Paulo),16 BR (Brasil – São Paulo), *Demerara Orgânico*: 17 BR (Brasil - Goiás), *Mascavo*: 18 BR (Brasil - São Paulo), 19 BR (Brasil – São Paulo), 20 BR (Brasil - Pará), 21 BR (Brasil – Mato Grosso), 22 (Brasil - Paraná), 23 BR (Brasil – São Paulo), 24 BR (Brasil – São Paulo) , 25 BR (Brasil – Minas Gerais), 26 PY (Paraguai – Guairá), 27 PY (Paraguai – San Lorenzo), 28 AR (Argentina -Jujuy). ND* Não detectado.

Figura 04. Quantidade de amostras positivas para os agrotóxicos encontrados no açúcar.



Quadro 01. Limite Máximo de Resíduo (mg/kg) permitidos nos Países do Mercosul.

Pesticida	Limite Máximo de Resíduo (mg/kg).		
	Codex	Argentina (Resolução SENASA 934/10)	Brasil (Monografia da Anvisa)
2,4-D	0,05	2	0,01
Aldicarbe	0,1	0,01	NP
Acetocloro	NP	0,01	0,01
Atrazina	NP	0,25	0,02
Azoxistrobina	0,05	NP	0,02
Azulam	NP	0,01	NP
Benzovindiflupir	0,4	NP	0,05
Biciclopirona	0,02	NP	0,003
Bromoxinil	NP	0,1	NP
Carbofurano	0,1	NP	NP
Clorantraniliprole	0,5	NP	1,58
Clotianidina	0,4	NP	0,09
Cialotrina (inclui lambda-cialotrina)	0,05	NP	0,05
Cipermetrinas (incluindo alfa- e zeta-cipermetrina)	0,2	NP	0,02
Dicamba	1	0,5	0,3
2,2 Dicloropropiônico	NP	0,1	NP
Diurum	NP	0,5	0,007
Etefom	NP	0,5	0,05
Etoprofos	0,02	NP	NP
Fluazifop-p-butil	0,01	NP	0,05
Fluensulfona	0,06	NP	NP
Fluroxipir	NP	0,2	NP
Glifosato	2	0,1	0,5

Pesticida	Limite Máximo de Resíduo (mg/kg).		
	Codex	Argentina (Resolução SENASA 934/10)	Brasil (Monografia da Anvisa)
Hexazinona	NP	0,02	0,05
Imazápico	0,01	0,05	0,7
Isoxaflutol	0,01	0,01	0,02
Mefentrifluconazol	1,5	NP	0,035
Mesotriona	0,01	NP	0,0005
Metaflumizona	0,02	NP	0,03
Metalocloro	NP	0,05	0,01
Metconazol	0,06	NP	NP
Metoxifenoazida	0,01	NP	0,1
Novalurão	0,5	NP	NP
Paraquat	NP	0,05	0,01
Pendimetalina	0,01	NP	0,1
Propiconazol	0,02	NP	NP
Piraclostrobina	0,08	NP	0,04
Saflufenacil	0,03	NP	0,046
Simazina	NP	0,02	0,006
Sulfentrazone	NP	0,03	0,01
Terbacil	NP	0,05	NP
Tebufenozida	1	NP	0,004
Tebutioron	NP	0,05	0,03
Teflubenzurão	0,01	NP	0,07
Trinexapac-etil	0,5	0,01	NP

Legenda: NP-Não Permitido. **Nota:** O Brasil possui 119 agrotóxicos permitidos de serem encontrados como resíduos na cana-de-açúcar todavia para fins desse trabalho foram colocados apenas os que tinham presença no Codex e Senasa (Argentina). Adaptado da Monografia da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Resolução Senasa 234/2010 e Codex Alimentarius. **Fonte:** Autoria Própria, 2024.

De igual modo, foi observado que de quatro amostras de açúcares orgânicos dois açúcares brasileiros orgânicos (açúcar cristal e demerara) apresentaram três inseticidas organoclorados (Alfa-HCH, Gama HCH e Dimethacloro), sendo dois proibidos para uso conforme a Convenção de Estocolmo. Acredita-se que esse resultado é devido a Portaria nº 52/2021 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento que estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção, autorizar no Anexo VII armadilha para insetos, repelentes mecânicos e materiais repelentes com o uso de substâncias com ação inseticida quando autorizadas pelo Organismo de Avaliação da Conformidade Orgânica (OAC) ou Organização de Controle Social (OCS), que podem servir como lacuna na legislação para o uso indireto de inseticidas que contaminam a cana de forma que possa ser encontrado resíduos desse composto produtos comercializados com o selo orgânico. Apesar dessa lacuna na legislação, as quantidades encontradas nesse trabalho não justificariam a presença desses agrotóxicos nas amostras de açúcares, uma vez que, para serem encontrados supõe-se que devem ser aplicados em uso direto desses agrotóxicos nas plantas. Destaca-se a relevância que os valores contrariam a especificação do *Codex Alimentarius* para classificação de orgânico, bem como enganam os consumidores que buscam esse produto e estão dispostos a pagarem um valor agregado maior para produtos orgânico.

