



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
CAMPUS LIMOEIRO DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

PRISCILLA LIMA MAIA

AGROTÓXICOS E METAIS TÓXICOS EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS
DERIVADOS DO COCO

LIMOEIRO DO NORTE – CE
2025

PRISCILLA LIMA MAIA

**AGROTÓXICOS E METAIS TÓXICOS EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS
DERIVADOS DO COCO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Ceará, *Campus* Limoeiro do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof.^a Dra. Maria Aparecida
Liberato Milhome

LIMOEIRO DO NORTE
2025



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145 - Bairro Centro - CEP 62930-000 - Limoeiro do Norte - CE - www.ifce.edu.br

ANEXO

PRISCILLA LIMA MAIA

AGROTÓXICOS E METAIS TÓXICOS EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS DERIVADOS DO COCO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *Campus* Limoeiro do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Aprovado em: 26/06/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Aparecida Liberato Milhome (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
(IFCE) - *Campus* Limoeiro do Norte

Profa. Dra. Marlene Nunes Damaceno (Membra Interna Titular)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
(IFCE) - *Campus* Limoeiro do Norte

Prof. Dr. Micael de Andrade Lima (Membro Externo Titular)
University of Greenwich - Reino Unido



Documento assinado eletronicamente por **Maria Aparecida Liberato Milhome, Coordenador(a) de Mestrado em Tecnologia de Alimentos**, em 27/06/2025, às 16:30, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marlene Nunes Damaceno, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 27/06/2025, às 17:45, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Micael de Andrade Lima, Usuário Externo**, em 12/08/2025, às 08:11, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **7579872** e o código CRC **25B8703E**.

AGRADECIMENTOS

Aos meus, aos que cruzaram o meu caminho e, de alguma maneira, contribuíram para que eu chegasse até aqui; aos amigos, colegas, professores; ao IFCE – campus Limoeiro do Norte, minha segunda casa desde o início da vida acadêmica, para onde sempre retorno, vez ou outra, pelos caminhos que a vida me leva; e, principalmente, a Deus, que nunca soltou a minha mão e a quem sempre recorro nos momentos mais difíceis da caminhada: muito obrigada!

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
volta ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

RESUMO

Cocos nucifera L., popularmente conhecido como coqueiro, é uma planta tropical da família Arecaceae. Seu fruto, o coco, é um dos mais versáteis e importantes para a humanidade, podendo ser consumido *in natura* ou industrializado. A água de coco e o coco ralado representam os principais produtos alimentícios derivados desta fruta. Estes produtos apresentam diversos benefícios à saúde, pois são fontes de fibras, vitaminas e minerais, além de contribuírem para o sistema imunológico e auxiliar no controle de peso. No entanto, o uso intensivo de agrotóxicos na agricultura, associado a fontes antropogênicas de contaminação de metais tóxicos no meio ambiente, tem gerado uma preocupação com a presença desses contaminantes em produtos derivados do coco. Este estudo teve como objetivo detectar a presença de 40 resíduos de agrotóxicos e 7 metais: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), estanho (Sn), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni), em cinco amostras de água de coco industrializada (A1 a A5) e cinco de coco ralado industrializado (C1 a C5). Os produtos, de cinco marcas diferentes, foram produzidos em estados brasileiros distintos e comercializados no Ceará. A extração dos resíduos foi realizada utilizando o método QuEChERS, seguido por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), uma técnica eficaz para análise de agrotóxicos em alimentos. Já a presença de metais nas amostras foi avaliada por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Os níveis de pesticidas encontrados em todas as amostras de água de coco e coco ralado estiveram abaixo do limite de quantificação (LQ), variando entre 0,015-0,15 mg/kg. Na água de coco, as concentrações de As, Cd, Pb, Sn e Cr apresentaram-se dentro do limite seguro, no entanto, foram observadas não conformidades para os elementos Mn e Ni. Resultados semelhantes foram encontrados para o coco ralado, com exceção do Cr, que apresentou não conformidade. Além disso, os riscos à saúde humana associada à ingestão desses metais foram avaliados em termos de Quociente de Risco (QR). A maioria dos valores do índice estava abaixo do valor de referência. Os resultados evidenciam a segurança do consumo médio da água de coco e do coco ralado industrializados, desde que se mantenham controles rigorosos, porém, a presença detectada de chumbo em uma amostra de água de coco alerta para potenciais riscos e reforça a necessidade de monitoramento contínuo e controle ambiental durante a produção.

Palavras-chave: Água de coco. Análise multirresíduo. Coco ralado. Contaminantes químicos. ICP.

ABSTRACT

Cocos nucifera L., popularly known as coconut palm, is a tropical plant from the Arecaceae family. Its fruit, the coconut, is one of the most versatile and important for humanity, and can be consumed fresh or processed. Coconut water and grated coconut are the main food products derived from the fruit. These products offer various health benefits, as they are sources of fiber, vitamins, and minerals, contribute to the immune system, and help with weight management. However, the intensive use of pesticides in agriculture, combined with anthropogenic sources of toxic metal contamination in the environment, has raised concerns about the presence of these contaminants in coconut-derived products. This study aimed to detect the presence of 40 pesticide residues and 7 metals: arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), tin (Sn), chromium (Cr), manganese (Mn), and nickel (Ni), in five samples of industrialized coconut water (A1 to A5) and five of industrialized grated coconut (C1 to C5). The products, from five different brands, were produced in different Brazilian states and sold in Ceará. Residue extraction was performed using the QuEChERS method, followed by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS), an effective technique for analyzing pesticides in food. The presence of metals in the samples was assessed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The levels of pesticides found in all coconut water and grated coconut samples were below the limit of quantification (LOQ), ranging between 0.015–0.15 mg/kg. In coconut water, the concentrations of As, Cd, Pb, Sn, and Cr were within safe limits; however, non-compliance was observed for Mn and Ni. Similar results were found for grated coconut, except for Cr, which also showed non-compliance. Additionally, the health risks associated with the ingestion of these metals were assessed using the Risk Quotient (RQ). Most of the index values were below the reference value. The results highlight the safety of average consumption of industrialized coconut water and grated coconut, provided that strict controls are maintained. However, the detection of lead in one coconut water sample raises concerns about potential risks and reinforces the need for continuous monitoring and environmental control during production.

Keywords: Chemical contaminants. Coconut water. Grated coconut. Inductively Coupled Plasma. Multiresidue analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método Quechers: a) extrações com sais b) separação de gordura.....	34
Figura 2 – GC-Q-MS modelo DSQ II.....	35
Figura 3 – Forno de micro-ondas Milestore START D: a) visão frontal b) visão interna indicando o posicionamento dos tubos de digestão.....	36
Figura 4 – ICP-OES Série iCAP 6000.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada de Coco 45
(NTEPIC)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de validação do método multirresíduo por CG-MS.....	35
Tabela 2 – Condições do Método de análise por ICP-OES.....	37
Tabela 3 – Validação do método multirresíduo por GC-MS.....	40
Tabela 4 – Resultado das amostras (A1, A2, A3, A4 e A5) analisadas por CG-MS.....	43
Tabela 5 – Resultado das amostras (C1, C2, C3, C4 e C5) analisadas por CG-MS.....	47
Tabela 6 – Parâmetros analíticos (ICP-OES).....	49
Tabela 7 – Concentração dos metais analisados por ICP-OES em amostras de água de coco (A1, A2, A3, A4 e A5).....	50
Tabela 8 – Resultados analíticos das amostras e limites de referência.....	51
Tabela 9 – Concentração dos metais analisados por ICP-OES em amostras de coco ralado (C1, C2, C3, C4 e C5).....	52
Tabela 10 – Conformidade das concentrações de metais com os limites regulatórios em amostras de coco ralado.....	53
Tabela 11 – Parâmetros da estimativa de Risco (QR) determinado para amostras de água de coco industrializada.....	55
Tabela 12 – Parâmetros da estimativa de Risco (QR) determinado para amostras de coco ralado industrializado.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 Cultura do coco	17
3.1.1 Água de coco	18
3.1.2 Coco ralado	19
3.2 Agrotóxicos: legislação atual	20
3.2.1 Ingrediente ativos	21
3.2.2 Pesticidas/agrotóxicos em produtos industrializados do coco	23
3.3 Metais pesados	26
3.3.1 Íons metálicos em produtos industrializados do coco	27
3.4 Métodos de análises de contaminantes em derivados do coco	28
3.4.1 Análises cromatográficas	28
3.4.2 Análises espectrométricas	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 Abordagem da pesquisa.....	31
4.2 Amostragem e período	31
4.3 Reagentes e soluções	32
4.4 Método QuEChERS	32
4.5 Análise por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (GC-MS).....	34
4.6 Análise por Espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES).....	36
4.7 Validação de métodos.....	38
4.8 Estimativa de risco.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 Análise de agrotóxicos por CG-MS.....	40
5.1.1 Validação do método.....	40
5.1.2 Água de coco	43
5.1.3 Coco ralado	47
5.2 Determinação de teores de íons metálicos em produtos do coco por ICP-OES ..	49
5.2.1 Validação do método multirresíduo.....	49
5.2.2 Água de coco	50

5.2.3 Coco ralado	52
5.2.4 Estimativa de Risco.....	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
7. REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

O coqueiro, uma palmeira perene de nome científico *Cocos nucifera L.* e pertencente à família Palmae, é facilmente reconhecido pelo seu tronco liso, que pode atingir até 30 metros de altura, com diâmetro que varia de 30 a 50 cm, e uma copa densa de folhas. Além disso, é uma planta que precisa de grandes quantidades de água para crescer e se desenvolver adequadamente. Seus frutos, de formato oval, têm entre 15 e 20 cm de diâmetro e são produzidos de forma contínua ao longo do tempo. A variedade de produtos que podem ser extraídos do coqueiro lhe confere um alto valor em todo o mundo, sendo considerado um recurso indispensável para a humanidade. Além de seus frutos, que podem ser consumidos frescos ou utilizados na fabricação de diversos produtos e subprodutos, outras partes da planta, como raiz, tronco, inflorescências, folhas e casca, também têm grande valor econômico (Debmandal; Mandal, 2011).

O fruto da espécie é chamado de coco, ou coco-da-baía, e é amplamente reconhecida globalmente como uma oleaginosa. Ele é processado na fase final de sua maturação para a extração de óleo e outros derivados. Além disso, o coco pode ser colhido ainda verde, com o intuito de obter sua água. Cada parte do fruto, desde a casca até a polpa, possui valor econômico, sendo que é na polpa que se encontram os nutrientes (Rocha; Ferreira; Garcia, 2022). A região Nordeste é a maior produtora de coco do país, com cerca de 80% da produção nacional, e o Brasil é considerado o 5º maior produtor de coco no mundo, com destaque para a produção de água de coco e coco ralado (ETENE, 2021).

A água de coco tem se mostrado uma bebida de tendência mundial devido à busca por um estilo de vida mais saudável, às características próprias e aos seus benefícios ofertados à saúde, dentre eles: hidratação, apoio ao sistema cardiovascular, auxílio na digestão, propriedades antioxidantes, suporte ao sistema imunológico, auxílio no controle de peso, melhora da função renal e equilíbrio do pH (Lima; Silva, 2019; Cleveland Clinic, 2021; Fonseca *et al*, 2009). Já o oôco ralado, rico em gorduras saturadas saudáveis, fibras, vitaminas e minerais, é fonte de proteínas, além de também proporcionar apoio ao sistema imunológico e auxílio no controle de peso (Santana; Silva; Mulder, 2020).

A crescente busca por uma vida mais saudável tem incentivado os consumidores a optar por alimentos frescos, priorizando produtos vegetais e com alto valor nutricional, como os derivados do coco. Além das opções tradicionais, como coco ralado, água de coco e óleo, a indústria tem ampliado a oferta de produtos a partir desse fruto. Paralelamente, observa-se uma maior conscientização sobre os perigos associados a contaminantes químicos, e como

estes podem prejudicar a saúde. Isso ocorre devido à dificuldade dos consumidores em identificar quais alimentos realmente estão livres desses riscos (ANVISA, 2006).

Contaminantes químicos, como agrotóxicos e metais pesados, são extremamente prejudiciais à saúde humana, podendo estar presentes nos produtos alimentícios derivados do coco, o que tem gerado grande preocupação dos consumidores (Zhang *et al.*, 2023). Agrotóxicos são utilizados para o cultivo e desenvolvimento do fruto, a fim de evitar maiores perdas na produção. Os resíduos desses pesticidas podem permanecer no alimento mesmo após o seu processamento (Pszczolinska; Shakeel; Barchanska, 2022). Os metais podem estar presentes no solo e/ou na água devido à contaminação ambiental ou práticas inadequadas e em alguns fertilizantes e pesticidas de baixa qualidade, sendo bioacumulativos no organismo (Milhome; Sousa; Lima; Nascimento, 2009; Kapepa, 2020).

O coqueiro, assim como outras culturas, é frequentemente tratado com agrotóxicos, o que pode resultar na presença desses compostos em níveis que ultrapassam os limites legais estabelecidos (Prado de Oliveira *et al.*, 2023). Além disso, pode sofrer contaminação por metais pesados de diferentes formas, principalmente por meio do solo, da água de irrigação, do ar e de outras fontes antropogênicas. Metais como Pb, Cd e As, entre outros, podem ser absorvidos pelas raízes da planta e transportados para as folhas e frutos (Cunha Filho, 2014). Assim, é essencial o monitoramento desses contaminantes no fruto e em seus derivados.

A Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) é uma técnica poderosa utilizada para analisar agrotóxicos em amostras. Ela combina a separação de compostos, realizada pela cromatografia gasosa (GC), com a identificação e quantificação desses compostos por espectrometria de massas (MS). Essa associação permite uma análise extremamente detalhada e precisa de misturas complexas de substâncias. Já a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) é uma técnica analítica empregada na determinação de concentrações de metais em amostras, combinando a excitação atômica gerada em plasma induzido por campo magnético com a análise espectrométrica, o que possibilita a identificação e quantificação dos elementos presentes.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo o monitoramento de contaminantes químicos em derivados do coco, com a detecção de agrotóxicos e metais pesados por meio das técnicas de GC-MS e ICP-OES, respectivamente. A elevada sensibilidade dessas metodologias permite a detecção de elementos mesmo em baixas concentrações, sendo que valores acima dos limites estabelecidos pela legislação podem representar risco à saúde do consumidor, visto que contaminantes podem permanecer no produto mesmo após o processamento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar traços de agrotóxicos por meio da Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS) e metais tóxicos através da Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), em produtos derivados de *Cocos nucifera L.*, industrializados e comercializados no Estado do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar amostras de marcas distintas de águas de coco e cocos ralados industrializados e comercializados no Ceará;
- Identificar e quantificar agrotóxicos nas amostras por Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS);
- Identificar e quantificar metais tóxicos nas amostras por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES);
- Analisar os níveis de contaminantes químicos e comparar com a literatura e legislação vigente;
- Avaliar o risco de consumo associado a presença de contaminantes em produtos do coco.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultura do coco

O Brasil é um importante produtor de coco, especialmente em regiões costeiras com condições climáticas favoráveis, sendo reconhecido tanto pelas práticas tradicionais quanto pelas modernas técnicas de cultivo do fruto (EMBRAPA, 2021). Os principais estados produtores de coco-da-baía no país são Ceará, Pará, Bahia, Pernambuco e Espírito Santo. Em 2023, o Ceará destacou-se como o maior produtor nacional, com uma área plantada de 42,7 mil hectares e uma produção de 520 mil frutos. O município de Paraipaba, localizado no litoral oeste do estado, foi o maior produtor do Brasil, com mais de 171 mil frutos (IBGE, 2023). Atualmente, a região Nordeste lidera a produção de coco e de água de coco, com expressiva atuação da agroindústria, responsável pela extração da água, produção de polpa e derivados — como coco ralado, óleo e leite de coco —, além da transformação de subprodutos, como a casca, em mantas de fibra (Almeida *et al.*, 2023).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o Brasil produziu mais de 1 milhão de frutos de coco-da-baía em 2023, com valor de produção superior a R\$ 1,6 milhão. No primeiro semestre desse ano, as exportações brasileiras de coco ultrapassaram US\$ 672 mil, totalizando cerca de 675 toneladas. Esse desempenho representou um crescimento expressivo de mais de 95%, tanto em valor quanto em volume, em comparação ao mesmo período de 2022, conforme dados da Secretaria de Comércio e Relações Internacionais do MAPA (SCRI). Ao longo de 2023, o Brasil exportou aproximadamente US\$ 831 mil e 876 toneladas de coco para mais de 60 países. Os principais destinos foram os Estados Unidos (US\$ 140 mil), a Espanha (US\$ 119 mil) e a Argentina (US\$ 69 mil) (Brasil, 2024c).

A busca pela consolidação do país como líder global na produção de coco foi um dos fatores determinantes para a criação da Lei nº 14.975, sancionada em 18 de setembro de 2024, que institui a Política Nacional de Incentivo à Cocoicultura de Qualidade. Essa política tem como objetivos fortalecer a produção e o processamento do coco no Brasil, promover práticas sustentáveis e ampliar a competitividade do setor (Brasil, 2024b).

Tal medida reflete não apenas o reconhecimento do valor econômico do coco, mas também seu potencial em termos de saúde e bem-estar. Com a crescente demanda global por seus benefícios nutricionais, o fruto se destaca como um alimento saudável, associado a diversas vantagens para a saúde (Catalán, 2024).

Os benefícios do coco, amplamente consumido em todo o mundo, são variados. Ele apresenta baixo índice glicêmico e constitui uma excelente fonte de fibras, que auxiliam no controle da fome e favorecem a saúde intestinal. Além disso, o consumo de coco pode contribuir para a perda de peso, o controle do diabetes, a regulação da pressão arterial, o fortalecimento do sistema imunológico e o combate à prisão de ventre (Brasil, 2023b).

3.1.1 Água de coco

A água de coco tem se destacado tanto no mercado interno quanto no externo devido às suas qualidades nutricionais. Refrescante, saborosa e levemente adocicada, é uma bebida de baixo teor de gorduras e carboidratos, sendo pouco calórica. Composta por 95,5% de água, é rica em minerais essenciais, como potássio, cálcio e magnésio, o que a torna ideal para a reposição de eletrólitos. Além disso, contém pequenas quantidades de proteína (0,1%) e carboidratos (4%), bem como algumas vitaminas do complexo B e vitamina C, cuja concentração diminui à medida que o coco amadurece. Uma unidade média de coco verde fornece cerca de 300 mL de água, com aproximadamente 54 calorias (Froehlich, 2015).