Dos agrotóxicos mais prevalentes nas amostras que foram encontrados destacam-se o herbicida dimethacloro (53%) e os inseticidas organoclorados gama H-C-H (50%), alfa H-C-H (46%). Quanto a frequência na lista de uso aprovado de agrotóxico em açúcares o herbicida e inseticida ocupa a primeira e terceira posição, respectivamente, na diversidade de agrotóxico aprovados na ANVISA (ANVISA, 2023). A explicação desse resultado se dá devido a cana-de-açúcar apresentar muitos insetos-pragas, podendo ultrapassar 1.500 espécies em todo o mundo (BRANCO et al., 2010). Ainda de acordo com Branco et al. (2010) as pragas que proporcionam os maiores prejuízos na cultura da cana são as brocas do colmo *Lepidoptera* (*Crambidae*), do gênero *Diatraea saccharali*, isso porquê o prejuízo causado é a inversão e perda de sacarose, o que gera perda financeira no rendimento do açúcar obtido da cana. Além disso, a utilização de inseticida no cultivo da cana-de-açúcar é aplicável em cultivo convencional e persistem nas amostras mesmo após processamento, conforme pode ser visto na Tabela 04 e Figura 04. O amplo emprego desses organoclorados se deve principalmente a eficácia a diversas pragas e baixo custo, embora nos últimos anos a preocupação pública aumentou com o crescente problema de resíduos de pesticidas nos alimentos (BALASUBRAINI & REGUPATHY, 1999).

Duas amostras de açúcar mascavo (Minas Gerais e Paraná -Brasil) apresentaram maior diversidade de agrotóxicos 5 e 4 tipos de agrotóxicos, respectivamente, seguido do açúcar refinado da Argentina. Esses resultados são reforçados pelo trabalho Jamjanrron et al. (2024) que encontrou 13 organoclorados, dentre eles o beta e gama-HCH, em açúcares brutos da Tailândia, o que de acordo a classificação global seriam os açúcares mascavo e demerara. A presença de organoclorado se deve a meia-vida prolongada desses compostos, eles têm alto potencial de acumulação e persistência no ambiente (JANJANROON et al., 2024).

Para verificação dos limites máximos de resíduos permitidos de agrotóxicos na Cana-de-açúcar nos países do Mercosul foi elaborado o Quadro 01 onde comparou-se os produtos fitossanitários permitidos no CODEX, Argentina através da Resolução SENASA 934/10, Brasil através da Monografia de agrotóxico disponível em Power bi (Planilha de excel ativa e atualizada constantemente pela ANVISA). É importante destacar que o Paraguai e Uruguai adotam os LMR (Limite Máximo de Resíduo) recomendados pelo *Codex Alimentarius*.

É importante destacar que os países Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai são signatários da Convenção de Estocolmo que tem por objetivo banir e restringir o uso e substâncias químicas classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) e que para cumprir as deliberações da Convenção, os países membros tem a obrigação de desenvolver estratégias eficazes para a eliminação, proibição e restrição dos POPs e, para tanto, devem adquirir uma compreensão perfeita das situações dos referidos produtos químicos dentro de seu território nacional (CENTURIÓN et al., 2023). Os POPs são substâncias químicas orgânicas sintéticas, diferenciadas de outras substâncias químicas por possuírem uma combinação particular de características físicas e químicas, tais como: semivolatilidade, persistência, bioacumulação e toxicidade. (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023). Dentro da lista de POPs encontram-se banidos: Aldrin; Dieldrin; Endrin; Heptacloro; Hexaclorobenzeno; Mirex; Toxafeno; Bifenilas policloradas (PCB); DDT; Dioxinas; Furanos; Alfa hexaclorociclohexano (alpha-HCH); beta-hexaclorociclohexano (beta-HCH); gama-hexaclorociclohexano (gama-HCH); Clordecona; Hexabromobifenil; Éter tetrabromodifenílico (tetra-BDE) e éter pentabromodifenílico (penta-BDE); Éter hexabromodifenílico (hexa-BDE) e éter heptabromodifenílico (hepta-BDE); Pentaclorobenzeno; Ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS); seus sais e fluoreto de perfluorooctanosulfonila (PFOSF); Endossulfan; Hexabromociclododecano (HBCDD); Hexaclorobutadieno (HCBDD); Pentaclorofenol; seus sais e ésteres (PeCP); Naftalenos policlorados; Éter de decabromodifenil, misturas comerciais (c-deca-BDE); Parafinas cloradas de cadeia curta (SCCP) (Centurion et al., 2023; COMPANHIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023). Nesse trabalho foram encontrados Alfa-HCH (12