A produção de água de coco inicia-se, em geral, no segundo mês após a abertura natural da inflorescência, atingindo o pico entre o quinto e o sétimo mês, período considerado ideal para a colheita, quando o líquido apresenta maior teor de açúcares e melhor sabor. Embora naturalmente estéril dentro do fruto, a abertura do coco pode introduzir microrganismos que comprometem sua qualidade. Por esse motivo, para assegurar a segurança e a durabilidade do produto final, a água de coco passa por processos de conservação, incluindo o uso de conservantes, a fim de preservar suas propriedades (EMBRAPA, 2023).

O Brasil é um dos principais produtores da versão envasada do produto. Em 2021, produziu 157,821 mil litros e registrou um consumo per capita de 0,74 litros/habitante/ano (ABIR, 2021). De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas (ABIR), em 2023 foram registrados 797 produtos de água de coco no país. Nesse mesmo ano, verificou-se um aumento de 3,8% no número de agroindústrias voltadas à produção de água de coco, totalizando 251 estabelecimentos, seis a mais em relação ao período anterior (Brasil, 2023b).

Conforme a Instrução Normativa (IN) nº 9, de 30 de janeiro de 2020, a água de coco é classificada em diferentes tipos: integral (com concentração natural, sem adição de água ou açúcares), padronizada (quando a água de coco integral recebe adição de água de coco

concentrada, desidratada ou açúcares em níveis especificados), concentrada (quando a água de coco integral é concentrada até alcançar 30% de sólidos solúveis), desidratada (quando a água de coco integral é desidratada até atingir no máximo 5% de umidade) e reconstituída (quando a água de coco concentrada ou desidratada recebe adição de água potável ou água de coco integral) (Brasil, 2020a).

A IN nº 9/2020 também estabelece critérios de identidade e qualidade para a água de coco, incluindo parâmetros analíticos obrigatórios. O objetivo da normativa é garantir maior transparência ao consumidor de água de coco processada, assegurando informações claras sobre a composição e os ingredientes do produto, tanto na rotulagem principal quanto na lista de ingredientes. Além disso, a norma define novas exigências para a importação de água de coco concentrada, como inspeções técnicas e auditorias em instalações estrangeiras, a fim de avaliar os procedimentos e controles de produtores e exportadores (Brasil, 2020a).

Ainda de acordo com a IN nº 9/2020, é vedada a presença de contaminantes na água de coco, entre eles: níveis de contaminantes microbiológicos que excedam os limites definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), resíduos de agrotóxicos não permitidos ou em concentrações superiores às autorizadas para a matéria-prima utilizada, contaminantes orgânicos ou inorgânicos em níveis acima dos limites estabelecidos pela ANVISA, substâncias em quantidades prejudiciais à saúde humana conforme a legislação vigente, bem como aditivos edulcorantes (Brasil, 2020a).

3.1.2 Coco ralado

O coco ralado é um ingrediente versátil e nutritivo, amplamente utilizado em diversas receitas, desde bolos e doces até pratos salgados. Rico em fibras, contribui para o bom funcionamento do sistema digestivo e ajuda a controlar o colesterol. Além disso, o coco contém ácidos graxos saudáveis, como o ácido láurico, que pode fortalecer o sistema imunológico e apresentar efeitos antivirais e antibacterianos. Sua riqueza em minerais, como potássio, magnésio e ferro, também auxilia na saúde cardiovascular e na manutenção da função muscular. Consumido com moderação, o coco ralado pode ser um excelente complemento para uma alimentação equilibrada, proporcionando sabor e benefícios à saúde (Zevo; Machalela; Nanelo, 2023).

A versão industrializada é obtida a partir do coco fresco, que passa por processos de secagem e, muitas vezes, pela adição de conservantes para garantir maior durabilidade e praticidade de uso. O processo de produção do coco ralado envolve a remoção da casca

externa e da película marrom que recobre a polpa. Após essa etapa, a polpa é submetida a um ralador contínuo, resultando em pedaços de diferentes tamanhos. Em seguida, o material passa por uma prensagem para extração do leite de coco. Após a prensagem, o resíduo restante, conhecido como torta, corresponde a aproximadamente 80% do peso inicial da polpa fresca e é parcialmente desengordurado. A polpa fresca do coco maduro pode ser ralada em diferentes formatos (fino, médio, grosso/flocos ou chips/lâminas) e utilizada dessa forma, ou preservada por congelamento (Santana; Silva; Mulder, 2020).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 84, de 15 de setembro de 2000, estabelece o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Coco Ralado. Essa normativa define os padrões que o produto deve atender para garantir sua qualidade e segurança alimentar (ANVISA, 2000).

De acordo com a RDC nº 84/2000, o coco ralado deve apresentar características específicas, como coloração branca, sabor e aroma próprios, sem sinais de ranço. Além disso, é necessário que os fragmentos sejam uniformes e que não haja a presença de defeitos que comprometam sua aparência ou uso, como partículas escuras, fragmentos de casca, matérias vegetais estranhas ou impurezas minerais. Para assegurar a qualidade, o produto deve apresentar umidade máxima inferior a 4%, acidez titulável máxima de 4,5% e teor de lipídios entre 40% e 60% (ANVISA, 2000).

3.2 Agrotóxicos: legislação atual

O Brasil é reconhecido como um dos principais utilizadores globais de pesticidas (Lopes; Albuquerque, 2018). Esses químicos são utilizados na agricultura para proteger as plantações contra pragas, mas é fundamental garantir que os níveis de resíduos em alimentos estejam dentro de limites seguros para a saúde humana (Brasil, 2020b).

A Lei Federal nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023, que regula o uso de agrotóxicos no Brasil, define essas substâncias como produtos voltados para as atividades de produção, armazenamento e processamento de produtos agrícolas. Esses produtos, conhecidos como defensivos agrícolas ou agroquímicos, podem ser utilizados em diversas áreas, como pastagens, no armazenamento de produtos agrícolas e até em ambientes urbanos e industriais. A utilização de agrotóxicos é permitida apenas para aqueles que são registrados em órgão federal competente, seguindo as normas e exigências dos órgãos responsáveis pelas áreas de saúde, agricultura e meio ambiente (Gedanken, 2024).

A nova lei estabelece normas sobre diversos aspectos relacionados aos agrotóxicos,

incluindo pesquisa, experimentação, produção, embalagem, rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, importação, exportação, destinação final de resíduos e embalagens, além de definir os processos de registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização desses produtos e suas substâncias relacionadas. Essa lei revoga as Leis nº 7.802, de 11 de julho de 1989, e nº 9.974, de 6 de junho de 2000 (Brasil, 2023d).

Entre as agências reguladoras brasileiras envolvidas na sua fiscalização, estão: a ANVISA, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A Anvisa é responsável pela avaliação toxicológica dos agrotóxicos, o Mapa pelo registro e fiscalização, e o Ibama pela avaliação ambiental (Friedrich *et al.*, 2021).

Os agrotóxicos devem passar por um rigoroso processo de registro antes de serem aprovados para uso no Brasil. A definição de critérios para registro, controle e uso desses produtos, visa à proteção da saúde humana, animal e do meio ambiente. O processo de registro envolve avaliações de segurança, eficácia e impacto ambiental do produto. Os órgãos responsáveis pelos mecanismos de monitoramento e fiscalização realizam inspeções para verificar se os agricultores e empresas aderem às diretrizes aprovadas de uso de agrotóxicos, a fim de garantir o cumprimento dos regulamentos. A quantidade e os tipos de agrotóxicos permitidos podem variar de acordo com a região, práticas agrícolas específicas e condições locais (Brasil, 2023c).

Contudo, a legislação brasileira que regulamenta o uso de agrotóxicos nas lavouras não prevê a revisão periódica do registro desses produtos, o que leva à utilização de substâncias que já foram proibidas em outros países (Friedrich *et al.*, 2021). A falta de uma regulação mais rígida resultou em impactos ambientais e à saúde humana, cujos efeitos ainda estão sendo descobertos (Moraes, 2019). Esse cenário evidencia a necessidade urgente de implementar programas e políticas de controle mais eficazes, que permitam identificar e monitorar resíduos de agrotóxicos nos alimentos (Ballesti; Mantelli, 2020).

3.2.1 Ingrediente ativos

O uso indiscriminado de agrotóxicos nas lavouras tem aumentado significativamente, a fim de melhorar ou evitar grandes perdas na área do agronegócio. No momento, existem 497 ingredientes ativos registrados para um total de 153 tipos de cultivos, dos quais 445 são autorizados para uso e 52 são utilizados na agricultura sem a devida autorização da ANVISA. Os herbicidas representam 45% do total de agrotóxicos comercializados no país, seguidos

pelos fungicidas (14%), inseticidas (12%) e outras categorias (29%) (Friedrich *et al.*, 2021).

De acordo com Fernandes (2018), os agrotóxicos podem ser classificados de diversas maneiras, como pela sua finalidade de uso (como acaricidas, fungicidas, herbicidas, inseticidas, nematicidas, entre outros), pelo modo de ação (que pode ser por ingestão, contato, fumos ou ação microbiana), pela sua origem (se orgânicos ou inorgânicos, provenientes de bactérias, fungos ou plantas) e pelo grupo químico (como organofosforados, organoclorados), além do seu nível de toxicidade.

A ANVISA (2019) adota o modelo de classificação toxicológica, conforme os critérios do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos - GHS. A classificação da toxicidade aguda é atualmente categorizada da seguinte forma: Classe 1 - Produto Extremamente Tóxico (faixa vermelha); Classe 2 - Produto Altamente Tóxico (faixa vermelha); Classe 3 - Produto Moderadamente Tóxico (faixa amarela); Classe 4 - Produto de baixa toxicidade (faixa azul); Classe 5 - Produto Improvável de Causar Danos Agudos (faixa azul); Classe 6 - Não classificado - Produto não classificado (faixa verde).

Segundo Gomes *et al.* (2020), os agrotóxicos podem causar uma série de problemas de saúde, que vão desde intoxicações agudas, como fraqueza, vômitos e convulsões, até efeitos crônicos, como danos neurológicos a longo prazo, lesões no fígado e alterações cromossômicas em seres humanos. Além disso, seu uso excessivo contribui para a contaminação ambiental. A manifestação desses efeitos tóxicos depende da quantidade de resíduos presentes nos alimentos e, portanto, da quantidade consumida pelas pessoas (Cámara *et al.*, 2020).

O consumo seguro de agrotóxicos através dos alimentos é medido pelo índice da Ingestão Diária Aceitável (IDA), uma quantidade julgada de resíduo que pode ser ingerida diariamente e durante a vida do indivíduo, sem que isso cause riscos à sua saúde. Efeitos teratogênicos, carcinogênicos e/ou mutagênicos, são algumas das consequências da ingestão dessas substâncias (Fiocruz, 2022). Existem, porém, alguns tipos que, mesmo em quantidades mínimas, são extremamente tóxicos aos seres humanos, podendo levar à morte se ingeridos ou em contato com a pele e os olhos, como os de faixa vermelha (ANVISA, 2019).

Autoridades de saúde e segurança alimentar, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), regulamentadas pela ANVISA, estabeleceram o limite máximo de resíduo (LMR), definido como a quantidade máxima de resíduos de pesticidas ou outras substâncias químicas permitidas em alimentos, para garantir que os produtos sejam seguros para consumo humano (Brasil, 2024a).

Os LMRs são definidos com base em estudos científicos que avaliam os riscos potenciais à saúde humana, considerando a quantidade de resíduo presente nos alimentos após o uso de agrotóxicos ou outras substâncias durante a produção agrícola. O objetivo é garantir que o consumo desses alimentos não represente risco à saúde, mesmo quando ingeridos ao longo de toda a vida. Caso um alimento exceda os limites permitidos de resíduo, ele pode ser retirado do mercado, e o produtor ou distribuidor pode ser penalizado (Brasil, 2024a). Portanto, os LMRs desempenham papel fundamental na proteção da saúde pública e no controle da qualidade dos alimentos (Medeiros; Acayaba; Montagner, 2021).

Para avaliar a concentração de resíduos de agrotóxicos nos produtos agrícolas foi criado o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos - PARA, uma ação do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS, coordenado pela ANVISA, em colaboração com órgãos estaduais e municipais de vigilância sanitária e laboratórios de saúde pública. Os relatórios gerados pelo PARA são essenciais para indicar a qualidade dos alimentos comercializados e consumidos pela população (Brasil, 2020b).

O PARA seleciona alimentos com base no consumo nacional e no potencial de exposição a agrotóxicos. Frutas como coco, por terem ampla utilização (água, polpa, óleo), algumas vezes entram na lista de amostras, especialmente se há suspeitas de uso indevido de agrotóxicos ou se são muito consumidas (Brasil, 2020b).

3.2.2 Pesticidas/agrotóxicos em produtos industrializados do coco

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) define como alimentos processados aqueles preparados com a adição de sal, óleo, açúcar ou outras substâncias a alimentos in natura ou minimamente processados. O processo de transformação visa aumentar a durabilidade dos alimentos, modificando ou aprimorando suas características sensoriais. A maioria dos alimentos processados é composta por dois ou três ingredientes e é facilmente identificável como variações modificadas de alimentos in natura ou minimamente processados. Geralmente, destinam-se ao consumo como parte de refeições ou pratos, podendo também ser apreciados isoladamente como lanches. Esses alimentos costumam apresentar sabor bastante agradável (Monteiro *et al.*, 2019).

Os alimentos ultraprocessados consistem em composições de ingredientes desenvolvidos principalmente para uso exclusivo na indústria, geralmente obtidos por meio de uma variedade de técnicas e processos industriais. A fabricação desses produtos envolve múltiplas etapas e é conduzida por diferentes setores industriais (Louzada *et al.*, 2015).

Consequentemente, cresce a preocupação da indústria alimentícia em relação à qualidade desses produtos e à implementação de meios para controlar possíveis ataques de patógenos que poderiam ocasionar perdas na produção (Brasil, 2020a).

Segundo o MAPA (2019), 28 ingredientes ativos são autorizados para a cultura do coco: abamectina, azadiractina, bifentrina, difenoconazol, espirodiclofeno, espiromesifeno, etofenproxi, fenpiroximato, fluxapiroxade, glifosato, glifosato sal de dimetilamina, glifosato-sal de amônio, glifosato-sal de isopropilamina, glifosato-sal de potássio, glufosinato-sal de amônio, hexitiazoxi, imidacloprido, indaziflam, indoxacarbe, lufenurom, metomil, metsulfurom-metílico, novalurom, óleo vegetal, piraclostrobina, piridabem, rincoforol e tiabendazol.

Os agrotóxicos mais utilizados no cultivo do coco são classificados em quatro grupos principais: organofosforados, carbamatos, organoclorados e piretroides. Os primeiros atuam como inibidores da acetilcolinesterase, sendo que, nos carbamatos, a ação é reversível, enquanto nos organofosforados, é irreversível. Já os piretroides apresentam baixa toxicidade para mamíferos, enquanto os organoclorados, como o DDT e o endossulfam, apresentam alta toxicidade e foram proibidos como agroquímicos devido aos riscos associados (Lima Júnior; Souza, 2015).

Princípios ativos como organofosforados e carbamatos interferem no sistema nervoso central ao bloquear a acetilcolinesterase, afetando as sinapses e gerando sintomas em seres humanos, como lacrimejamento, salivação, tremores, distúrbios cardiorrespiratórios e problemas neurológicos, incluindo depressão. Além disso, o uso de agrotóxicos representa riscos ambientais significativos, podendo afetar ecossistemas e organismos não alvo (Cavaliere *et al.*, 1996; Pezzini *et al.*, 2023).

A crescente utilização de agrotóxicos por diferentes métodos, como a injeção no caule e a absorção pelas raízes do coqueiro, tem intensificado a preocupação com a contaminação química. Essa prática tornou-se comum em muitas regiões costeiras devido aos frequentes ataques de diversas pragas (Talari *et al.*, 2021). Considerando que a utilização de agrotóxicos é indispensável para prevenir a perda de produção e produtividade, torna-se crucial avaliar as concentrações desses resíduos no coco e em seus derivados.

Em um estudo realizado com amostras de água de coco, foram identificados resíduos dos agrotóxicos sulfotep, demeton-O, dimethoate, disulfoton, fenitrothion e malathion, em concentrações variando de valores abaixo do limite de detecção (LD) até 12,1 $\mu\text{g L}^{-1}$, sendo o dimethoate o composto com maior concentração. Destaca-se que, entre os agrotóxicos detectados, o dimethoate e o malathion são frequentemente empregados no controle de pragas

nas plantações de coqueiros, conforme relatado pela Embrapa (2002). Esses dois pesticidas foram os que apresentaram os maiores níveis nas amostras de água de coco, especialmente nas industrializadas (Anjos, 2014).

No estudo de Ferreira *et al.* (2016), realizado com 18 amostras de água de coco provenientes de diferentes regiões do Brasil, foram identificados 10 ingredientes ativos, entre os quais se destacam carbendazim, tiametoxam, tiabendazol, imidacloprido, 3-OH-carbofurano, tiofanato-metílico, carbofurano, ciproconazol, difenoconazol e espirodiclofeno. A análise revelou contaminação por carbofurano em todas as amostras. Contudo, é relevante salientar que os níveis detectados estavam abaixo do limite de quantificação ($10 \mu\text{g kg}^{-1}$) e também abaixo dos limites máximos de resíduos estabelecidos pela regulamentação da União Europeia (Comissão Europeia, 2015), o que garante conformidade com os padrões de qualidade exigidos.

Outro estudo conduzido por Talari *et al.* (2021) identificou resíduos dos agrotóxicos quinalphos, malationa e metiocarbe em amostras de leite de coco, nas concentrações de 4,55 ng/g, 5,54 ng/g e 206,99 ng/g, respectivamente. Apesar da detecção, os níveis encontrados estavam abaixo do limite quantificável, indicando concentrações muito reduzidas, mas ainda passíveis de monitoramento para avaliação da exposição cumulativa e dos possíveis riscos à saúde.