amostras), Beta HCH (2 amostras) (Tabela 04) nos açúcares estudados. Isso mostra que apesar da convenção ter sido realizada em 2001 e não serem permitidos para uso tanto na lista do Codex, SENAVE (Argentina), ANVISA (Brasil), ainda há o uso desses POPs no campo que por falta de fiscalização ou orientação de Boas Práticas Agrícolas contaminam a cana de forma que possa ser encontrado nos açúcares desse trabalho. Além disso, segundo o trabalho de Janjarom et al. (2023) muitos desses produtos banidos no Mercosul tem seu uso aprovado com limite residual na União Europeia e Tailândia.

Foi observado a partir dos resultados que o agrotóxico Lambda-*Cialotrina* estava presente na amostra de açúcar brasileiro estava acima das concentrações (5,31 mg/Kg) preconizadas do Codex e da Anvisa (0,05mg/Kg) (Vide Tabela 04 e Quadro 01). Isso concorda com diversos trabalhos (Janjarron et al. (2021); Branco et al. (2021) que relatam o uso acima do permitido do campo o que implica no Limite de Resíduo Máximo 100 vezes maior do que o preconizado na legislação para cana-de-açúcar, além de corroborar a bioacumulação desses compostos.

Também foi analisada uma amostra de açúcar cristal de beterraba (seguindo a mesma metodologia aplicadas para amostras Mercosul) proveniente da Espanha, na qual foram detectados os agrotóxicos alfa-HCH ($11,48 \pm 0,46$ mg/kg), beta-HCH ($0,86 \pm 0,07$ mg/Kg), gama- HCH ($2,75 \pm 0,07$ mg) e lambda-cialotrina II ($2,59 \pm 0,010$ mg). Os valores encontrados estão acima dos limites estabelecidos pela União Europeia para esses compostos, como no caso do alfa-HCH, cuja concentração excede o limite permitido de 0,01 mg. Esta comparação permite notar, mesmo que só tenha sido analisada uma amostra de açúcar europeu, verificou-se que a mesma também está fora dos padrões legais.

4.1 Cálculo da Ingestão de agrotóxicos através de alimentos que utilizam açúcar como ingrediente

O Quadro 02 apresenta a quantidade de açúcares em diversos alimentos, conforme os dados do relatório de monitoramento de açúcares em alimentos da ANVISA (2021) e do estudo de Faresin (2019). Esses valores são comparados ao consumo per capita e à quantidade de agrotóxicos estimada nesses alimentos, com base nos resultados. Dados mundiais têm relatado o alto consumo de açúcares totais pela população, que são açúcares presentes em alimentos ou bebidas, tanto produzidos naturalmente quanto adicionados (RUPEREZ & MESANA et al., 2019). Na América Latina, foi relatada uma ingestão média total de açúcar de 99,4 g/dia entre indivíduos de 15 a 65 anos, onde 13,2% desse percentual são provenientes de açúcares adicionados (FISBERG et al, 2018).

Como pode ser visto no Quadro 02, os alimentos listados apresentam variação significativa no teor de açúcar, sendo os biscoitos tipo *wafer* os mais ricos em açúcar (38,4 g/100g), enquanto os refrigerantes possuem a menor concentração (10,51g/100 mL). Além disso, o consumo *per capita* também varia consideravelmente. Por exemplo, o consumo médio de biscoitos tipo *wafer* é menor (113 g/dia), enquanto bebidas lácteas fermentadas têm um consumo médio expressivo (317 mL/dia). Esses resultados concordam com o relatório da Organização Pan-Americana de Saúde (2018), que destaca o aumento no consumo de alimentos ultraprocessados em países como Brasil, Argentina e outros países, e como isso impacta negativamente a saúde, com aumento de obesidade e doenças crônicas. Além disso, é mencionado que 43% da composição desses produtos é açúcar e que há um crescimento no consumo desses itens.

As diferenças de consumo entre os países são notáveis. Por exemplo, o Uruguai tem um consumo alto de sorvetes (284 g/dia), enquanto no Brasil, o consumo é menor sendo de (117 g/dia). Além disso, o Brasil apresenta alto consumo de bebidas lácteas fermentadas (364 mL/dia), indicando uma preferência cultural e econômica por esse tipo de produto em comparação aos outros países.