Jonnalagadda *et al.* (2022) examinaram 126 amostras de água de coco industrializada, coletadas em três estados da região sul da Índia, com o objetivo de investigar a presença de resíduos de pesticidas. Os resultados revelaram a ocorrência dos pesticidas monocrotofos e malationa em cinco amostras, com concentrações variando entre $0,90 \mu\text{g L}^{-1}$ e $1,56 \mu\text{g L}^{-1}$. Embora a detecção tenha ocorrido em um número reduzido de amostras, a presença desses compostos evidencia a possibilidade de contaminação química em produtos amplamente consumidos. Ressalta-se que, até o momento, não existem limites regulamentares específicos definidos por autoridades indianas para resíduos de pesticidas em água de coco.

Já no estudo realizado por Famurewa *et al.* (2023), foram detectados 19 resíduos de agrotóxicos em amostras de diferentes óleos de coco, com concentrações variando entre 0,03 e 7,10 $\mu\text{g/kg}$ de óleo. Destaca-se que os níveis encontrados estavam significativamente abaixo dos limites máximos de resíduos (LMRs) estabelecidos por órgãos reguladores internacionais, como a FAO/OMS, a União Europeia e a China, cujos valores de referência variam de 0,05 a 1,0 mg/kg. Esses resultados indicam baixa contaminação nos produtos analisados, ainda que a presença de resíduos justifique a continuidade do monitoramento.

O coco (*Cocos nucifera*) tem sido contemplado nos relatórios do PARA, coordenado

pela ANVISA, entretanto, sua inclusão não ocorre de forma sistemática em todas as edições do programa. Embora não tenha sido analisado nas amostras do PARA em 2023, o coco foi alvo de fiscalização específica pela ANVISA.

A ausência de análises sistemáticas do coco e, ao mesmo tempo, a confirmação de contaminações em seus derivados evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo e rigoroso dos resíduos de agrotóxicos presentes tanto no fruto in natura quanto em seus produtos processados. Essa medida é essencial para garantir a segurança alimentar da população e assegurar que os alimentos comercializados estejam em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação sanitária.

3.3 Metais pesados

Os metais pesados são elementos químicos de alta densidade que, quando presentes em concentrações elevadas, podem ser tóxicos ao organismo humano. Embora alguns deles, como o manganês, sejam essenciais em pequenas quantidades, a maioria representa sérios riscos à saúde quando ingeridos por meio dos alimentos. A contaminação pode ocorrer por diversos fatores, como poluição do solo, da água e do ar, além do uso inadequado de agrotóxicos, fertilizantes, embalagens metálicas e utensílios contaminados (Sousa *et al.*, 2021).

Entre os principais metais pesados encontrados em alimentos estão o arsênio, o cádmio, o chumbo, o estanho, o cromo, o manganês e o níquel. O arsênio, presente principalmente em arroz e frutos do mar, está relacionado a câncer e doenças cardiovasculares. O cádmio, comum em vegetais e frutos do mar, pode provocar danos aos rins e aos ossos. Já o chumbo, encontrado na água e em utensílios inadequados, afeta especialmente o sistema nervoso, sendo altamente perigoso para crianças. O estanho, muitas vezes proveniente de alimentos enlatados, pode causar náuseas, vômitos e diarreia. O cromo, dependendo de sua forma química, pode ser tanto essencial quanto tóxico, sendo o cromo VI potencialmente carcinogênico (Rocha *et al.*, 2023).

O manganês, necessário para o funcionamento do organismo em pequenas quantidades, torna-se prejudicial em excesso, podendo causar distúrbios neurológicos. O níquel, encontrado em alimentos como chocolate, cereais e oleaginosas, pode provocar reações alérgicas e problemas gastrointestinais, além de suspeitas de carcinogenicidade. A exposição contínua a esses metais pode gerar efeitos acumulativos no corpo humano, sendo fundamental o controle rigoroso da qualidade dos alimentos e o monitoramento constante da

contaminação ambiental para garantir a segurança alimentar e a saúde pública (Queiroz *et al.*, 2021; Gonzalez, 2016).

3.3.1 Íons metálicos em produtos industrializados do coco

No estudo de Paixão *et al.* (2019) foram analisadas amostras de água de coco e leite de coco com o objetivo de quantificar os teores de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) por meio da técnica de espectrometria de absorção atômica. Os resultados obtidos indicaram que os níveis desses metais pesados em todas as amostras analisadas ultrapassaram os limites máximos permitidos estabelecidos pela ANVISA, levantando preocupações quanto à segurança do consumo desses produtos.

Jonnalagadda *et al.* (2022) avaliaram 126 amostras de água de coco industrializada provenientes de três estados localizados na região sul da Índia, com o objetivo de identificar a presença de resíduos de metais pesados. Os resultados revelaram a presença de metais como cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e estanho (Sn) em diferentes tipos de amostras coletadas. Além disso, vestígios de cobalto (Co), Cd, Cr e Pb também foram encontrados em algumas unidades analisadas. Em uma das amostras, detectou-se a presença de arsênio (As), enquanto o mercúrio (Hg) não foi identificado em nenhuma delas. De forma geral, todas as amostras apresentaram algum nível de contaminação por metais pesados. Destaca-se que, até o momento, a *Food Safety and Standards Authority of India* (FSSAI) ainda não estabeleceu limites regulatórios específicos para a concentração desses contaminantes em água de coco industrializada.

Já no estudo de Famurewa *et al.* (2023), evidenciou-se a presença de metais pesados tóxicos tanto em óleos de coco obtidos por métodos naturais quanto em uma amostra refinada importada para a Nigéria. A relevância dessa análise está diretamente relacionada à crescente valorização do óleo de coco como alternativa alimentar considerada benéfica, impulsionada pelo aumento da conscientização da população em relação à saúde e nutrição. Embora os níveis detectados desses metais estejam bem abaixo dos limites estabelecidos por agências reguladoras nacionais e internacionais (FAO/OMS, UE e China), recomenda-se cautela no consumo. A ingestão moderada é essencial para reduzir possíveis efeitos adversos decorrentes da bioacumulação de elementos tóxicos no organismo.

A pesquisa de Stoner, Godebo e Taylor (2025) investigou, de maneira detalhada, a ocorrência de elementos potencialmente tóxicos em diferentes tipos de bebidas amplamente comercializadas nos Estados Unidos. Um dos achados mais significativos foi a detecção da

maior concentração de níquel (Ni) em uma amostra de água de coco, atingindo 637 µg/kg. As variações nos teores de metais entre as bebidas analisadas parecem estar associadas à natureza dos ingredientes utilizados, à origem geográfica das matérias-primas e às técnicas empregadas no processamento. Os dados obtidos indicam que, mesmo quando consumidas dentro dos limites considerados seguros, essas bebidas podem ainda representar um risco potencial à saúde em virtude da presença disseminada de elementos tóxicos.

Diversos estudos têm investigado a contaminação química em produtos derivados do coco, como o coco ralado industrializado. Sousa *et al.* (2007) analisaram o uso da casca de coco verde tratada para a adsorção de metais pesados de efluentes aquosos. Os resultados revelaram uma elevada eficiência na remoção de íons metálicos, como Pb, Cu, Cd, Ni e Zn, com eficiências superiores a 90% na maioria dos casos. Chaves *et al.* (2017) investigaram a biossorção do pó da casca de coco verde para remoção de íons de chumbo (Pb) e demonstraram uma eficiência superior a 97% na remoção deste metal. Além disso, Souza e Casartelli (2008), no 48º Congresso Brasileiro de Química, avaliaram a eficácia da fibra de coco verde na remoção de cádmio (Cd) em águas contaminadas, alcançando até 60% de remoção do metal a concentrações de 5,0 mg/L.

Embora os estudos mencionados se concentrem no uso da casca de coco verde para adsorver metais tóxicos de efluentes industriais, suas conclusões fornecem informações importantes sobre os riscos de contaminação química no coco ralado industrializado. Esses resultados destacam a necessidade de um monitoramento rigoroso da qualidade química do produto, a fim de assegurar sua segurança para o consumo.

3.4 Métodos de análises de contaminantes em derivados do coco

3.4.1 Análises cromatográficas

A Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) é uma técnica analítica reconhecida por sua elevada sensibilidade, eficiência e seletividade, sendo especialmente eficaz na detecção de contaminantes emergentes, mesmo em concentrações muito baixas. Por sua capacidade de analisar compostos voláteis e semi-voláteis, é amplamente empregada na caracterização de misturas orgânicas complexas, bem como na identificação de resíduos de pesticidas em alimentos e bebidas, fornecendo dados relevantes para o controle de qualidade e segurança alimentar (Bustillos, 2020).

Em sistemas de GC-MS, as amostras, após serem vaporizadas, entram na fonte de

ionização do espectrômetro, onde são submetidas ao bombardeamento por elétrons de alta energia. Esse processo resulta na formação de íons positivos, íons negativos e radicais livres. A separação dos íons gerados ocorre com base na razão massa/carga (m/z), permitindo a identificação precisa dos compostos presentes na amostra (Dos Santos; Pontes; De Moraes, 2016).

No estudo de Ferreira e Queiroz (2021), técnicas analíticas, como a cromatografia líquida e gasosa acopladas à espectrometria de massa, combinadas ao método QuEChERS, foram aplicadas para identificar e quantificar resíduos de dez pesticidas no endosperma do coco, parte comestível do fruto. Os métodos demonstraram elevada eficiência analítica, apresentando boa linearidade, baixos limites de quantificação, além de alta precisão e exatidão. Os pesticidas selecionados, entre eles tiametoxam, fipronil e deltametrina, são comumente utilizados no cultivo do coqueiro. Os resultados mostraram que, especialmente para o tiametoxam, os níveis detectados ultrapassaram os limites máximos de resíduos estabelecidos por normas europeias, evidenciando a possibilidade concreta de contaminação do endosperma durante o manejo agrícola. O estudo destaca a necessidade de monitoramento contínuo e rigoroso da presença de agrotóxicos em produtos alimentícios, a fim de proteger a saúde pública.

De acordo com o estudo conduzido por Silva *et al.* (2008), foi desenvolvido e validado um método simples e eficiente de extração por dispersão em fase sólida (MSPD) para a detecção de resíduos de agrotóxicos na polpa de coco, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas com monitoramento de íons selecionados (GC/MS-SIM). O procedimento permitiu a análise de oito compostos comumente empregados na agricultura, entre eles imidacloprida, malatião e carbofurano, em amostras fortificadas em diferentes concentrações. Os limites de detecção e quantificação obtidos foram satisfatórios, variando entre 0,02 a 0,17 mg/kg e 0,15 a 0,25 mg/kg, respectivamente. Ao aplicar o método em amostras reais de polpa de coco adquiridas em mercados de Aracaju, nenhuma contaminação acima do limite de detecção foi observada. Os dados obtidos confirmam que o método é preciso, exato e seletivo, sendo adequado para análises multirresíduos e compatível com os limites estabelecidos pela legislação nacional.

3.4.2 Análises espectrométricas

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) ou *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*, é um método analítico muito

utilizado para a determinação qualitativa e quantitativa de metais e alguns não-metais em uma ampla variedade de amostras (Makonnen; Beauchemin, 2020).

A técnica de ICP-OES baseia-se na introdução da amostra, geralmente em forma líquida, em um plasma de argônio aquecido a temperaturas elevadas, que podem atingir cerca de 10.000 K. Nesse ambiente altamente energético, os átomos e íons presentes na amostra são excitados a estados eletrônicos superiores. Ao retornarem ao seu estado fundamental, esses elementos emitem radiação em comprimentos de onda específicos, característicos de cada elemento químico. Essa radiação é então separada por um espectrômetro e detectada, sendo que a intensidade da luz emitida é diretamente proporcional à concentração do elemento presente na amostra, permitindo sua quantificação precisa (Douvris *et al.*, 2023).

Os compostos inorgânicos são frequentemente analisados utilizando técnicas espectrométricas. Em 1992, foi realizada a análise dos metais Mg, K, Na e Ca em água de coco natural utilizando a espectrometria de absorção atômica com chama (F-AAS). Quatro anos depois, a espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) foi empregada para medir os níveis de Mg, K, Na, Ca, P, S, Mn, Fe, Zn, Cu, B e Al na mesma matriz. No ano 2000, a concentração de selênio foi quantificada em água de coco *in natura* e leite de coco industrializado através da espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (GF-AAS). Mais recentemente, em 2004, a espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) foi utilizada para determinar os níveis de Mg, Ca, Mn, Fe, Zn e Cu em água de coco industrializada (Rosa; Rodrigues; Ferreira, 2016).

A análise da água de coco processada (ACP) e natural (ACN), utilizando ICP-OES para a determinação dos teores de íons metálicos, indicou que, embora os intervalos de concentração dos íons metálicos nas amostras de ACP e ACN se sobreponham, as amostras de diferentes categorias apresentam diferenças estatisticamente significativas, com exceção de uma marca de água de coco industrializada e uma marca de água de coco natural. Assim, a técnica ICP-OES, aliada à análise exploratória, demonstra-se eficaz para avaliar a composição inorgânica das amostras de água de coco, sendo uma ferramenta útil em processos de controle de qualidade (Sousa *et al.*, 2006).

Uma pesquisa adicional sobre a análise de metais como Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu em água de coco brasileira, usando o ICP-OES, revelou que as principais vantagens desse método analítico são a capacidade de realizar determinações simultâneas e multielementares de forma rápida, precisa e exata (Sousa; Baccan; Cadore, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Abordagem da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa, experimental e descritiva. Trata-se de uma investigação aplicada, pois visa gerar conhecimento voltado para a solução de problemas práticos relacionados à segurança alimentar, especificamente quanto à presença de agrotóxicos e metais tóxicos em produtos derivados do coco consumidos pela população cearense.

O caráter quantitativo da pesquisa está presente na mensuração precisa dos contaminantes químicos por meio de métodos instrumentais sensíveis, enquanto o aspecto experimental decorre do preparo das amostras em laboratório, aplicação de técnicas analíticas específicas (GC-MS e ICP-OES) e controle rigoroso das condições de análise. Por sua vez, a abordagem descritiva permite caracterizar os níveis de resíduos encontrados nas amostras analisadas, fornecendo dados concretos sobre sua ocorrência e possível risco à saúde pública.

Essa tipologia de pesquisa foi escolhida por permitir a coleta de dados objetivos e comparáveis, fundamentais para avaliar a conformidade dos produtos alimentícios com a legislação vigente e contribuir para o aprimoramento das políticas de controle sanitário no país.

4.2 Amostragem e período

Amostras de água de coco industrializada, provenientes de cinco marcas distintas, foram adquiridas em estabelecimentos comerciais no Estado do Ceará, sendo avaliadas em triplicata. As amostras foram mantidas sob refrigeração até o momento da análise. Além disso, cinco amostras de coco ralado industrializado, também analisadas em triplicata, foram armazenadas em temperatura ambiente, em local seco e arejado, até a realização dos testes. Todas as amostras foram produzidas no Brasil, totalizando 10 amostras utilizadas na avaliação dos métodos analíticos.

As análises cromatográficas dos pesticidas e as análises espectrométricas dos metais foram realizadas no Laboratório de Química Instrumental (LQI), situado no Laboratório do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), localizado na cidade de Fortaleza – Ceará, no período entre janeiro e novembro de 2024.

4.3 Reagentes e soluções

Padrões cromatográficos de agrotóxicos (Sigma-Aldrich, SP, Brasil; pureza > 98%) Alacloro, Aldrin, Ametrina, Atrazina, Azoxistrombina, α -BHC (lindano), Bifentrina, Buprofenzina, β -Ciflutrina, Cipermetrina, Clordano, Clorotalonil, Clorpirifós, Crezoxim-metil, 4,4-DDD, 4,4-DDE, 4,4-DDT, Deltametrina, Dieldrin, Difenconazol, Endossulfan ($\alpha+\beta$), Endossulfan sais, Endrin, Fention, Heptacloro, λ -Cialotrina, Malation, Metalaxil-M, Metolacloro, Mirex, Molinato, Paration-metil, Pendimentalina, Permetrina, Piriproxifen, Propiconazol, Simazina, Tebuconazol, Triazofós e Trifluralina foram utilizados nas análises.

Para a condução dos experimentos, foram utilizados reagentes com grau de pureza analítica (PA) ou espectroscópica, conforme listado: sulfato de magnésio anidro (98%, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil), cloreto de sódio (99%, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil), citrato de sódio tribásico (99%, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil), hidrogenocitrato de sódio sesquihidratado (99%, Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) e partículas de amina primária/secundária (PSA) com diâmetro de 40 μm (Supelco, São Paulo, Brasil). Como solventes, foram empregados: acetonitrila (99,9%, grau UV/HPLC, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil), ácido fórmico (85%, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) e acetona (99,9%, grau UV/HPLC, Vetec, Rio de Janeiro, Brasil). O gás utilizado foi o hélio (99,999%, White Martins, Ceará, Brasil), e a água empregada era ultrapura, proveniente do sistema Milli-Q Direct UV3 (São Paulo, Brasil).

Para os experimentos de validação do método analítico, foram preparadas soluções estoque de agrotóxicos individuais na concentração de 1000 mg L^{-1} . A partir dessas, obteve-se, por diluição, uma solução mista com concentração de 10 mg L^{-1} , contendo todos os compostos-alvo da análise. Utilizou-se metanol (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) como solvente, e as curvas analíticas foram construídas tanto em solvente puro quanto na matriz (extrato), abrangendo a faixa de concentração de 0,05 a 1,5 mg kg^{-1} . A quantificação foi realizada por meio do método de padrão externo, sendo esses procedimentos fundamentais para a determinação dos parâmetros de validação do método.

4.4 Método QuEChERS

As amostras de água de coco e de coco ralado foram preparadas por meio do método de extração QuEChERS (*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*), conforme o protocolo originalmente proposto por Anastassiades *et al.* (2003).

Para o preparo das amostras de água de coco, inicialmente foram realizadas a homogeneização e a identificação de cada amostra. Em seguida, alíquotas de 10,0 mL foram transferidas para tubos Falcon de 50,0 mL, aos quais foram adicionados 10,0 mL de acetonitrila. As amostras foram agitadas por 1 minuto em agitador tipo vórtex. Posteriormente, foi adicionado o conjunto de sais do método QuEChERS, composto por 4,0 g de sulfato de magnésio anidro, 1,0 g de citrato de sódio tribásico, 1,0 g de cloreto de sódio e 0,5 g de hidrogenocitrato de sódio sesquihidratado. Após adição dos sais, os tubos foram inicialmente agitados manualmente, seguidos de nova agitação em vórtex por 1 minuto, e então centrifugados por 5 minutos a 2500 rpm.