A exposição indireta a agrotóxicos está relacionada ao tipo de alimento e sua origem, sendo mais alta em sorvetes (0,9 mg/kg) e mais baixa em bebidas lácteas fermentadas (0,29 mg/kg). Esses valores indicam a importância de rastrear as cadeias produtivas, já que alimentos processados e com ingredientes variados (como sorvetes) podem agregar resíduos de diferentes origens. É importante refletir que consumos elevados, especialmente de alimentos como biscoitos *wafer* e bebidas lácteas, podem contribuir para problemas de saúde como obesidade, diabetes e cáries. Diante disso, deve-se considerar alternativas com menos açúcar ou políticas

para reduzir o teor em produtos industrializados, apesar dos países terem adotado o uso de sinalizações no painel frontal dos alimentos, ainda percebe-se um consumo elevado desses alimentos (ANVISA, 2023). Quanto a exposição por agrotóxico, verifica-se através do quadro é essencial monitorar e adotar boas práticas agrícolas para minimizar a exposição cumulativa.

Para calcular o consumo indireto de substâncias contaminantes em alimentos, principalmente no contexto de saúde pública e segurança de alimentos, é preciso estimar a ingestão média da substância com base em análises de concentração da substância no alimento e nos padrões de consumo alimentar da população. Esse processo envolve etapas de identificação de risco, que considera as concentrações de contaminantes (como resíduos de pesticidas, metais pesados ou micotoxinas) e a ingestão média diária de cada alimento contaminado, ponderando fatores como peso corporal e hábitos alimentares. Nesse trabalho foram considerados o seguindo cálculo abaixo para estimar o consumo de agrotóxicos indireto em outros alimentos que são adicionados açúcares:

Dose:

(Concentração da substância X Taxa de consumo do alimento) /Exposição

Exemplo:

Concentração total dos agrotóxicos presente na amostra 9* 0,113Kg/ 0,022 Kg

Dados:

Amostra 9= 96,28 mg

Quantidade de consumo do biscoito= 0,113 Kg

*Quantidade de açúcar presente no biscoito Waffer: 0,022 Kg

*Exposição: É a soma das doses de cada fonte para obter o consumo indireto total da substância contaminante. Quantidade de açúcar presente naquele alimento.

Os resultados do Quadro 02 revelam que diversos alimentos contêm mais de 10% de açúcar em sua composição e, conforme a Tabela 04 e 05, muitos açúcares apresentaram resíduos de agrotóxicos. Isso sugere que a preocupação com a presença de agrotóxicos deve se estender não apenas aos alimentos consumidos diretamente, mas também a outros produtos que contenham açúcar em sua formulação. Preocupações do consumo indireto de agrotóxicos em alimentos açucarados motivaram a pesquisa de Janjarrom et al. (2024) na Tailândia devido ao uso desse ingrediente para bebidas.

Essa análise reforça a importância de monitorar não apenas os ingredientes principais, mas também os aditivos, como o açúcar, que podem levar à exposição indireta a resíduos químicos.

De acordo com a Tabela 05 a frequência de Alfa e Beta-HCH foi alta em açúcar serão possíveis marcadores químicos para investigação de resíduos de agrotóxicos em alimentos açucarados.

Além disso, esse trabalho revela que para além da preocupação de alimentos açucarados se faz necessário preencher a lacuna para o monitoramento de resíduos de agrotóxicos como diretriz do CODEX Alimentarius e da Organização Mundial de Saúde em alimentos que levam açúcar em sua composição.

Quadro 02. Quantidade de açúcar nos alimentos *versus* consumo per capita (dia) nos países do Mercosul *versus* quantidade de agrotóxico encontrado nesse trabalho nos açúcares.

Alimentos	Quantidade de Açúcar (g.100 g ⁻¹)	Consumo per capita (g ou mL/dia)					Quantidade de agrotóxico (consumo indireto mg/kg) ^{***}
		Brasil	Paraguai	Uruguai	Argentina	Média de consumo	
Biscoito tipo waffer	38,4	169 g	NE	135 g	35 g	113 g	0,28 mg/kg
Bebidas lácteas fermentadas	13,8	364 mL*	NE	269,5mL	NE	317 mL	2,21mg / Kg**
Bebidas lácteas não fermentadas	12,9						
Refrigerantes	10,51	191 mL	NE	176,8 mL	232 mL	200 mL	1,83 mg/Kg**
Sorvetes	12 a 17	117 g	284 g	82 g	200g	171 g	0,9 mg/kg

Adaptado do relatório de monitorização de açúcares nos alimentos da Anvisa (2021), trabalho de Faresin (2019) e dados do IBGE (Brasil), INDEC (Instituto Nacional de Estatística e Censos da Argentina), INAC (Uruguai); ANIB (2013); Federação da Argentina Graduandos em Nutrição (2022); Ministério de Saúde Pública do Uruguai (2021). **Fonte:** Autoria própria, 2024. **Legenda:** * Valor estimado baseado no consumo de derivados lácteos da Associação Brasileira da Indústria de Lácteos Longa Vida (2021); ** Corrigindo de ml para mg; NE (Não encontrado). *** Foi considerado o somatório da quantidade de agrotóxico encontrado na amostra 8 desse trabalho considerando a expressão da fórmula citada nesse texto.

4 CONCLUSÃO

Os resultados indicam uma presença significativa de resíduos de agrotóxicos em diferentes tipos de açúcar, com destaque para o açúcar mascavo, cristal e demerara. Entre os 21 agrotóxicos investigados, 13 foram detectados, sendo o herbicida dimethaclaro e os inseticidas organoclorados os mais prevalentes. A maior diversidade de agrotóxicos foi encontrada em amostras de açúcar mascavo do Brasil. Além disso, de quatro açúcares orgânicos testados nessa amostra, 02 apresentaram agrotóxicos em sua composição que são proibidos pelo Codex Alimentarius e União Europeia.

Esses dados ressaltam a necessidade de controle mais rigoroso sobre o uso de agrotóxicos, especialmente em produtos de consumo amplamente difundidos, como o açúcar. Portanto, este artigo fornece uma visão geral do uso de pesticidas no açúcar e mostra a importância de monitoramento para garantir a segurança de alimentos e a conformidade com os padrões regulatórios. Técnicas cromatográficas desempenham um papel crucial nesse contexto, permitindo a separação e identificação precisa de pesticidas em amostras complexas, como o açúcar.

Cabe ressaltar que o consumo de alimentos açucarados não está apenas associado a questões de saúde relacionadas ao excesso de açúcar, como obesidade e diabetes, mas também pode aumentar o nível de exposição aos agrotóxicos presentes nesses produtos. Esse trabalho demonstrou que os açúcares de cana-de-açúcar e beterraba contêm resíduos defensivos agrícolas. Esses dados alertam a necessidade de novas pesquisas que utilizem técnicas com alta sensibilidade para detectarem agrotóxicos em alimentos industrializados, bem como a importância de programas de monitoramentos mais rigorosos que contemplem a busca por esses compostos químicos em alimentos processados.

Contribuição dos Autores

Josenai Penha Porto: Conceituação, Metodologia, Validação, Investigação, desenho e execução dos experimentos, Curadoria de dados, Redação-revisão e edição. **Marcelo Umsza Guez:** Conceituação, Metodologia, Validação, Investigação, desenho e execução dos experimentos, Curadoria de dados, Redação-revisão. **JeanCarlos:** Metodologia, Validação, Redação-revisão, Investigação, desenho. **Madson Moreira:** Metodologia e

Validação dos Agrotóxicos em Açúcar. **Emanuele Bispo**: Execução das análises de agrotóxicos em açúcares.

Conflitos de Interesses

Todos os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à pesquisa descrita, à publicação dos resultados e às questões financeiras.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação de Ciências dos Alimentos.

Referências

ALLESCHER, H. D. *et al.* **Effect of opioid active therapeutics on the ascending reflex pathway in the rat ileum.** *Neuropeptides*, v. 34, p. 181-186, 2000.

ARMAS, E.D.;MONTEIRO, R.T.S.;AMANCIA, A.V.; CORREA, R.M.L.; GUERCIO, M.A. **Uso de Agrotóxicos em Cana-de-Açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de Poluição Hídrica.** *Quim. Nova*, 28(6): 975-982, 2005.

ARSO. AFRICAN ORGANIZATION FOR STANDARDISATION. BROWN SUGAR-SPECIFICATION-2012. Disponível em:<<https://law.resource.org/pub/eac/ibr/eas.749.2010.pdf>>. Acesso em 21 de Julho de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE LÁCTEOS LONGA VIDA. **Compilação Estatística ABLV - BRASIL - Edição: Novembro de 2021.** Disponível: <https://ablv.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Compilacao-Estatistica-Brasil-2021.pdf>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 16th ed., v. 2. Arlington: A.O.A.C., 1995, Chapter 50, p. 14. (method 985.35).