Em seguida, uma alíquota de 4,0 mL do sobrenadante foi coletada para a etapa de purificação (*clean-up*). Nessa etapa, baseada em extração em fase sólida dispersiva (d-SPE), foram adicionados 0,6 g de sulfato de magnésio e 0,1 g de PSA (*Primary Secondary Amine*), com subsequente agitação em vórtex por 30 segundos (Figura 1 (a)). A mistura foi então centrifugada novamente por 5 minutos. Por fim, uma alíquota de 2,0 mL do extrato purificado foi transferida para frascos de 2,0 mL, destinados à análise posterior por GC-MS.

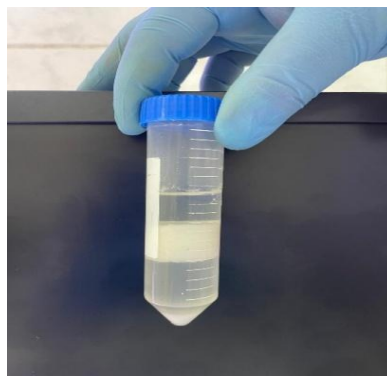
Para o preparo das amostras de coco ralado, após a homogeneização e identificação, foram pesadas alíquotas de 4,0 g em tubos Falcon de 50,0 mL. Em seguida, adicionaram-se 16,0 mL de água Milli-Q, a qual contribuiu para a separação da gordura presente na matriz por meio de efeitos físico-químicos, favorecendo a formação de fases distintas. Posteriormente, foram adicionados 10,0 mL de acetonitrila, com subsequente agitação em agitador tipo vórtex por 1 minuto. Após essa etapa, foram incorporados os sais do método QuEChERS, com agitação manual inicial e nova agitação em vórtex por mais 1 minuto. As amostras foram então centrifugadas por 5 minutos a 2500 rpm. Durante esse processo, devido à menor densidade da gordura em relação à água, formou-se uma camada lipídica superficial, facilitando sua separação (Figura 1 (b)).

Na sequência, foi coletada uma alíquota de 6,0 mL do sobrenadante, que foi submetida à refrigeração em freezer por 1 hora, a fim de promover a condensação das partículas de gordura ainda presentes. Após esse período, a amostra foi novamente centrifugada por 5 minutos a 2500 rpm. A seguir, uma alíquota de 4,0 mL do sobrenadante foi destinada à etapa de purificação (*clean-up*). Finalmente, essa alíquota foi transferida para frascos de 4,0 mL, a fim de viabilizar a posterior análise por GC-MS.

Figura 1 – Método Quechers: a) extrações com sais b) separação de gordura



a)



(b)

Fonte: Elaboração própria.

4.5 Análise por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (GC-MS)

As análises de multirresíduos foram realizadas em um sistema de cromatografia gasosa acoplado à espectrometria de massas com quadrupolo simples (GC-Q-MS), modelo DSQ II (Thermo, Washington, EUA) (Figura 2). A separação dos pesticidas foi conduzida por meio de uma coluna capilar do tipo RTX-5ms (30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 μm de espessura de filme da fase estacionária), utilizando gás hélio de alta pureza (99,99%) como gás de arraste, com fluxo constante de 1,2 mL/min.

A injeção foi realizada no modo *splitless*, com volume de 1 μL de amostra e tempo de *splitless* ajustado para 3 minutos. A temperatura do injetor foi mantida a 260 °C. A programação de temperatura do forno seguiu o seguinte perfil: 80 °C por 1 minuto; incremento de 15 °C/min até 200 °C; seguido por uma rampa de 3 °C/min até 280 °C; e, por fim, 15 °C/min até atingir 300 °C, mantendo essa temperatura por 1 minuto.

O espectrômetro de massas operou em modo de ionização por impacto eletrônico (EI), com energia de 70 eV. A temperatura da fonte de íons foi fixada em 250 °C, enquanto a linha de transferência foi mantida a 270 °C. A quantificação dos compostos foi realizada com base na seleção de um íon característico para quantificação e dois íons auxiliares para confirmação qualitativa. Os tempos de retenção dos compostos e fragmentos (m/z) estão apresentados na Tabela 1.

Figura 2 – GC-Q-MS modelo DSQ II.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 1 - Parâmetros de validação do método multiresíduo por CG-MS.

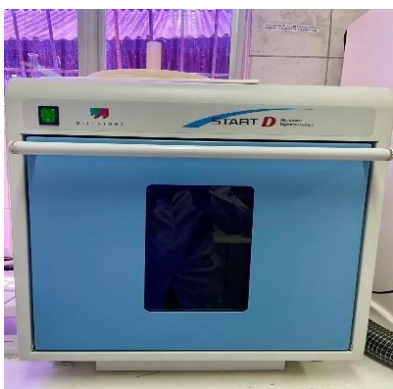
Ingrediente Ativo	Tempo de Retenção (tr)	Fragmentos (m/z)
Alacloro	10,34	188; 146
Aldrin	11,15	263; 265
Ametrina	11,60	212; 170
Atrazina	9,13	215; 58; 173*
Azoxistrombina	22,80	388; 345
α -BHC (lindano)	8,81	183; 219; 109
Bifentrina	16,37	165; 166; 182
Buprofenzina	15,94	106; 172
β -Ciflutrina	28,35	199; 226
Cipermetrina	20,37	181; 165
Clordano	12,39	375; 377; 371
Clorotalonil	9,53	264; 268
Clorpirifós	11,05	197; 199; 314
Crezoxim-metil	16,04	131; 206
4,4'-DDD	14,14	237; 165; 236
4,4'-DDE	13,17	248; 318; 316
4,4'-DDT	15,06	237; 165; 236
Deltametrina	22,35	181; 251
Dieldrin	13,30	81; 263
Difenoconazol	22,17	323; 267
Endossulfan ($\alpha+\beta$)	12,69	239; 195
Endossulfan sais	14,92	272; 274
Endrin	13,77	79; 263; 281
Fention	12,55	125; 109
Heptacloro	10,49	272; 274
λ -Cialotrina	23,68	197; 141
Malation	12,26	173; 93; 127
Metalaxil-M	11,43	206; 132
Metolacloro	11,01	238; 240
Mirex	23,48	274; 270
Molinato	7,55	126; 187
Paration-metil	10,32	125; 263
Pendimentalina	11,69	281; 162
Permetrina	19,02	163; 165; 184
Piriproxifen	23,45	78; 96
Propiconazol	14,88	259; 261
Simazina	9,86	186; 173*
Tebuconazol	19,48	70; 250; 83
Triazofós	18,00	77; 97
Trifluralina	8,45	264; 290

Fonte: Elaboração própria.

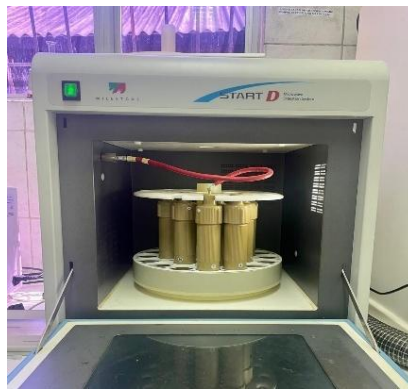
4.6 Análise por Espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES)

Inicialmente, as amostras foram digeridas no forno de micro-ondas *Milestone START D*, seguindo o método EPA 3052, conforme especificado na literatura (US EPA, 1996) (Figura 3 (a)). Foi pesada, com precisão, uma quantidade de aproximadamente 0,5 g/mL da amostra triturada e homogenizada, que foi colocada em tubos de Teflon, adequados para o processo de digestão. Em seguida, 7 mL de ácido nítrico a 65% e 1 mL de peróxido de hidrogênio a 30% foram adicionados aos tubos, sob capela. Os tubos foram hermeticamente fechados e inseridos no sistema de micro-ondas de acordo com as orientações fornecidas pelo fabricante, conforme ilustrado na Figura 3 (b). Para garantir uma decomposição completa das amostras, o perfil de temperatura e tempo do micro-ondas foi ajustado para atingir 200 ± 5 °C em aproximadamente 15 minutos, mantendo essa temperatura por mais 15 minutos. Após o término do processo, os tubos foram retirados do micro-ondas e deixados esfriar à temperatura ambiente por 15 minutos. Com as amostras já em temperatura ambiente, a solução foi transferida para tubos Falcon de 50 mL, e as paredes dos tubos de Teflon foram lavadas com cerca de 10 mL de água ultrapura, repetindo o procedimento três vezes. Finalmente, o volume foi completado para 50 mL com água ultrapura, e as amostras foram codificadas para a análise subsequente.

Figura 3 – Forno de micro-ondas *Milestone START D*: a) visão frontal b) visão interna indicando o posicionamento dos tubos de digestão



(a)

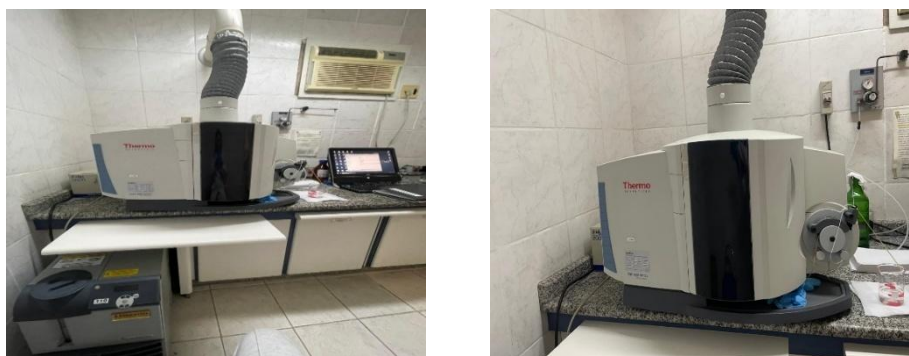


(b)

Fonte: Elaboração própria.

As determinações dos teores de metais foram realizadas por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES), utilizando o equipamento da marca *Thermo Fisher Scientific*, pertencente à Série iCAP 6000 (Figura 4). Essa técnica foi empregada para a quantificação dos elementos arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), estanho (Sn), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni) em amostras de água de coco e coco ralado. As condições do método são apresentadas na Tabela 2.

Figura 4 – ICP-OES Série iCAP 6000.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2 - Condições do Método de análise por ICP-OES.

Parâmetro	Condição
Número de replicatas	03
Potência de radiofrequência (RF)	1150 W
Vazão do gás auxiliar	0,5 L/min
Vazão do gás nebulizador	0,45 L/min
Tempo de integração	15 s (<i>Low WL</i>) / 5 s (<i>High WL</i>)
Tipo de introdução da amostra	Nebulizador
Vazão de argônio principal (coolant)	12 L/min
Visão do plasma	Axial

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros operacionais utilizados durante as análises elementares realizadas por ICP-OES. O equipamento foi configurado para operar com visão axial do plasma, o que proporciona maior sensibilidade analítica, especialmente importante na determinação de elementos em baixas concentrações. A introdução da amostra foi realizada por meio de nebulização, método eficiente para converter a solução líquida em aerossol antes da entrada no plasma.

A potência de radiofrequência foi ajustada para 1150 W, valor suficiente para manter a estabilidade do plasma e garantir a eficiente atomização dos analitos. As vazões dos gases de

operação foram mantidas em 0,5 L/min para o gás auxiliar, 0,45 L/min para o gás de nebulização e 12 L/min para o gás de refrigeração (coolant), conforme especificado pelo fabricante. O tempo de integração foi definido de acordo com a faixa espectral dos elementos: 15 segundos para comprimentos de onda baixos (*Low WL*) e 5 segundos para os altos (*High WL*), otimizando a detecção dos sinais emitidos.

A análise foi conduzida com três replicatas por amostra, assegurando a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos. Parâmetros como o tempo de retardo de leitura e a altura de observação radial permaneceram não configurados manualmente, adotando-se as condições padrão do método automatizado.

A escolha desses parâmetros foi baseada em recomendações do fabricante e em metodologias previamente estabelecidas na literatura, garantindo a sensibilidade, precisão e robustez necessárias para a determinação dos elementos de interesse.

4.7 Validação de métodos

A validação de método analítico tem como objetivo demonstrar que um determinado método é adequado para o propósito proposto, ou seja, que ele fornece resultados confiáveis, precisos e reprodutíveis dentro das condições estabelecidas (Reichert, 2015).

Para a validação do método, foram utilizadas amostras de água de coco e coco ralado. O método foi validado através da determinação da seletividade, linearidade e faixa de aplicação, exatidão, precisão, Limites de Detecção (LD) e Quantificação (LQ) de acordo com os critérios da SANTE/11312/2021 versão 2 (Comissão Europeia, 2023).

A seletividade do método foi avaliada a partir dos cromatogramas das amostras em análise, esse parâmetro é de fundamental importância, pois define a capacidade do método de medir especificamente o analito de interesse sem interferência de outros componentes da amostra.

Na verificação da linearidade, que é a capacidade do método de obter resultados diretamente proporcionais à concentração do analito dentro de uma faixa de trabalho (0,05 – 1,5 mg.Kg⁻¹), foram utilizados os coeficientes de determinação (R²) para um conjunto de amostras de solvente adicionadas a uma mistura de todos os padrões dos analitos. Para isso, foram estabelecidos níveis de concentração 0,05; 0,1; 0,25, 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 mg.Kg⁻¹. Segundo a ANVISA (Brasil, 2017), métodos analíticos devem apresentar um coeficiente de determinação R² superior a 0,99 para serem considerados lineares.

A exatidão foi verificada através da taxa de recuperação das amostras em 3 níveis de

concentração: baixa (0,05 mg.Kg⁻¹), média (0,5 mg.Kg⁻¹) e alta (1,5 mg.Kg⁻¹). Já a precisão do método foi calculada e expressa em coeficiente de variação - CV (%).

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram determinados pela relação sinal/ruído, conforme preconizado pela ANVISA (Brasil, 2017), e comparados aos limites máximos de resíduos (LMR) permitidos.

4.8 Estimativa de risco

A estimativa de risco de pesticidas e metais em alimentos é uma ferramenta essencial de saúde pública, segurança alimentar e proteção ambiental. Ela permite avaliar se a exposição a contaminantes presentes nos alimentos pode representar riscos tóxicos ou crônicos à saúde humana, especialmente em populações vulneráveis como crianças, gestantes e idosos (BRASIL, 2021).

O Quociente de Risco (QR ou HQ – *Hazard Quotient*) é calculado como o quociente entre ingestão diária estimada (EDI) de acordo com os resíduos de agrotóxicos presentes em alimentos específicos e a dose de referência (RfD) ou dose diária aceitável (DDA/ADI) (em mg/kg de peso corporal/dia). A equação (1) da fórmula geral do QR é expressa por:

$$QR = \frac{EDI}{RfD} \quad (1)$$

O EDI é uma estimativa da quantidade de uma substância química (como um metal pesado ou pesticida) que uma pessoa consome todos os dias por quilo de peso corporal, através de um alimento contaminado, onde: C = é o consumo nacional estimado da *commodity* por dia (em kg/dia ou L/dia); FP = fator de processamento do alimento; R = concentração da substância no alimento (em mg/kg ou mg/L); e BW = peso corporal da pessoa (em kg) (FAO; WHO, 2009). A equação (2) da EDI é expressa por:

$$EDI = \frac{C \times FP \times R}{BW} \quad (2)$$

A fórmula do QR é uma ferramenta consolidada e amplamente aceita para avaliar riscos à saúde humana decorrentes da exposição a contaminantes alimentares. É o valor final que indica se há risco ou não relacionado à ingestão da substância, se QR < 1: não há risco

significativo à saúde; se $QR = 1$: limite de segurança — atenção necessária; e se $QR > 1$: há potencial risco e pode ser necessária alguma ação (como proibição ou limite de consumo). Ela é baseada em metodologias científicas rigorosas e é aplicada por diversas organizações internacionais de saúde e segurança alimentar, como a ANVISA, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) (FAO, 2020; US EPA, 2025).

O índice de risco não é apenas um cálculo técnico, mas uma ferramenta estratégica para garantir que os alimentos sejam seguros ao longo de toda a vida, mesmo com consumo diário. Ela conecta ciência, saúde e política pública (FAO, 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de agrotóxicos por CG-MS

5.1.1 Validação do método

Uma metodologia multirresíduo validada para análise de 40 ingredientes ativos encontra-se apresentada na Tabela 3, que resume os parâmetros de validação obtidos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). A seletividade do método demonstrou-se satisfatória por meio das análises de amostras fortificadas, nas quais os picos cromatográficos foram claramente atribuídos a analitos específicos, sem interferência de compostos da matriz, assegurando a especificidade da detecção. A linearidade foi avaliada com base na determinação da faixa de trabalho, na construção das curvas de calibração (representadas pela equação da reta) e nos respectivos coeficientes de correlação (R^2), os quais foram superiores a 0,99 para todos os compostos analisados, demonstrando excelente correlação entre a concentração e a resposta analítica. A exatidão e a precisão do método apresentaram variações de 70 a 120% e de 0,56 a 10,12%, respectivamente, conforme ilustrado na tabela correspondente. De modo geral, os parâmetros obtidos atenderam aos critérios estabelecidos pela SANTE/11312/2021 versão 2 (Comissão Europeia, 2023).

Tabela 3 – Validação do método multirresíduo por GC-MS.