ASSUNÇÃO, L.S.;SOUZA, C.O.; SHAHIDI, F.; OLIVEIRA, T.S.; ASSIS, D.J.; SANTOS, L.F.P.; NUNES, I.L.; MACHADO, B.A.S.;RIBEIRO, C.D.F. **Otimização e**

caracterização de nanopartículas interespecíficas híbridas de óleo de palma bruto Unaué HIE OxG com subprodutos vegetais como encapsulantes. Alimentos 2024 , 13 (4), 523; <https://doi.org/10.3390/foods13040523>

AUDE, M.I.S. **Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade.** Ciência Rural, Santa Maria, v.23, n.2, p.241-248. 1993

AUDIE, J.; BOYD, C. **The synergistic use of computation, chemistry and biology to discover novel peptide-based drugs: the time is right.** Current Pharmaceutical desing, v. 16, p. 567-582, 2010.

BALASUBRAINI, V.; REGUPATHY, A. **Residues of HCH and DDT in food samples from hotels in Tamil Nadu.** Tropical Agricultural Research and Extension. 2(1): 40-43, 1999.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Instrução Normativa de nº160/2022 da ANVISA (Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos).**

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa número 47: Regulamento Técnico do Açúcar.**

BRANCO, R.T.P.C.; PORTELA, G.L.F.; BARBOSA, O.A.A.; SILVA, P.R.R.; PÁDUA, L.E.M. **Análise faunística de insetos associados à cultura da cana-de-açúcar, em área de transição floresta amazônica – cerrado (mata de coccoloba), no município de União – Piauí – Brasil.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1113-1120, 2010.

CABRERA, L.C.; MELLO, L.L.; BADIÁLE-FURLONG, E.; PRIMEL, E.G.; PRESTES, O.D.; ZANELLA, R. **Efeito do processamento industrial e doméstico de alimentos nos níveis de resíduos de agrotóxicos.** Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia, vol. 2, núm. 4, 2014, pp. 43-52

CASSAL, V.B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R.P., DANÚBIO, G.S.; SIMÃO, R.S. **Agrotóxico: uma revisão de suas consequências para a saúde pública.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. 18:1,437-445, 2018.

CEFET - Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais. **Cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massa.** Disponível em:<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAa_8AI/cromatografia-gasosa-acoplada-a-espectrometria-massa>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

CENTURION, M.P.B; PERES, F.; MOREIRA, J.C.; JACOB, S.C. **Regulação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no MERCOSUL: discussão necessária para vigilância sanitária.** Rev Panam Salud Publica 47, 2023 | www.paho.org/journal | <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.66>

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **A Convenção de Estocolmo.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/a-convencao/>>. Acesso em 03 de Novembro de 2024.

CHEN, J. C. P.; CHOU, C. C. **A manual for cane sugar manufactures and their chemists.** 12ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993.

CLARKE, M. A.; LEGENDRE, B. R. **Qualidade da cana-de-açúcar: Impactos no rendimento do açúcar e fatores da qualidade.** Soc. Tec. Açúc. Alco. Bras., Açúc. Alco. Subprod., v. 17, n. 6, p. 36–40, 1999.

CODEX ALIMENTARIUS. **Base de dados online para pesticidas: Cana-de-açúcar.** Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/commodities-detail/en/?lang=en&c_id=165>. Acesso em 02 de Novembro de 2024.

COELHO, L.F.; BRAGAGNOLO, C. **Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros.** Estud. Econ., São Paulo, vol.54 n.1, p.167-204, jan.-mar. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1980-53575416lccb>

COLLINS, C.H. BRAGA; G.L. BONATO; PIERINA, S. **Fundamentos de Cromatografia.** Editora Unicamp - Campinas, SP. 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Valores de Referência para a Saúde Humana: Aldrin, Dieldrin e Endrin.**2008. Disponível em:<

<https://cetesb.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes.asp> >. Acesso em 02 de Novembro de 2024.

COSTA, G.H.G; MASSON, I.S.; ROVIERO, J.P.; MUTTON, M.J.R. **Reflexos do processamento de cana-de-açúcar bisada na qualidade do açúcar VHP**. B.CEPPA, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 281-288, jul./dez. 2014.

DATAGRO. Açúcar: A Integração no Mercosul. Disponível em:<<https://portal.datagro.com/pt/sugar-etanol>>. Acesso em 23 de Julho de 2024.

EMBRAPA. MARIN, F.R. **Fenologia: CANA**. Disponível:<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/fenologia>>. Acesso em 26 de Julho de 2024.

FEDERACIÓN ARGENTINA DE GRADUANDOS EM NUTRIÇÃO. **Exceso de azúcares añadidos: las bebidas azucaradas en la dieta de los Argentinos**. Disponível em:< <https://www.fagran.org.ar/wp-content/uploads/2022/11/FOP-Gacetilla-de-Prensa-Consumo-de-azucares-y-bebidas-azucaradas.pdf>>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

FONTANETTI,C.S.; BUENO, O.S. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017. p. 51.