Ingrediente Ativo	Linearidade			Exatidão (Recuperação %)			Precisão (CV %)			LD (mg/kg)	LQ (mg/kg)
	Faixa de trabalho (mg/kg)	Equacao da reta	R^2	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto		

Alacloro	0.05 - 1.50	$Y = -322632 + 8.86543e+006 * X$	0,9902	96	110	113	0,64	1,85	0,90	0,01	0,03
Aldrin	0.05 - 1.50	$Y = -812989 + 3.40082e+007 * X$	0,9914	100	106	112	0,56	2,85	0,95	0,01	0,03
Ametrina	0.05 - 1.50	$Y = 21579.6 + 4.9492e+006 * X$	0,9952	94	102	113	1,26	6,24	6,55	0,01	0,03
Atrazina	0.05 - 1.50	$Y = -204263 + 8.2018e+006 * X$	0,9921	95	103	119	7,49	8,67	3,89	0,03	0,09
Azoxistrombina	0.05 - 1.50	$Y = -335100 + 1.97238e+007 * X$	0,9981	95	113	115	3,23	1,12	1,32	0,01	0,03
α -BHC (lindano)	0.05 - 1.50	$y = -289927 + 5.038479 * X + 0.06$	0,9950	89	117	120	3,23	1,12	1,32	0,01	0,03
Bifentrina	0.05 - 1.50	$Y = -426861 + 1.09882e+007 * X$	0,9905	90	105	116	7,29	7,92	6,19	0,01	0,03
Buprofenzina	0.05 - 1.50	$Y = -53097.8 + 1.22397e+007 * X$	0,9992	77	107	114	6,33	8,02	6,71	0,01	0,03
β -Ciflutrina	0.05 - 1.50	$Y = -142543 + 479385 * X$	0,9992	73	114	115	3,46	3,15	2,00	0,03	0,09
Cipermetrina	0.05 - 1.50	$Y = -305938 + 1.20142e+007 * X$	0,9941	79	80	116	11,93	11,41	5,75	0,01	0,03
Clordano	0.05 - 1.50	$Y = -546017 + 1.75504e+007 * X$	0,9919	70	70	93	17,01	1,62	6,89	0,01	0,03
Clorotalonil	0.05 - 1.50	$Y = -181100 + 6.71077e+006 * X$	0,9968	76	83	110	4,96	12,22	6,62	0,01	0,03
Clorpirifós	0.05 - 1.50	$Y = -7329.12 + 109214 * X$	0,9940	78	92	103	7,11	9,02	5,80	0,01	0,03
Crezoxim-metil	0.05 - 1.50	$Y = -15202.3 + 7.07557e+006 * X$	0,9944	87	102	111	7,12	2,07	7,20	0,005	0,015
4,4'-DDD	0.05 - 1.50	$Y = -711385 + 1.80402e+007 * X$	0,9931	77	110	118	1,10	3,76	7,32	0,01	0,03
4,4'-DDE	0.05 - 1.50	$Y = -319222 + 6.97256e+006 * X$	0,9912	70	100	106	5,25	3,98	2,22	0,01	0,03
4,4'-DDT	0.05 - 1.50	$Y = -71197.6 + 9.56894e+006 * X$	0,9954	96	107	114	5,26	6,41	7,04	0,01	0,03
Deltametrina	0.05 - 1.50	$Y = -44152.8 + 2.41314e+006 * X$	0,9947	82	86	102	6,39	1,19	2,90	0,005	0,015
Dieldrin	0.05 - 1.50	$Y = -311.232 + 195705 * X$	0,9958	86	94	118	3,98	4,59	3,50	0,01	0,03

Difenoconazol	0.05 - 1.50	$Y = -438146 + 1.98044e+007 * X$	0,9938	96	98	99	7,03	1,08	0,78	0,01	0,03
Endossulfan ($\alpha + \beta$)	0.05 - 1.50	$Y = -169398 + 1.13663e+007 * X$	0,9952	70	84	91	6,45	0,90	7,50	0,03	0,09
Endossulfan sais	0.05 - 1.50	$Y = -607351 + 1.33072e+007 * X$	0,9903	70	108	115	8,13	3,86	7,66	0,03	0,09
Endrin	0.05 - 1.50	$Y = -786196 + 1.80099e+007 * X$	0,9909	70	106	112	6,00	3,76	7,53	0,01	0,03
Fention	0.05 - 1.50	$Y = -61451.5 + 2.75118e+006 * X$	0,9937	94	98	108	5,29	3,55	7,77	0,03	0,09
Heptacloro	0.05 - 1.50	$Y = -22548.4 + 609221 * X$	0,9911	92	93	102	10,11	7,18	10,12	0,01	0,03
λ -Cialotrina	0.05 - 1.50	$Y = -1.00324e+006 + 3.13342e+007 * X$	0,9918	85	86	94	7,42	2,62	7,94	0,01	0,03
Malation	0.05 - 1.50	$Y = -336286 + 8.22789e+006 * X$	0,9913	91	103	117	0,95	3,04	3,48	0,01	0,03
Metalaxil-M	0.05 - 1.50	$Y = -105002 + 2.45274e+006 * X$	0,9917	93	112	120	5,23	4,08	3,97	0,01	0,03
Metolacoloro	0.05 - 1.50	$Y = -450532 + 1.16266e+007 * X$	0,9914	74	111	112	7,54	3,25	0,94	0,01	0,03
Mirex	0.05 - 1.50	$Y = -421105 + 6.33017e+006 * X$	0,9903	83	102	105	2,42	8,16	8,36	0,01	0,03
Molinato	0.05 - 1.50	$Y = -344496 + 7.87677e+006 * X$	0,9956	91	103	120	7,77	6,21	2,04	0,01	0,03
Paration-metil	0.05 - 1.50	$Y = -2.08404e+006 + 4.76126e+007 * X$	0,9912	87	104	120	2,29	3,32	3,92	0,03	0,09
Pendimentalina	0.05 - 1.50	$Y = 46785.6 + 709619 * X$	0,9960	71	110	112	7,14	2,30	0,87	0,01	0,03
Permetrina	0.05 - 1.50	$Y = -416666 + 9.55391e+006 * X$	0,9905	80	106	110	6,46	1,85	3,00	0,05	0,15
Piriproxifen	0.05 - 1.50	$Y = -285752 + 1.16632e+007 * X$	0,9946	71	116	117	0,64	2,03	2,67	0,005	0,015
Propiconazol	0.05 - 1.50	$Y = 531.549 + 497329 * X$	0,9928	94	115	117	3,56	6,52	2,97	0,01	0,03
Simazina	0.05 - 1.50	$Y = -92466.8 + 2.31624e+006 * X$	0,9911	82	108	118	4,88	6,82	7,86	0,03	0,09
Tebuconazol	0.05 - 1.50	$Y = -259338 + 7.10015e+006 * X$	0,9918	79	88	93	14,01	5,46	7,28	0,01	0,03

Triazofós	0.05 - 150	$Y = -988914 + 3.52349e+007 * X$	0,9936	90	104	114	7,89	0,90	2,22	0,01	0,03
Trifluralina	0.05 - 1.50	$Y = -77496.2 + 1.47109e+006 * X$	0,9913	73	93	113	4,60	1,12	2,73	0,01	0,03

Fonte: Elaboração própria.

5.1.2 Água de coco

A análise de resíduos de pesticidas nas cinco amostras de água de coco (A1 a A5), conforme apresentado na Tabela 4, demonstrou ausência de detecção quantificável dos 40 ingredientes ativos pesquisados, uma vez que todos os resultados foram reportados como inferiores ao limite de quantificação (<LQ). Esse achado sugere que, nas amostras analisadas, não houve contaminação mensurável por pesticidas, ou que os níveis presentes estavam abaixo da capacidade de detecção do método analítico utilizado.

Tabela 4 - Resultado das amostras (A1, A2, A3, A4 e A5) analisadas por CG-MS.

Ingrediente Ativo	A1 (mg/kg)	A2 (mg/kg)	A3 (mg/kg)	A4 (mg/kg)	A5 (mg/kg)	LQ (mg/kg)	LMR (mg/kg) - cultura do coco (ANVISA)	LMR (mg/kg) - cultura do coco (FAO/WHO)
Alacloro	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Aldrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Ametrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Atrazina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA
Azoxistrombina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
α -BHC (lindano)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Bifentrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,05	ND
Buprofenzina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
β -Ciflutrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA
Cipermetrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Clordano	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	0,02
Clorotalonil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Clorpirifós	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Crezoxim-metil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	ND
4,4'-DDD	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
4,4'-DDE	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
4,4'-DDT	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Deltametrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	ND
Dieldrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Difenoconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,1	ND
Endossulfan ($\alpha+\beta$)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Endossulfan sais	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Endrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Fention	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	0,01	NA
Heptacloro	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
λ -Cialotrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,2	NA
Malation	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Metalaxil-M	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
Metolacloro	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Mirex	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Molinato	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Paration-metil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Pendimentalina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Permetrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,15	ND	NA

Piriproxifen	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	NA
Propiconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Simazina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA
Tebuconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,01	NA
Triazofós	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Trifluralina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA

ND: Não Definido
NA: Não Autorizado

Fonte: Elaboração própria.

Os LQs empregados no estudo, variando entre 0,015 e 0,15 mg/kg, são compatíveis com os valores normalmente exigidos para esse tipo de matriz em estudos regulatórios e de monitoramento de resíduos, considerando que os valores de LQs estiveram abaixo dos LMRs definidos para a cultura do coco pela ANVISA (Brasil, 2022c; Brasil, 2023a).

Além disso, ao comparar os resultados obtidos com os LMRs estabelecidos pela FAO e pela OMS (s.d.) por meio do *Codex Alimentarius*, observa-se que a maioria dos pesticidas analisados não possui LMR definido para a cultura do coco. Na tabela de referência, muitos ingredientes ativos apresentam a classificação NA ou ND, segundo a Pesticide Action Network International (PAN, 2024), o que indica que não há regulamentação internacional específica para esses compostos na referida cultura. Essa lacuna pode ser explicada pela baixa representatividade do coco entre as culturas globais com avaliações toxicológicas completas no escopo do *Codex Alimentarius*.

A ausência de resíduos quantificáveis, aliada à falta de definição de LMRs pela FAO/WHO, transfere para as autoridades reguladoras nacionais, como a ANVISA, a responsabilidade de estabelecer limites seguros para o consumo interno. No Brasil, essa prática é realizada com base em estudos agronômicos, toxicológicos e em extrapolações de culturas similares, garantindo assim a proteção da saúde pública.

Embora não exista uma legislação específica para a presença de pesticidas em água de coco e o fruto não esteja incluído nos últimos relatórios do PARA, sua produção integrada segue normas técnicas específicas e exige documentação de acompanhamento. O atendimento completo a todas as normas e procedimentos relevantes permitirá, ao final do processo, a certificação do produto com o selo de conformidade. Entre as normas relacionadas ao uso de pesticidas na cultura do coco, que podem afetar diretamente a presença e a quantidade desses resíduos na água de coco, é importante destacar as listadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Normas Técnicas Específicas para a Produção Integrada de Coco – NTEPIC

ÁREAS TEMÁTICAS	NORMAS TÉCNICAS ESPECÍFICAS PARA A PRODUÇÃO INTEGRADA DE COCO – NTEPICOCO			
	OBRIGATÓRIAS	RECOMENDADAS	PROIBIDAS	PERMITIDAS COM RESTRIÇÕES
6. NUTRIÇÃO DE PLANTAS				
6.1 Fertilização	Utilizar agroquímicos registrados segundo legislação vigente.	Fornecer nutrientes para as plantas, preferencialmente via radicular; Realizar adubação orgânica regularmente, substituindo parcialmente a adubação química.	Aplicar agroquímicos sem os devidos registros, conforme legislação vigente. Aplicar fertilizantes com substâncias tóxicas, especialmente metais pesados, que provoquem riscos de contaminação do solo. Colocar em risco os lençóis subterrâneos por contaminação química, especialmente nitratos.	
10. PROTEÇÃO INTEGRADA DA PLANTA				
10.2. Pesticidas de síntese	Utilizar produtos químicos registrados mediante receituário agrônômico, conforme legislação vigente. Quando necessária a utilização de agrotóxicos, optar por aqueles identificados na grade de uso.	Utilizar as informações geradas em estações de aviso para orientar os procedimentos sobre tratamentos com agroquímicos. Alternar princípios ativos no controle de pragas para evitar o surgimento de resistência.	Aplicar produtos químicos sem o devido registro, conforme legislação vigente.	Utilizar defensivos, de uso restrito, mediante receituário agrônômico, conforme legislação vigente, quando o ataque atingir os níveis de ação e/ou situações específicas. Quando justificado o seu uso, buscar produtos que componham a grade de agro-químicos e que sejam de menor toxicidade. Realizar tratamento direcionado aos locais onde os níveis de ação forem atingidos
10.4 Preparo e aplicação de agroquímicos	Utilizar produtos em conformidade com as restrições definidas nas normas técnicas da Produção Integrada de Frutas (PIF), e desde que recomendados em receituário agrônômico.		Aplicar produtos químicos sem o devido registro, conforme legislação vigente. Aplicar agrotóxicos na presença de crianças e pessoas não vinculadas ao trabalho. Utilizar recursos humanos sem a devida capacitação técnica. Preparar e aplicar produtos sem utilizar equipamentos de proteção individual.	
10.5 Armazenamento de agroquímicos e embalagens vazias	Armazenar produtos agro-químicos em local adequado. Manter registro sistemático da movimentação de estoque de produtos químicos para fins de processos e rastreabilidade. Fazer a tríplex lavagem após a utilização, conforme o tipo de embalagem e guardar em local adequado, procedendo conforme legislação vigente. Após lavagem, enviar embalagens de produtos químicos para centros de recolhimento e reciclagem de		Reutilizar ou abandonar embalagens, restos de materiais e agro-químicos em áreas de agricultura, sobretudo próximas de mananciais, bem como estocar agro-químicos sem obedecer às normas de segurança.	

	embalagens.			
12. ANÁLISES DE RESÍDUOS				
12.1. Amostragem para análise de resíduos na água de coco (coco verde) e albúmen sólido (coco seco).	Proceder à análise em laboratórios credenciados pelo MAPA, em conformidade com requisitos do Programa Nacional de Controle de Resíduos em Vegetais – PNCRV. A amostragem dos frutos deverá corresponder a 10% do total das parcelas*.		Utilizar recursos humanos sem a devida capacitação técnica.	

Fonte: Embrapa (2004).

Um estudo conduzido por Anjos (2014) identificou a presença de diversos pesticidas em amostras de água de coco, tanto naturais quanto industrializadas. Entre os compostos detectados, destacam-se o sulfotep, demeton-O, dimethoate, disulfoton, fenitrothion e malathion. As concentrações observadas variaram desde níveis inferiores ao limite de quantificação (<LQ) até 12,1 $\mu\text{g L}^{-1}$, valor registrado para o dimethoate. Conforme relatado pela Embrapa (2002), o uso de dimethoate e malathion é comum no manejo de pragas em plantações de coqueiro, o que pode explicar sua predominância nas amostras analisadas, especialmente naquelas oriundas de processos industriais, onde foram detectadas as maiores concentrações desses pesticidas.

Pesquisas conduzidas por Deme *et al.* (2012), que empregaram extração em fase sólida (SPE) e análise por LC-MS/MS, indicaram que, entre os pesticidas examinados em água de coco, somente o malathion foi detectado em 23% das amostras, com concentrações variando de 24 a 45 ng L^{-1} . Esses níveis, embora baixos, demonstram que a água de coco pode estar sujeita à contaminação por pesticidas organofosforados, ainda que em concentrações inferiores aos limites geralmente estabelecidos por agências reguladoras.

Outro estudo conduzido por Tavares *et al.* (2018) demonstrou que, apesar da aplicação endoterápica de diversos pesticidas no coqueiro, nenhum dos compostos foi detectado em níveis quantificáveis nas amostras de água de coco analisadas, mesmo após 180 dias de monitoramento. Esse resultado sugere que, sob as condições testadas, não ocorreu translocação significativa dos pesticidas para o líquido do fruto, reforçando a segurança do consumo quanto à presença desses resíduos em concentrações acima do limite de quantificação. Resultados semelhantes foram obtidos por Ferreira *et al.* (2016), onde todas as amostras apresentaram níveis abaixo do LQ (10 $\mu\text{g kg}^{-1}$) e LMRs estabelecidos pelos regulamentos da UE (Comissão Europeia, 2015), garantindo assim, a qualidade dos frutos.

Os resultados do atual estudo corroboram com a IN nº 9/2020 (Brasil, 2020a), que proíbe resíduos de agrotóxicos não autorizados ou em concentrações superiores ao autorizado

para a matéria-prima utilizada na produção da água de coco, visto que, a análise por GC-MS; que apresenta baixo limite de detecção. Ademais, não foi detectado nenhum ingrediente ativo dentre os pesticidas comumente utilizados para a produção do coco.

Esse cenário pode ser atribuído a uma série de fatores, como a adoção de boas práticas agrícolas durante o cultivo dos coqueiros, a eficiência nos processos de lavagem e industrialização (quando aplicável) e a possível não aplicação, ou aplicação controlada, de defensivos agrícolas nas lavouras específicas utilizadas para a produção das amostras analisadas.

Contudo, é importante considerar que a ausência de detecção não implica ausência total de pesticidas, mas sim a inexistência de resíduos acima do limite quantificável pelo método empregado. Dessa forma, os resultados obtidos demonstram um perfil seguro do ponto de vista da contaminação por pesticidas nas amostras de água de coco analisadas, embora se ressalte a necessidade de monitoramento contínuo e atualização dos parâmetros regulatórios, especialmente diante da ausência de LMRs específicos por parte das instâncias internacionais, a fim de garantir a segurança dos consumidores e a conformidade dos produtos comercializados no mercado nacional e internacional.

5.1.3 Coco ralado

Os resultados das amostras de coco ralado (C1 a C5) demonstraram ausência de resíduos de pesticidas em níveis quantificáveis, uma vez que todos os ingredientes ativos analisados apresentaram concentrações abaixo dos limites de quantificação (LQ), variando de 0,015 a 0,15 mg/kg, como mostra a Tabela 5. Isso indica que, nas condições em que foram adquiridas e analisadas, essas amostras não apresentaram risco potencial à saúde relacionado à presença de agrotóxicos.

Tabela 5 - Resultado das amostras (C1, C2, C3, C4 e C5) analisadas por CG-MS.