FERNANDEZ, M. **Helado en Argentina: los 15 sabores más elegidos y la historia que lo llevó a la cima mundial**. Disponível em:<<https://www.infobae.com/realidad-aumentada/2023/12/04/helado-en-argentina-los-15-sabores-mas-elegidos-y-la-historia-que-lo-llevo-a-la-cima-mundial/>> .Acesso em 10 de Novembro de 2024.

FISBERG, M.; KOVALSKY, I; GOMEZ, G.; RIGOTTI, A.; SANABRIA, L. Y.C.; GARCÍA, M. C. Y.; TORRES, R. G. P.; HERRERA-CUENCA, M.; ZIMBERG, I. Z.; KOLETZKO, B.; PRATT, M.; AZNAR, L. A. M.; GUAJARDO, V.; FISBERG, R.M.; VENDAS, C.H.; PREVIDELLI, Á. N. **Total and Added Sugar Intake: Assessment in Eight Latin American Countries**. *Nutrients* 2018, *10*(4), 389.

GODSHALL, M. A. **Removal of colorants and polysaccharides and the quality of white sugar**. Proceedings of sixth international symposium organized by association Andrew van Hook (AvH), 1999.

LOPES, C.A.V; ALBURQUE, GSC. **Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática.** Saúde debate: Rio De Janeiro. 42:117, 518-534, 2018.

LOPES, C.H. **Tecnologia de produção de açúcar de cana.** São Paulo: EdUSFcar, 2011. P.75-183;

LUCHINI, P.D. **Teores de Nutrientes minerais e metais pesados em açúcar mascavo produzido por diferentes sistemas orgânicos convencionais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

MARTINEZ, P.S. **Galletitas: ¿sabías que Argentina es de los países que más las consume?.**Disponível em: <https://billiken.lat/interesante/galletitas-sabias-que-argentina-es-de-los-paises-que-mas-las-consume/>>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

MAGRI, N.T.C. **Correção entre a qualidade do caldo de cana-de-açúcar e infecção por Leifsonia xyli subsp. Xyli agente causal do raquitismo das soqueiras.** Tese (Doutorado)-USP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piraciba:2020. 128p.

MEADE, G.P., CHEN, J.C.P. **Cane Sugar Handbook.** 11ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 947p

MEDEIROS, A.R. **Estudo da composição química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM) do óleo fixo das sementes de abóbora, cuité, jaca, melancia e da casa de cuité.** Monografia (Curso de Graduação em Farmácia). Universidade Federal de Campo Grande, 2015.

MELO, M.F. **Onde você come mais sorvete na América Latina?.** Disponível em: <<https://es.statista.com/grafico/30138/paises-latinoamericanos-con-el-mayor-consumo-anual-estimado-de-helado-per-capita/>>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

MESSA, S.; NESPOLO, C.S. **Produção e composição de diferentes tipos de açúcar.** Disponível em:<

https://www.udesc.br/arquivos/ceo/id_cpmenu/1043/rural_202_15198249105143_1043.pdf>. Acesso em 12 de Junho de 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. **Diretrizes brasileiras para o diagnóstico e tratamento de intoxicações agudas por agrotóxicos**. Brasília: DF, 2020.

MINISTÉRIO DE SALUD PÚBLICA DO URUGUAI. Consumo aparente de alimentos y bebidas en los hogares Uruguayos. Disponível em:< https://bibliotecaunicef.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=299>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

MORGANO, M.A.; MORIYA, C.; FERREIRA, M.M.C. **Determinação Quantitativa do Teor de Sacarose em Açúcar Cristal por Espectroscopia FT-IR/ATR e Regressão Multivariada**. Braz. J. Food Technol., 6:77-83, 2003.

NEIRO, E.S.; NANNI, M.R.; ROMAGNOLI, F.; CAMPOS, R.M.; CEZAR, E.; CHICATI, M.L.; OLIVEIRA, R.B. Análise de cor para discriminação de seis variedades de cana-de-açúcar em quatro épocas de colheitas no ano. Disponível em:< <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.54.51/doc/p1471.pdf>>. Acesso em 27 de Julho de 2024.

OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA JÚNIOR, J.F.S. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia**. Ciênc. Tecnol. Aliment. 27(supl.): 99-102, 2007.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE. **Alimentos e bebidas ultraprocessados na América Latina: tendências, efeito na obesidade e implicações para políticas públicas**. Brasília, DF: OPAS; 2018.

PITTELLA, C.M. **Determinação de resíduos de agrotóxicos em mel de abelhas (Apis sp) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária (2009).

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. R

ROUPA, T.R.; ASOKAN, A. **Effect of rind pigments and juice colorants on juice claribility, settling time and mud volume of sugarcane.** *Sugar Tech.*, v.10, n.2, p. 109-113, Jun.2008.

RUPUREZ, I.S.; MESANA, M. I.; MORENO, L.A. **Dietary sugars, metabolic effects and child health.** *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 22(3):p 206-216, 2019.

SAMPAIO, M.R. F.; MACHADO, M.C., LISBOA, M.T.; VIEIRA, M.A.; ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBLAZI, R. C. **Physicochemical Characterization and Antioxidant Activity of Refined and Unrefined Sugarcane Products.** *Sugar Tech*, v. 25, p. 110-120, 2023.

SAMPAIO, M.R.F.; TOMASINI, D.; CARDOSO, L.V.; CALDAS, S.S.; PRIMEL, E.G. **Determination of Pesticide Residues in Sugarcane Honey by QuEChERS and Liquid Chromatography.** *J. Braz. Chem. Soc.*, 23(2):197-205, 2012.

SANTOS, M.T; PONTES, M.A.N.; MORAIS, M.F.S.; NETA, M.N.S.; SILVA, D.D. **Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações.** Disponível em: <http://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf>. Acesso em 18 de dezembro de 2022.

SERVIÇO NACIONAL DE SAÚDE E QUALIDADE AGROALIMENTAR. **Resolução 934/2010: São estabelecidos os requisitos que os produtos agrícolas e subprodutos para consumo interno devem cumprir.** Disponível em: <<https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/175000179999/177593/norma.htm>>. Acesso em 03 de Novembro de 2024.

SKOOG, D.A; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Principles of Instrumental Analysis. CHAPTER TWENTY-SEVEN Gas Chromatography.** Sétima Edição. Cengage Learning: 2016. P-720-746.

SMITH, P.; PATON, N. H. **Sugarcane Flavonoids.** *Sugar Technology Reviews*, v. 12, p. 117– 142, 1985.

SOUZA, E. L.; SANTOS, L.F.P. S.; BARRETO, G.A. LEAL, I.L.; OLIVEIRA, F. O., DOS SANTOS, L.M.C.; RIBEIRO, C.D.F.; MINAFRA E REZENDE, C.S.;

MACHADO, B.A.S. **Desenvolvimento e caracterização de panetones enriquecidos com pó de composto bioativo produzido a partir de subproduto de uva Shiraz (*Vitis vinifera* L.) e amido de araruta (*Maranta arundinaceae* L.).** Food Chemistry Advances 2 (2023) 10022.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR E BIOENERGIA DO BRASIL. **Açúcar- Brasil: o maior produtor mundial de açúcar.** Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/acucar/>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Sugar: World Markets and Trade.** Disponível em:<<https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>>. Acesso em 16 de Julho de 2023.

WAQUIL, P.D.; ALVIM, A.M.; SILVA, L.X.; TRAPP, G.P.; MATTOS, E.J. **União Européia e Mercosul: o setor agrícola no processo de integração inter-blocos.** XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2004. Disponível em:<https://www.academia.edu/68266684/Uni%C3%A3o_Europ%C3%A9ia_e_Mercosul_o_setor_agr%C3%ADcola_no_processo_de_integra%C3%A7%C3%A3o_inter_blocos>. Acesso em 23 de Julho de 2024.

WEI, Y.; WANG, L.; LIU, J. **The diabetogenic effects of pesticides: Evidence based on epidemiological and toxicological studies.** Environmental Pollution Volume 331, Part 2, 15 August 2023, 121927.

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK, A.; LISIK, K. **Contamination of commercial cane sugars by some organic acids and some inorganic anions.**

ZAHRA NAZARI KHORASGANI, ALI ASGHAR HEMMATI, AZADEH ASHTARINEZH. **Occurrence pesticide residues in produced sugar from sugarcane.** Toxicology Letters Volume 180, Supplement, 5 October 2008, Pages S193-S194.

ZUIN, V.G.; SCHELLIN, M.; MONTERO, L.; YARIWAKE, J.H.; AUGUSTO, F. ; POPP, P. **Comparison of stir bar sorptive extraction and membrane-assisted solvent extraction as enrichment techniques for the determination of pesticide and benzo[a]pyrene residues in Brazilian sugarcane juice.** Journal of Chromatography A, 1114 (2006) 180–187.

ZUZA, E.P. **Determinação sacarimétrica de caldos e melaços provenientes da cana-de-açúcar sem adição de clarificantes químicos.** Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

REKHA, S. N., NAIK, R., & PRASAD, R. (2006). **Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis.** Chemical Health and Safety, 13, 12–19.