Ingrediente Ativo	C1 (mg/kg)	C2 (mg/kg)	C3 (mg/kg)	C4 (mg/kg)	C5 (mg/kg)	LQ (mg/kg)	LMR (mg/kg) - cultura do coco (ANVISA)	LMR (mg/kg) - cultura do coco (FAO/WHO)
Alacloro	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Aldrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Ametrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Atrazina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA
Azoxistrombina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
α -BHC (lindano)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Bifentrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,05	ND
Buprofenzina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
β -Ciflutrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA

Cipermetrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Clordano	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	0,02
Clorotalonil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Clorpirifós	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Crezoxim-metil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	ND
4,4'-DDD	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
4,4'-DDE	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
4,4'-DDT	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Deltametrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	ND
Dieldrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Difenoconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,1	ND
Endossulfan ($\alpha+\beta$)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Endossulfan sais	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Endrin	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
Fention	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	0,01	NA
Heptacloro	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	ND
λ -Cialotrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,2	NA
Malation	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Metalaxil-M	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	ND
Metolaclo	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Mirex	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Molinato	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Paration-metil	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	NA	NA
Pendimentalina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Permetrina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,15	ND	NA
Piriproxifen	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,015	ND	NA
Propiconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA
Simazina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,09	ND	NA
Tebuconazol	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	0,01	NA
Triazofós	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	NA	NA
Trifluralina	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,03	ND	NA

ND: Não Definido
NA: Não Autorizado

Fonte: Elaboração própria (2025)

Embora a legislação brasileira (ANVISA) estabeleça LMRs para alguns ingredientes ativos, como bifentrina, difenoconazol, fention, λ -cialotrina e tebuconazol, nenhum desses foi detectado nas amostras. A ausência de resíduos também se estende a ingredientes banidos ou não autorizados, como aldrin, dieldrin e mirex, o que é relevante considerando as preocupações globais com o uso desses compostos (PAN, 2024).

Esses dados corroboram com os critérios de segurança alimentar e podem refletir tanto boas práticas agrícolas quanto processos industriais eficazes na seleção e processamento do coco. Além disso, diferentemente do que se poderia esperar de produtos processados, os resultados não indicaram contaminações cruzadas ou resíduos remanescentes de pesticidas — um dado que reforça a qualidade sanitária do coco ralado comercializado no período avaliado.

No entanto, é importante destacar que, embora os dados obtidos neste estudo sejam positivos, atualmente, não há estudos específicos que investiguem a presença de pesticidas no coco ralado industrializado. Nesse contexto, vale mencionar que estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) identificaram resíduos de agrotóxicos em diversos alimentos ultraprocessados disponíveis no mercado brasileiro, como biscoitos, pães e cereais matinais, com destaque para a presença de glifosato — um herbicida

amplamente utilizado na agricultura nacional (IDEC, 2021). Esses resultados alertam para a importância de ampliar as investigações, incluindo outros produtos alimentícios, como o coco ralado, a fim de garantir uma avaliação mais abrangente da segurança alimentar e da possível exposição dos consumidores a resíduos de pesticidas.

5.2 Determinação de teores de íons metálicos em produtos do coco por ICP-OES

5.2.1 Validação do método multirresíduo

A validação do método analítico para determinação multirresíduo de metais tóxicos em produtos derivados de *Cocos nucifera L.* foi realizada com o uso da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), considerando os parâmetros de linearidade, exatidão, precisão, limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros analíticos (ICP-OES).

Elemento	Faixa de linearidade (mg/L)	Curva	R ²	Exatidão	Precisão	LD (mg.L ⁻¹)	LQ (mg.L ⁻¹)
As	0,1 – 8,0	Y = 0,3139*X + 354,6	0,9998	83 %	7%	0,001	0,01
Cd	0,01 – 2,0	Y = 0,7608*X + 11.020	0,9999	90%	8%	0,0005	0,001
Pb	0,01 – 2,0	Y = - 0,8284*X + 1.329	0,9996	83%	6%	0,001	0,01
Sn	0,1 – 8,0	Y = 0,6304*X + 1.013	0,9942	82%	5%	0,001	0,02
Cr	0,01 – 2,0	Y = 1,368*X + 14.740	0,9999	85%	7%	0,0005	0,01
Mn	0,01 – 2,0	Y = 7,036*X + 96.930	0,9999	87%	8%	0,0005	0,005
Ni	0,01 – 2,0	Y = -2,440*X + 6.615	0,9998	84%	6%	0,0005	0,01

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da validação demonstraram alta linearidade para todos os elementos analisados, com coeficientes de correlação (R²) superiores a 0,994, indicando excelente ajuste das curvas analíticas dentro das faixas de concentração utilizadas. Elementos como cádmio (Cd), cromo (Cr) e manganês (Mn) apresentaram valores de R² iguais a 0,9999, refletindo a confiabilidade dos dados gerados pelo método.

A exatidão, medida pela recuperação percentual, variou de 82% a 90%, estando dentro dos limites aceitáveis para análises multielementares em matrizes alimentares complexas. A precisão, expressa como desvio padrão relativo (RSD), apresentou resultados satisfatórios, com variações entre 5% e 8%, evidenciando boa repetibilidade dos dados analíticos.

Os limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) demonstraram a alta sensibilidade do método para os metais estudados. O Cd e Cr, por exemplo, apresentaram LD

de 0,0005 mg/L, enquanto o Mn alcançou um LQ de apenas 0,005 mg/L. Esses valores são adequados para a detecção de traços de metais potencialmente tóxicos em alimentos, estando abaixo dos limites máximos estabelecidos por legislações como a da Anvisa e do Codex Alimentarius (Brasil, 2022d; FAO; WHO, 2023).

Dessa forma, os resultados obtidos comprovam que o método desenvolvido e aplicado por ICP-OES é válido, confiável e sensível para a análise simultânea de múltiplos metais tóxicos para estudos de segurança alimentar, conforme os critérios estabelecidos por agências reguladoras e boas práticas laboratoriais.

5.2.2 Água de coco

As concentrações dos analitos (mg L⁻¹) para as amostras de A1, A2, A3, A4 e A5 estão apresentadas abaixo, na Tabela 7.

Tabela 7 - Concentração dos metais analisados por ICP-OES em amostras de água de coco (A1, A2, A3, A4 e A5).

Elemento	A1	A2	A3	A4	A5	LQ (mg.L ⁻¹)	LMT (mg/L)
As	<LD	<LD	<LD	<LD	0,005 ± 0,002	0,01	0,05
Cd	<LD	<LD	<LD	<LD	0,007 ± 0,001	0,001	0,02
Pb	<LD	<LD	<LD	<LD	0,012 ± 0,002	0,01	0,02
Sn	<LD	<LD	<LD	0,046 ± 0,003	0,078 ± 0,002	0,02	50
Cr	0,004 ± 0,001	0,001 ± 0,0005	<LD	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,002	0,01	0,05
Mn	0,829 ± 0,014	1,932 ± 0,021	2,046 ± 0,043	2,135 ± 0,012	0,642 ± 0,002	0,005	0,50
Ni	0,018 ± 0,0005	0,007 ± 0,002	0,003 ± 0,001	0,038 ± 0,005	<LD	0,01	0,02

Fonte: Elaboração própria.

A análise das amostras de água de coco industrializada (identificadas como A1 a A5) permitiu verificar a presença de diferentes metais potencialmente tóxicos, com especial atenção aos limites estabelecidos pela Anvisa por meio da IN nº 160, de 1º de julho de 2022, e atualizações contidas na IN nº 351, de 20 de março de 2025 (Brasil, 2022a; Brasil 2025).

Os metais analisados incluíram arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), estanho (Sn), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni). A Tabela 8 resume os resultados obtidos, os limites de quantificação (LQ) do método e os Limites Máximos Tolerados (LMT) definidos pela regulamentação.

Tabela 8 – Resultados analíticos das amostras e limites de referência.

Elemento	Maior concentração observada (mg/L)	LQ (mg/L)	LMT (mg/L)	Conformidade
As	0,005 ± 0,002	0,01	0,05	Conforme
Cd	0,007 ± 0,001	0,001	0,02	Conforme
Pb	0,012 ± 0,002	0,01	0,02	Conforme
Sn	0,078 ± 0,002	0,02	50,00	Conforme
Cr	0,005 ± 0,001	0,01	0,05	Conforme
Mn	2,135 ± 0,012	0,005	0,50	Não conforme
Ni	0,038 ± 0,005	0,01	0,02	Não conforme

Fonte: Elaboração própria (2025)

A partir da Tabela 8, observa-se que as amostras apresentaram teores de arsênio, cádmio, chumbo, estanho e cromo dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA. Os valores detectados se mantiveram abaixo dos respectivos LMTs, indicando conformidade com os requisitos de segurança alimentar e baixo risco à saúde do consumidor, considerando os níveis de ingestão típicos.

No entanto, foram observadas não conformidades para os elementos manganês (Mn) e níquel (Ni). O manganês excedeu o LMT (0,50 mg/L) em todas as amostras (A1 a A5), com destaque para a amostra A4, que atingiu 2,135 mg/L. O manganês, apesar de ser um micronutriente essencial, pode causar toxicidade neurológica quando ingerido em concentrações elevadas por períodos prolongados, especialmente em populações vulneráveis (Johnson, 2023).

Esse dado, embora preocupante do ponto de vista toxicológico, pode ser compreendido à luz da composição natural da água de coco. De acordo com o estudo conduzido por Sousa *et al.* (2006), tanto a água de coco natural quanto a industrializada apresentam o manganês como um de seus microconstituintes. Essa constatação sugere que a presença do elemento em níveis superiores ao LMT, conforme verificado em todas as amostras do presente estudo, pode estar associada à própria constituição natural da bebida, o que evidencia a importância de revisar os limites normativos com base em características intrínsecas de determinados alimentos e bebidas.

De maneira similar, a concentração de níquel ultrapassou o LMT (0,02 mg/L) na amostra A4, alcançando 0,038 mg/L. Tal resultado pode estar relacionado à capacidade dos materiais derivados do coco de reter esse metal, conforme apontado por estudos anteriores (Hanafiah *et al.*, 2020). O níquel está associado a efeitos alérgicos e, em exposições prolongadas, a potenciais efeitos carcinogênicos, conforme descrito pela International Agency for Research on Cancer (IARC, 1990). Sua presença pode estar relacionada a materiais metálicos utilizados nos processos industriais, como válvulas, tanques e tubulações de aço

inoxidável.

Esses achados reforçam a importância de práticas adequadas de controle de qualidade no setor industrial, incluindo monitoramento da água utilizada, avaliação da matéria-prima e controle da integridade dos equipamentos. A variabilidade nos resultados entre as amostras também evidencia a necessidade de padronização dos processos e rastreabilidade de fornecedores.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo contribuem para a avaliação da conformidade da água de coco industrializada com os requisitos sanitários brasileiros e destacam pontos críticos que podem comprometer a segurança do alimento, justificando ações preventivas e corretivas por parte da indústria alimentícia.

5.2.3 Coco ralado

A determinação dos teores de metais em alimentos é uma etapa essencial na avaliação da qualidade sanitária e segurança do consumo humano. Na Tabela 9, são apresentados os resultados das concentrações de sete elementos (As, Cd, Pb, Sn, Cr, Mn e Ni) em cinco amostras de coco ralado (C1 a C5), analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Tabela 9 - Concentração dos metais analisados por ICP-OES em amostras de coco ralado (C1, C2, C3, C4 e C5).

Elemento	C1	C2	C3	C4	C5	LQ (mg.L ⁻¹)	LMT (mg/kg)
As	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,10
Cd	0,015 ± 0,0005	<LD	0,011 ± 0,173	0,007 ± 0,002	0,014 ± 0,014	0,001	0,05
Pb	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,05
Sn	0,011 ± 0,010	<LD	<LD	0,078 ± 0,003	<LD	0,02	50,0
Cr	0,095 ± 0,010	0,358 ± 0,020	0,034 ± 0,002	0,101 ± 0,062	0,436 ± 0,002	0,01	0,05
Mn	11,724 ± 0,001	22,738 ± 0,086	14,321 ± 0,477	11,814 ± 0,442	15,066 ± 0,162	0,005	0,50
Ni	0,451 ± 0,007	0,229 ± 0,123	0,621 ± 0,038	0,473 ± 0,442	0,618 ± 0,066	0,01	0,02

Fonte: Elaboração própria.

Os valores obtidos foram comparados com os respectivos LMT estabelecidos por legislações nacionais de segurança alimentar (Brasil, 2022b; Brasil, 2025). A Tabela 10 sintetiza os dados analíticos e facilita a avaliação da segurança alimentar do produto analisado.

Tabela 10 – Conformidade das concentrações de metais com os limites regulatórios em amostras de coco ralado.

Elemento	LMT (mg/kg)	Resultados relevantes	Situação
As	0,10	Todos os valores <LD (abaixo do limite de detecção)	Conforme o LMT
Cd	0,05	Detectado em C1, C3, C4 e C5. Maior valor: 0,015	Conforme o LMT
Pb	0,05	Todos os valores <LD	Conforme o LMT
Sn	50,0	Detectado em C1 (0,011) e C4 (0,078)	Muito abaixo do LMT
Cr	0,05	C2 (0,358) e C5 (0,436) > LMT	Acima do LMT
Mn	0,50	Todos os valores entre 11,7 e 22,7	Acima do LMT
Ni	0,02	Todos os valores entre 0,229 e 0,621	Acima do LMT

Fonte: Elaboração própria (2025)

A análise revelou que os elementos As e Pb não foram detectados em nenhuma das amostras, indicando concentrações abaixo do limite de detecção do método. Essa ausência é um dado positivo, visto que ambos os metais são altamente tóxicos e cumulativos no organismo humano, sendo classificados como carcinogênicos pela IARC (2012).

No caso do Cd, foi detectado em quatro das cinco amostras (exceto C2), com concentrações variando entre 0,007 e 0,015 mg/kg. Todos os valores estão abaixo do LMT de 0,05 mg/kg, sugerindo que, embora presente, o cádmio encontra-se em níveis aceitáveis segundo as normas vigentes. A presença desse metal pode ser atribuída a fatores como contaminação do solo, uso de fertilizantes fosfatados ou processos industriais.

Em contraste, os teores de Cr em duas amostras (C2 e C5) ultrapassaram significativamente o LMT de 0,05 mg/kg, atingindo 0,358 e 0,436 mg/kg, respectivamente. O cromo, dependendo da sua forma de oxidação (como Cr(VI)), pode ser altamente tóxico e carcinogênico (ATSDR, 2004). Embora o método ICP-OES não diferencie entre os estados de oxidação, a detecção de níveis elevados merece atenção, indicando possível contaminação ambiental, adulteração ou falhas nos processos de higienização e armazenamento.

As concentrações de Mn variaram de 11,7 a 22,7 mg/kg, valores consideravelmente acima do LMT de 0,50 mg/kg. O manganês é um micronutriente essencial, mas em altas concentrações pode causar efeitos neurotóxicos, especialmente em indivíduos expostos cronicamente (Magro *et al.*, 2025). Esses resultados sugerem a necessidade de reavaliação dos limites permitidos para esse metal, considerando seu papel nutricional, porém potencialmente tóxico em excesso.

O Ni também apresentou concentrações superiores ao LMT de 0,02 mg/kg em todas as amostras, variando de 0,229 a 0,621 mg/kg. A exposição prolongada ao níquel pode provocar reações alérgicas, efeitos imunotóxicos e, em casos mais graves, danos renais e pulmonares (Phillips *et al.*, 2010; Drenovska; Shahid; Vassileva, 2020). A presença expressiva desse

metal nas amostras analisadas pode estar relacionada ao contato com superfícies metálicas durante o processamento, equipamentos industriais ou mesmo contaminação ambiental.

Por fim, o Sn foi detectado apenas nas amostras C1 (0,011 mg/kg) e C4 (0,078 mg/kg), com valores muito abaixo do LMT de 50 mg/kg. O estanho é geralmente considerado de baixa toxicidade em formas inorgânicas segundo a OMS (WHO, 2004), sendo mais preocupantes suas formas organoestânicas, que não são alvo da presente análise.

De modo geral, os resultados demonstram níveis satisfatórios de arsênio, chumbo, cádmio e estanho, mas apontam valores preocupantes de cromo, manganês e níquel em diversas amostras. Essas concentrações acima dos limites tolerados podem comprometer a segurança alimentar do produto, especialmente se o consumo for frequente. Tais achados indicam a necessidade de maior fiscalização, rastreabilidade da cadeia produtiva e adequação dos processos industriais, a fim de evitar a contaminação por metais potencialmente tóxicos.

5.2.4 Estimativa de Risco

Para a estimativa da ingestão diária (EDI – *Estimated Daily Intake*) dos metais provenientes do consumo de água de coco industrializada, utilizou-se a equação 2, onde: C é o consumo médio diário de água de coco pela população brasileira, 0,002 L/dia (ABIR, 2021); FP é o fator de processamento da água de coco, adotado como 1, uma vez que este produto não passa por processos de concentração ou desidratação que alterem significativamente a concentração de contaminantes no produto final (Brasil, 2013); R é a concentração do metal detectada no alimento (mg/Kg ou mg/L), disponível na tabela 7; BW é o peso corporal médio da população adulta brasileira, correspondente a 66,1 kg, conforme dados da Pesquisa Nacional de Saúde – PNS (IBGE, 2019). Para a avaliação do risco associado à ingestão dos metais em água de coco, calculou-se o Quociente de Risco (QR), segundo a equação 1, onde a Dose de Referência (RfD) (mg/kg pc/dia) para os metais As, Cd, Pb, Sn, Cr, Mn e Ni, conforme estabelecido pelo *Integrated Risk Information System* (IRIS) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) (2025), é definida por: 0,00006; 0,0005; 0,0000001; Não disponível no IRIS; 0,0009; 0,14 e 0,02, respectivamente.

A Tabela 11 apresenta os valores do Quociente de Risco (QR) estimados para os elementos As, Cd, Pb, Sn, Cr, Mn e Ni em cinco amostras de água de coco industrializada (A1 a A5). O QR é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar o risco não carcinogênico associado à exposição oral a contaminantes químicos em alimentos e bebidas, sendo considerado seguro quando $QR < 1$, e indicando potencial risco à saúde quando $QR > 1$

(US EPA, 2025).

Tabela 11 - Parâmetros da estimativa de Risco (QR) determinado para amostras de água de coco industrializada.

Elemento	QR (A1)	QR (A2)	QR (A3)	QR (A4)	QR (A5)	Classificação do Risco
As	NC	NC	NC	NC	$2,52 \times 10^{-3}$	A1 – A4: Não Aplicável A5: Risco desprezível ($QR \ll 1$)
Cd	NC	NC	NC	NC	$4,24 \times 10^{-4}$	A1 – A4: Não Aplicável A5: Risco desprezível ($QR \ll 1$)
Pb	NC	NC	NC	NC	3,63	A1 – A4: Não Aplicável A5: Potencial risco à saúde ($QR > 1$)
Sn	NC	NC	NC	NC	NC	A1 – A5: Não Aplicável
Cr	$1,34 \times 10^{-4}$	$3,37 \times 10^{-5}$	NC	$1,68 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-4}$	A3: Não Aplicável A1, A2, A4 e A5: Risco desprezível ($QR \ll 1$)
Mn	$1,79 \times 10^{-4}$	$4,18 \times 10^{-4}$	$4,42 \times 10^{-4}$	$4,61 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-4}$	A1 – A5: Risco desprezível ($QR \ll 1$)
Ni	$2,73 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-5}$	$4,54 \times 10^{-6}$	$5,75 \times 10^{-5}$	NC	A5: Não Aplicável A1 – A4: Risco desprezível ($QR \ll 1$)

NA: Não Aplicável

NC: Não Calculado

Fonte: Elaboração própria (2025)

As concentrações de arsênio e cádmio foram detectáveis apenas na amostra A5, resultando em QR de $2,52 \times 10^{-3}$ para o arsênio e $4,24 \times 10^{-4}$ para o cádmio. Ambos os valores são significativamente inferiores a 1, caracterizando um risco desprezível à saúde humana. Nas amostras A1 a A4, as concentrações estavam abaixo do limite de detecção ou quantificação, motivo pelo qual os cálculos não foram aplicados (NC).

No caso do estanho (Sn), nenhuma das amostras apresentou resultados que permitissem a estimativa do QR, devido à ausência de uma dose de referência (RfD) específica para o estanho inorgânico no banco de dados do IRIS/US EPA. A RfD existente refere-se ao óxido de tributilestanho (organometálico), o que inviabiliza sua aplicação direta nesta análise.

A amostra A5 apresentou um QR de 3,63 para o chumbo, excedendo o valor de referência ($QR > 1$) e indicando potencial risco à saúde. O chumbo é um metal tóxico, acumulativo, e seus efeitos adversos estão amplamente documentados, especialmente em sistemas neurológicos e hematopoiéticos, sendo mais severos em populações vulneráveis, como crianças e gestantes (WHO, 2024). As demais amostras (A1 a A4) não apresentaram níveis mensuráveis para este elemento.

Os valores de QR para cromo total variaram entre $3,37 \times 10^{-5}$ e $1,68 \times 10^{-4}$ nas amostras A1, A2, A4 e A5. Esses valores estão amplamente abaixo do limite de referência, indicando risco desprezível à saúde. Foi adotada uma abordagem conservadora na avaliação, assumindo que todo o cromo presente está na forma hexavalente (Cr(VI)), a mais tóxica,

conforme recomendação do IRIS/US EPA. A amostra A3 não apresentou detecção, sendo classificada como NC.

O manganês foi quantificado em todas as amostras, com valores de QR entre $1,39 \times 10^{-4}$ e $4,61 \times 10^{-4}$, caracterizando risco desprezível ($QR \ll 1$). Embora o manganês seja um micronutriente essencial, sua ingestão em excesso pode causar efeitos neurotóxicos. Entretanto, os níveis observados não configuram risco com base nos parâmetros adotados.

Quanto ao níquel, as amostras A1 a A4 apresentaram valores de QR entre $4,54 \times 10^{-6}$ e $5,75 \times 10^{-5}$, valores que também indicam risco desprezível. A amostra A5 foi classificada como NC por não apresentar concentração detectável. Embora o níquel possa provocar reações alérgicas e efeitos sistêmicos em exposições prolongadas, os níveis encontrados neste estudo estão muito abaixo do nível de preocupação toxicológica.

Os resultados da estimativa de risco (QR) para os metais analisados na água de coco industrializada indicam, em sua maioria, valores significativamente inferiores a 1, o que sugere que o consumo médio diário do produto não representa risco à saúde da população adulta brasileira. Esses dados estão alinhados com evidências presentes na literatura, que indicam que os níveis de metais tóxicos em alimentos e bebidas industrializadas tendem a permanecer dentro dos limites de segurança quando os processos de fabricação seguem padrões rigorosos de controle de qualidade (Scutarașu; Trincă, 2023).

O caso do chumbo (Pb) na amostra A5, que apresentou QR acima de 1, chama atenção para a necessidade de monitoramento constante, pois o Pb é um metal pesado de alta toxicidade acumulativa. Diversos estudos demonstram que a contaminação por Pb em alimentos e bebidas pode ocorrer via contaminação ambiental ou por equipamentos de processamento inadequados (Aboni Afrose, 2018; Pillay *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2024; Ahmad *et al.*, 2024). Assim, o achado reforça a importância de um controle rigoroso da cadeia produtiva da água de coco.

Quanto ao cromo (Cr), mesmo adotando uma postura conservadora ao considerar toda a fração detectada como hexavalente (Cr(VI)), a forma mais tóxica, os níveis detectados não indicam risco significativo. Isso corrobora com a literatura, que destaca que o Cr em bebidas naturais, quando presente, geralmente ocorre em baixas concentrações e em sua forma trivalente (Cr(III)), menos tóxica e essencial em pequenas quantidades para o metabolismo humano (García *et al.*, 1999; Zhitkovich, 2011).

Os níveis de manganês (Mn) e níquel (Ni) também foram encontrados em concentrações que resultam em QR muito inferiores a 1. O Mn, apesar de ser um nutriente essencial, pode apresentar toxicidade em doses elevadas (Peres *et al.*, 2016). Entretanto, a

ingestão estimada pela água de coco está dentro dos parâmetros seguros. Para o Ni, que pode causar reações alérgicas e problemas respiratórios em exposições prolongadas, as concentrações encontradas são consideradas seguras (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR, 2024*).

Por fim, a ausência de dados para o estanho (Sn) devido à falta de parâmetros toxicológicos específicos destaca a necessidade de investigações futuras que possam definir limites de referência para este metal em alimentos e bebidas industrializadas, especialmente considerando o aumento do uso de materiais metálicos em embalagens.

Em relação ao coco ralado, embora não existam recomendações específicas de consumo diário do produto estabelecidas por órgãos de saúde pública, como a ANVISA ou a OMS, é possível estimar um valor aproximado com base em dados de consumo nacional. De acordo com a base de dados da *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database – FAOSTAT* (conforme citado por Helgi Library, 2025), o consumo médio de coco no Brasil foi de 10,1 kg per capita em 2021. Considerando-se o rendimento do coco seco na produção de coco ralado integral — estimado em aproximadamente 125 gramas por unidade — e levando-se em conta sua posterior utilização na elaboração do coco ralado desidratado, conforme informações da Associação dos Produtores de Coco do Brasil (APROCOCO Brasil, 2025), é possível estimar um consumo diário de aproximadamente 44 gramas (0,044 kg) de coco ralado industrializado por pessoa.

A estimativa da ingestão diária dos metais oriundos do consumo de coco ralado industrializado foi realizada com base na equação 2, adotando-se os mesmos pressupostos metodológicos aplicados à análise da água de coco. As únicas adaptações referem-se ao valor do consumo médio diário (C), fixado em 0,044 kg/dia, conforme previamente estabelecido, e às concentrações dos metais nas amostras (R), apresentadas na Tabela 9. Para a determinação do Quociente de Risco (QR), mantiveram-se os valores de Dose de Referência (RfD) definidos pelo *Integrated Risk Information System (IRIS)* da US EPA (2025), considerando que os limites toxicológicos dos elementos avaliados não variam em função da matriz alimentar. A Tabela 12 apresenta os valores do QR estimados para os elementos As, Cd, Pb, Sn, Cr, Mn e Ni em cinco amostras de coco ralado industrializada (C1 a C5).

Tabela 12 - Parâmetros da estimativa de Risco (HQ) determinado para amostras de coco ralado industrializado.

Elemento	QR (C1)	QR (C2)	QR (C3)	QR (C4)	QR (C5)	Classificação do Risco
----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------------------

As	NC	NC	NC	NC	NC	C1 – C5: Não Aplicável
Cd	$2,00 \times 10^{-2}$	NC	$1,46 \times 10^{-2}$	$9,30 \times 10^{-3}$	$1,86 \times 10^{-2}$	C2: Não Aplicável C1, C3, C4 e C5: Risco desprezível (QR << 1)
Pb	NC	NC	NC	NC	NC	C1 – C5: Não Aplicável
Sn	NC	NC	NC	NC	NC	C1 – C5: Não Aplicável
Cr	$7,02 \times 10^{-2}$	$2,64 \times 10^{-1}$	$2,51 \times 10^{-2}$	$7,48 \times 10^{-2}$	$3,22 \times 10^{-1}$	C1 – C5: Risco desprezível (QR << 1)
Mn	$5,57 \times 10^{-2}$	$1,08 \times 10^{-1}$	$6,81 \times 10^{-2}$	$5,61 \times 10^{-2}$	$7,14 \times 10^{-2}$	C1 – C5: Risco desprezível (QR << 1)
Ni	$1,50 \times 10^{-2}$	$7,60 \times 10^{-3}$	$2,07 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-2}$	C1 – C5: Risco desprezível (QR << 1)

NA: Não Aplicável

NC: Não Calculado

Fonte: Elaboração própria (2025)

Observa-se que os valores do QR calculados para cádmio (Cd), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni) nas amostras de coco ralado industrializado foram significativamente inferiores a 1, indicando um risco potencial à saúde considerado desprezível. No entanto, a ausência de dados analíticos para arsênio (As), chumbo (Pb) e estanho (Sn) representa uma limitação importante, dificultando a avaliação completa da exposição a metais potencialmente tóxicos por meio do consumo deste alimento.

Esses resultados contrastam parcialmente com os dados apresentados por Warsakoon (2010), que avaliou diversos produtos derivados do coco no Sri Lanka, como polpa fresca, leite e creme de coco, e não detectou concentrações mensuráveis de metais tóxicos como chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e alumínio (Al), todos abaixo dos limites estabelecidos por organismos internacionais de regulação, como a FAO/WHO e o Codex Alimentarius. A detecção dos metais nas amostras brasileiras, ainda que em níveis baixos e não preocupantes do ponto de vista toxicológico, pode refletir variações geográficas, práticas agrícolas regionais ou diferenças nos processos industriais de beneficiamento.

Além disso, o estudo conduzido por Zhang e Rui (2013), na China, utilizando espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), identificou elevadas concentrações de metais como titânio (Ti), arsênio (As), selênio (Se), molibdênio (Mo), chumbo (Pb), bem como dos mesmos elementos detectados neste trabalho (Cd, Cr e Mn), em amostras de polpa de coco. Os teores encontrados excederam os padrões nacionais de segurança alimentar chineses, sugerindo possível risco à saúde dos consumidores. A discrepância entre os estudos pode ser atribuída a diferenças na matriz alimentar (coco fresco *versus* coco ralado industrializado), nas condições ambientais, nos métodos de cultivo e nas tecnologias de processamento utilizadas. Tais diferenças reforçam a importância do monitoramento sistemático de metais pesados em produtos de coco comercializados no Brasil, com o objetivo de garantir a qualidade e segurança alimentar da população consumidora.

Embora os valores de QR para a maioria dos metais analisados em coco ralado

industrializado indiquem um risco desprezível, é fundamental continuar o monitoramento e a análise de contaminantes alimentares. A ausência de dados para alguns metais destaca a necessidade de pesquisas adicionais para avaliar completamente os riscos à saúde pública. Além disso, a implementação de práticas de controle de qualidade e regulamentações mais rigorosas pode contribuir para a redução da exposição a metais pesados através do consumo de alimentos processados.

Em resumo, os resultados evidenciam a segurança do consumo médio da água de coco e do coco ralado industrializados, desde que se mantenham controles rigorosos, porém a presença detectada de chumbo em uma amostra de água de coco alerta para potenciais riscos e reforça a necessidade de monitoramento contínuo e controle ambiental durante a produção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou a presença de agrotóxicos e metais tóxicos em amostras de água de coco e coco ralado industrializados comercializados no Ceará, utilizando técnicas analíticas avançadas como Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS) e Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Os resultados indicaram ausência de resíduos de pesticidas quantificáveis nas amostras analisadas, sugerindo que, nas condições de comercialização e processamento avaliadas, esses produtos não apresentam risco significativo de contaminação por agrotóxicos. No entanto, a detecção de concentrações elevadas de manganês (Mn) (em todas as amostras) e níquel (Ni) (em uma amostra) em água de coco, ultrapassando os limites máximos tolerados estabelecidos pela ANVISA, destaca a necessidade de atenção quanto à presença de metais pesados nesses produtos. Além disso, a análise de coco ralado revelou níveis de cromo (Cr) superiores ao limite permitido, apontando para possíveis falhas nos processos de higienização ou contaminação ambiental.

As contribuições deste estudo são relevantes para a segurança alimentar, pois fornecem dados atualizados sobre a qualidade de produtos derivados do coco comercializados no Ceará, uma região de significativa produção e consumo desse alimento. Os dados podem subsidiar políticas públicas de fiscalização e controle de qualidade, além de orientar práticas industriais que visem à redução da contaminação por metais pesados.

Entretanto, a pesquisa apresenta limitações, como a amostragem restrita a uma região específica e a ausência de dados regulatórios sobre outros contaminantes potenciais, como arsênio (As) e estanho (Sn), devido à falta de parâmetros toxicológicos estabelecidos. Além

disso, a análise de risco foi baseada em estimativas de consumo que podem não refletir com precisão os hábitos alimentares da população.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da amostragem para outras regiões do Brasil, a inclusão de análises para outros metais pesados e contaminantes orgânicos, bem como a realização de estudos toxicológicos mais aprofundados que considerem a biodisponibilidade e os efeitos cumulativos desses contaminantes na saúde humana.

Em síntese, os resultados desta pesquisa reforçam a segurança do consumo médio de água de coco e coco ralado industrializados disponíveis no mercado cearense, destacando a eficácia das práticas de controle adotadas pela indústria. Ao mesmo tempo, os resultados alertam para a importância do monitoramento contínuo, reafirmando que a garantia da qualidade e inocuidade dos alimentos depende de uma vigilância ativa e baseada em evidências científicas.

REFERÊNCIAS

- ABONI AFROSE, M. I. A. R. Assessment of heavy metal concentration in coconut water. **Recent research in science and technology**, [S. l.], v. 10, p. 07–10, 2018. Disponível em: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/3370>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resíduos de agrotóxicos em alimentos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 361-363, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/zVWhTXhNM5CpMk8PpyR8bCs/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Interaction profile for arsenic, cadmium, chromium, and lead**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2004. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/interaction-profiles/media/pdfs/ip04-a.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for nickel**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2024. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=245&tid=44>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- AHMAD, M. et al. Occurrence of heavy metal in green coconut water and surface seawater of the sea beach areas of Bangladesh. **Health Dynamics**, v. 1, n. 1, p. 03–10, 2024.
- ALMEIDA, R. S. et al. A Indispensabilidade do Aproveitamento do Coco na Agroindústria. **Revista Brasileira de Filosofia e História**, v. 12, n. 2, p. 1063-1074, 2023.
- ANASTASSIADES, M. et al. Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. **Journal of AOAC International**, v. 86, n. 2, p. 412–431, 2003.
- ANJOS, J. P. **Desenvolvimento e aplicação de método multirresíduo por SDME/GC-MS para a determinação de 19 pesticidas em amostras de água de coco e vinho branco**. 2014. 82 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E DE BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS (ABIR). **Água de coco**. 2021. Disponível em: <https://abir.org.br/o-setor/dados/agua-de-coco/>. Acesso em: 24 fev. 2025.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE COCO (APROCOCO Brasil). **Coco ralado**. 2025. Disponível em: <https://aprococobrasil.org.br/coco-e-cultura/derivados/coco-ralado/>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- BALLESTE, V. M.; MANTELLI, J. Presença de resíduos de agrotóxicos nos alimentos: um

enfoque no pimentão e pepino. **Revista Geografia em Atos** – UNESP, Presidente Prudente, v. 2, n. 17, p. 44–63, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Contaminantes em alimentos.**

Brasília: ANVISA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/contaminantes>. Acesso em: 25 jan. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022.** Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 4 jul. 2022a. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/07/2022&jornal=515&pagina=227&totalArquivos=280>. Acesso em: 16 abr. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 351, de 20 de março de 2025.** Altera a Instrução Normativa nº 160/2022 que estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 21 mar. 2025. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=20/03/2025&jornal=515&pagina=138>. Acesso em: 16 abr. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Monografias autorizadas por letra – agrotóxicos.** Brasília, DF: ANVISA, [2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas-por-letra>. Acesso em: 18 abr. 2025. [2022]b.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Monografias excluídas por letra – agrotóxicos.** Brasília, DF: ANVISA, [2023]a. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-excluidas-por-letra>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 8, de 6 de março de 2013.** Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 mar. 2013. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0008_06_03_2013.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20aprova%C3%A7%C3%A3o%20de,III%20e%20IV%2C%20do%20art. Acesso em: 28 abr. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 84, de 15 de setembro de 2000.** Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Coco Ralado. [S. l.]: Saúde Legis, 2000. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0084_15_09_2000.html. Acesso em: 3 fev. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 166, de 24 de julho de 2017.** Dispõe sobre a validação de métodos analíticos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 jul. 2017. Seção 1, p. 87. Disponível em:

https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&cod_menu=8542&cod_modulo=310&desItem=&desItemFim=&nomeTitulo=codigos&numeroAto=000

00166&orgao=RDC%2FDC%2FANVISA%2FMS&seqAto=000&tipo=RDC&valorAno=2017. Acesso em: 22 jan. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 722, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os limites máximos de contaminantes químicos em alimentos. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 04 jul. 2022.

Disponível em:

https://anvisa.gov.br/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=RDC&numeroAto=00000722&seqAto=002&valorAno=2022&orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true. Acesso em: 14 fev. 2025. 2022c.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. **Vem conhecer a cocoicultura, uma das atividades mais cultivadas nos perímetros do DNOCS**, 2023.

Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/vem-conhecer-a-cocoicultura-uma-das-atividades-mais-cultivadas-nos-perimetros-do-dnocs?>. Acesso em: 24 fev. 2025. 2023b.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/avaliacao-e-destinacao/quimicos-e-biologicos/avaliacao-ambiental-para-registro-de-agrotoxicos-seus-componentes-e-afins-de-uso-agricola>. Acesso em: 12 out. 2023. 2023c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Consulta LMR - Painel de Consulta de Limites Máximos de Resíduos (LMR)**, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/painel-consulta-lmr>. Acesso em: 7 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Governo Federal institui a Política de Incentivo à cocoicultura de qualidade**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-institui-a-politica-de-incentivo-a-cocoicultura-de-qualidade>. Acesso em: 24 fev. 2025. 2024b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 9, de 30 de janeiro de 2020. Diário Oficial da União: seção 1**, [Brasília], n. 22, p. 38, 31 jan. 2020a. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=31/01/2020&jornal=515&pagina=38>. Acesso em: 20 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Legislação**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao>. Acesso em: 7 fev. 2025. 2023d.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Mapa faz estudos para normatização de derivados de coco**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministra-diz-que-estao-sendo-feitos-estudos-para-normatizacao-de-derivados-de-coco>. Acesso em: 20 ago. 2024. 2022d.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Mapa lança**

Anuário das Bebidas Não Alcoólicas 2024, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-lanca-anuario-das-bebidas-nao-alcoolicas-2024>. Acesso em: 24 fev. 2025. 2024c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários – AGROFIT**. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 12 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA)**. Brasília, 2020. 2020b.

BUSTILLOS, O. V. A cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas - GC/MS. **Revista Analytica**, v.18, n. 105, p. 28-30, 2020. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/63165073/revista-analytica-ed-105>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CÁMARA, M. A. et al. Removal residues of pesticides in apricot, peach and orange processed and dietary exposure assessment. **Food Chemistry**, v. 325, p. 1-7, 2020.

CATALÁN, A. B. M. **Poca gente sabe cuál es el mejor momento para beber agua de coco**. 2024. Disponível em: <https://www.huffingtonpost.es/sociedad/poca-gente-cual-mejor-momento-beber-agua-coco.html?>. Acesso em: 24 fev. 2025.

CAVALIERE, M. J. et al. Miotoxicidade por organofosforados. **Revista de Saúde Pública**, v. 30, n. 3, p. 267–272, 1996.

CHAVES, L. S. et al. Biossorção de íons de chumbo pelo pó da casca do coco verde. In: **Anais do 57º Congresso Brasileiro de Química**, 2017. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/5/10952-24501.html>. Acesso em: 28 jan. 2025

CLEVELAND CLINIC. The health benefits of coconut water. **Health**, 2021. Disponível em: <https://health.clevelandclinic.org/the-health-benefits-of-coconut-water/>. Acesso em: 20 out. 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) nº 2015/868, de 28 de maio de 2015, que altera o Regulamento (CE) nº 396/2005 do Parlamento Europeu e do Conselho, no que se refere aos limites máximos de resíduos de certos pesticidas em ou sobre certos produtos alimentares e rações. **Jornal Oficial da União Europeia**, L 141, p. 1–16, 29 maio 2015. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32015R0868>. Acesso em: 26 jan. 2025.

COMISSÃO EUROPEIA. **SANTE/11312/2021 versão 2: Procedimentos de controle de qualidade analítico e validação de métodos para análise de resíduos de pesticidas em alimentos e rações**. Bruxelas: Comissão Europeia, 2023. Disponível em: https://ec.europa.eu/food/system/files/2023-11/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2021-11312_v2.pdf. Acesso em: 22 jan. 2025.

CUNHA FILHO, F. F. et al. Metais pesados em amostras de água de irrigação da maior

região produtora de hortaliças folhosas de Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 10, n. 10, p. 109908, 2014.

DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (Cocos nucifera L.: Arecaceae): in health promotion and disease prevention. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 4, n. 3, p. 241–247, 2011.

DEME, P.; AZMEERA, T.; KANJILAL, S.; JONNALAGADDA, P.; UPADHYAYULA, V. S. LC-MS/MS determination of organophosphorus pesticide residues in coconut water. **Food Analytical Methods**, p. 1-8, 2012.

DOS SANTOS, M. T.; PONTES, M. A. N.; DE MORAIS, M. F. S. **Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de massas (CG-EM) e suas diversas aplicações**. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2016/TRABALHO_EV055_MD4_SA3_ID361_26052016180556.pdf. Acesso em: 19 ago. 2024.

DOUVIRIS, C. et al. How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape. **The Science of the Total Environment**, v. 905, n. 167242, p. 167242, 2023.

DRENOVSKA, K.; SHAHID, M.; VASSILEVA, S. Nickel and skin: From allergy to autoimmunity. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets**, v. 20, n. 7, p. 1032–1040, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **A cultura do coqueiro**. 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052944/1/A-Cultura-do-Coqueiro-1.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Água de coco: Métodos de Conservação**. 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/422074/1/Dc037.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Coco: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Lafayette Franco Sobral, editor técnico. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192950/1/500-PERGUNTAS-Coco-ed-01-2018.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Estatística da produção – Portal Embrapa**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pre-producao/importancia-socioeconomica/estatistica-da-producao>. Acesso em: 12 out. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Produção integrada de coco: normas técnicas específicas e documentos de acompanhamento**. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/371849/producao-integrada-de-coco-normas-tecnicas-especificas-e->

documentos-de-acompanhamento. Acesso em: 20 ago. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Editores: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE (ETENE); BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (BNB). **Coco: produção e mercado**. Fortaleza: Caderno Setorial ETENE, 2021. 13 p. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/1043/1/2021_CDS_206.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

FAMUREWA, A. C. et al. Comparative assessment of different coconut oils: Chromatographic and spectrometric analyses of pesticide residues, toxic heavy metals, and associated contents. **Measurement: Food**, v. 10, n. 100082, p. 100082, 2023.

FERNANDES, T. S. M. **Uso das técnicas QUECHERS e CG-EM na gestão ambiental para monitoramento de resíduos de agrotóxicos organofosforados em pimentão**. 2018. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/36081>. Acesso em: 7 fev. 2025.

FERREIRA, J. A. et al. Determination of pesticides in coconut (*Cocos nucifera* Linn.) water and pulp using modified QuEChERS and LC–MS/MS. **Food chemistry**, v. 213, p. 616–624, 2016.

FERREIRA, J. A.; QUEIROZ, S. C. N. Multiresidue method for determination of pesticides in coconut (*Cocos nucifera* Linn.) endosperm by using GC–MS/MS and UHPLC–MS/MS analysis. **Journal of food composition and analysis: an official publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 97, n. 103764, p. 103764, 2021.

FONSECA, A. M. et al. Constituents and antioxidant activity of two varieties of coconut water (*Cocos nucifera* L.). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Rio de Janeiro, v.19, n. 1B, p. 193-198, jan./mar. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Guia para a classificação de riscos à segurança alimentar no nível nacional**. Roma: FAO, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb0887en>. Acesso em: 25 jan. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Codex Alimentarius: General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed – CXS 193-1995**. Roma: FAO; WHO, 1995. Atualizado em 2023. Disponível em: https://fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcode%252Fstandards%252FCXS%252B193-1995%252FCXS_193e.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.

FAO; WHO. **Codex Alimentarius: Pesticide Index**. Roma: FAO/WHO, [S.d.]. Disponível

em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticides/en/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FAO; WHO. **Princípios e métodos para a avaliação de risco de substâncias químicas em alimentos**. Roma: FAO; WHO, 2009. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241572408>. Acesso em: 25 jan. 2025.

FRIEDRICH, K. et al. Situação regulatória internacional de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil: potencial de danos sobre a saúde e impactos ambientais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 4, 2021.

FROEHLICH, Â. Água de coco: Aspectos nutricionais, microbiológicos e de conservação. **Revista Saúde e Pesquisa**, [S. l.], v. 8, p. 175–181, 2015.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde**. Rio de Janeiro, RJ: INCQS/FIOCRUZ, 2022. Disponível em: https://www.incqs.fiocruz.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2589:agrototoxicos-seus-residuos-nos-alimentos-e-o-controle-da-qualidade-feito-pelo-incqs-fiocruz-2&catid=42&Itemid=132. Acesso em: 25 out. 2022.

GARCÍA, E. M. et al. Chromium levels in potable water, fruit juices and soft drinks: influence on dietary intake. **The Science of the total environment**, v. 241, n. 1–3, p. 143–150, 1999.

GEDANKEN. **Registro de produção ou venda de agrotóxicos: o que você precisa saber**. 2024. Disponível em: <https://www.gedanken.com.br/conteudo/registro-de-producao-venda-agrotoxico/>. Acesso em: 16 jan. 2025.

GOMES, H. O. et al. Evaluating the presence of pesticides in bananas: An integrative review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 189, p. 1–6, 2020.

GONZALEZ, K. R. Toxicologia do Níquel. **Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 30-54, jun. 2016.

HANAFIAH, S. F. M. et al. Efficiency of coconut husk as agricultural adsorbent in removal of chromium and nickel ions from aqueous solution. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 596, p. 012048, 2020.

HELGI Library. **Coconut consumption per capita in Brazil**. 2025. Disponível em: <https://www.helgilibrary.com/indicators/coconut-consumption-per-capita/brazil/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

HUANG, H. et al. Exposure sources, intake pathways and accumulation of lead in human blood. **Soil Security**, v. 15, n. 100150, p. 100150, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR (Idec). **Tem veneno nesse pacote: volume 1**. São Paulo: Idec, 2021. Disponível em: <https://idec.org.br/ferramenta/ferramenta-tem-veneno-nesse-pacote>. Acesso em: 22 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saúde 2019: Atenção Primária à Saúde e Informações Antropométricas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://loja.ibge.gov.br/pesquisa-nacional-de-saude-2019-atenc-o-primaria-a-saude-e-informacoes-antropometricas.html>. Acesso em: 26 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agropecuária**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>. Acesso em: 24 fev. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans: Nickel and Nickel Compounds**. Lyon: WHO/IARC, 1990. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Chromium-Nickel-And-Welding-1990>. Acesso em: 16 abr. 2025.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts: IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2009: Lyon, France)**. Lyon: IARC, 2012. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 100C). Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JOHNSON, L. E. **Toxicidade do manganês**. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/dist%C3%BArbios-nutricionais/defici%C3%A2ncia-e-toxicidade-minerais/toxicidade-do-mangan%C3%AAs>. Acesso em: 16 abr. 2025.

JONNALAGADDA, P. R. et al. Assessment of chemical contaminants in fresh and packaged tender coconut (Cocos nucifera) water. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 40, n. 2, p. 154–162, 2022.

KAPEPA, M. Perfil de contaminação das águas e peixes por metais pesados e suas consequências para a saúde humana: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciências Biomédicas**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 16, 2020.

KUMAR, A. et al. Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 7, p. 2179, 2020.

LIMA, A. A.; SILVA, R. A. Análise microbiológica de água de coco comercializadas em garrafas plásticas dentro do Distrito Federal. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 13703–13726, 2019.

LIMA JÚNIOR, E. C. DE; SOUZA, R. C. DE A. repercussões do uso do agrotóxico sistêmico na cultura irrigada do coco no polo Juazeiro/ Petrolina. **RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 1, n. 39, p. 320, 2015.

- LOPES, C. V. A., ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518– 534, 2018.
- LOUZADA, M. L. DA C. et al. Ultra-processed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 49, n. 0, 2015.
- MAGRO, G. et al. Manganese neurotoxicity: A comprehensive review of pathophysiology and inherited and acquired disorders. **Journal of xenobiotics**, v. 15, n. 2, 2025.
- MAKONNEN, Y.; BEAUCHEMIN, D. The inductively coupled plasma as a source for optical emission spectrometry and mass spectrometry. In: **Sample Introduction Systems in ICPMS and ICPOES**. [S.l.] Elsevier, 2020. p. 1–55.
- MEDEIROS, J.; ACAYABA, R.; MONTAGNER, C. A QUÍMICA NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO À SAÚDE HUMANA DIANTE DA EXPOSIÇÃO AOS PESTICIDAS. **Química nova**, 2021.
- MILHOME, M. A. L. et al. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.14, n.3, p. 363-372, jul./set. 2009.
- MONTEIRO, C.A. et al. **Ultra-processed foods, diet quality, and health using the NOVA classification system**. Roma: FAO, 2019.
- MORAIS, R. F. **Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019. Disponível em: http://www.aenda.org.br/wp-content/uploads/2020/09/cir1060-anexo-ipea_politica-de-agrotoxicos-no-brasil.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.
- NEVES, R. D. **Análise da comercialização do coco verde no estado do Ceará**. 2018. 44 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- PAIXÃO, L. B. et al. Assessment of cadmium and lead in commercial coconut water and industrialized coconut milk employing HR-CS GF AAS. **Food chemistry**, v. 284, p. 259–263, 2019.
- PERES, T. V. et al. Manganese-induced neurotoxicity: a review of its behavioral consequences and neuroprotective strategies. **BMC Pharmacology and Toxicology**, v. 17, n. 1, p. 57, 2016.
- PESTICIDE ACTION NETWORK (PAN) INTERNATIONAL. **PAN International consolidated list of banned pesticides**. [S.l.]: PAN, 2024. Disponível em: <https://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides/>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- PEZZINI, T. R. et al. Epidemiologia da intoxicação por carbamato no Brasil no período de 2010 a 2020. **Revista Brasileira de Medicina de Emergência**, v. 3, n. 1, 2023.

- PHILLIPS, J. I. et al. Pulmonary and systemic toxicity following exposure to nickel nanoparticles. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 53, n. 8, p. 763–767, 2010.
- PILLAY, V. V. et al. Detection and estimation of arsenic and lead in coconut water-A Kerala study. **Indian journal of forensic medicine and toxicology**, v. 13, n. 1, p. 19, 2019.
- PIRES, M. DE M. et al. A cultura do coco: uma análise econômica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 173–176, 2004.
- PRADO DE OLIVEIRA, M. et al. Pesticides in different environmental compartments in Brazil: a review. **Ciência e Natura**, v. 45, p. e2, 2023.
- PSZCZOLINSKA, K; SHAKEEL, N; BARCHANSKA, H. A simple approach for pesticide residues determination in green vegetables based on QuEChERS and gas chromatography tandem mass spectrometry. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, p. 1 – 9, 2022.
- QUEIROZ, H. M. et al. Manganese: The overlooked contaminant in the world largest mine tailings dam collapse. **Environment international**, v. 146, n. 106284, p. 106284, 2021.
- REICHERT, B. et al. Validation and application of micro flow liquid chromatography–tandem mass spectrometry for the determination of pesticide residues in fruit jams. **Talanta**, v. 134, p. 415–424, 2015.
- ROCHA, J. S. et al. Bioacumulação de metais pesados em peixes: impactos sobre a saúde humana e meio ambiente. **Ciência Animal**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 40–43, 2023.
- ROCHA, K. D. C.; FERREIRA, M. S.; GARCIA, C. E. R. Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera* L.): uma revisão / Production and products based on coconut (*Cocos nucifera* L.): a review. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 41476–41491, 2022.
- ROSA, T. R.; RODRIGUES, J. G. A.; FERREIRA, R. DE Q. Use of experimental planning for optimization of a procedure for simultaneous voltammetric determination of metals Zn, Cd, Pb and Cu free in coconut water. **Quimica nova**, 2016.
- SANTANA, I.; SILVA, T. T. DA; MULDER, A. P. Coqueiro (*Cocos nucifera* L.) e produtos alimentícios derivados: uma revisão sobre aspectos de produção, tecnológicos e nutricionais. In: **Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2**. [S.l.] Editora Científica Digital, 2020. p. 80–101.
- SCUTARAȘU, E. C.; TRINĂ, L. C. Heavy metals in foods and beverages: Global situation, health risks and reduction methods. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 18, 2023.
- SILVA, M. G. D. et al. Simultaneous determination of eight pesticide residues in coconut using MSPD and GC/MS. **Talanta**, v. 76, n. 3, p. 680–684, 2008.
- SOUSA, F. W. et al. Uso da casca de coco verde como adsorbente na remoção de metais tóxicos. **Quimica nova**, v. 30, n. 5, p. 1153–1157, 2007.

SOUSA, J. DOS S. et al. Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 322–331, 2021.

SOUSA, R. A. DE; BACCAN, N.; CADORE, S. Determination of metals in Brazilian coconut water using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 3b, 2005.

SOUSA, R. A. DE et al. Classificação de água de coco processada e natural por meio de HCA, PCA e teores de íons metálicos determinados por ICP OES. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 654–656, 2006.

SOUZA, A. M.; CASARTELLI, E. Fibra de coco verde para remoção de cádmio em águas contaminadas. **Anais do 48º Congresso Brasileiro de Química**, 2008. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/5/5-79-4497.htm>. Acesso em: 28 jan. 2025.

STONER, H. T. V.; GODEBO, T. R.; TAYLOR, P. K. Health risk assessment of heavy metal(loid)s intake from beverages in the United States. **Journal of food composition and analysis: an official publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, n. 107632, p. 107632, 2025.

TALARI, K. et al. Quantitative determination of targeted and untargeted pesticide residues in coconut milk by liquid chromatography – Atmospheric pressure chemical ionization – high energy collisional dissociation tandem high-resolution mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1659, n. 462649, p. 462649, 2021.

TAVARES, M. M. et al. Multiresíduos de pesticidas em água de coco por UPLC-ESI-MS/MS. In: **ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 19.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE QUÍMICA ANALÍTICA, 7.**, 2018, Caldas Novas, GO. Inovação para a química analítica sustentável: livro de resumos... Caldas Novas: SBQ: UFG: UnB, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1103502>. Acesso em: 22 abr. 2025.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Integrated Risk Information System – IRIS. 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/iris>. Acesso em: 26 abr. 2025.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Method 3052: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. In: EPA. **Test methods for evaluating solid wastes: physical/chemical methods**, SW-846, 3. ed. Washington, D.C., 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based>. Acesso em: 30 jan. 2025.

WARSAKOON W.M.M.P.D.K. Preliminary study on heavy metals in coconut and coconut products. **CORD**, v. 26, n. 1, p. 7, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Inorganic tin in drinking-water: background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water**

Quality. Geneva: World Health Organization, 2004. Disponível em: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/inorganic-tin-bd.pdf?sfvrsn=510b69c_4. Acesso em: 18 abr. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Lead poisoning and health**. Geneva: World Health Organization, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>. Acesso em: 26 abr. 2025.

ZEVO, A. S.; MACHALELA, A. A.; NANELO, R. F. **Produção e caracterização físico-química e sensorial de leite condensado elaborado à base de leite de Cocos nucifera (coco)**. 2023. Tese (Doutorado) - ISPG.

ZHANG, J. et al. A 90-day rodent feeding study with grain for genetically modified maize L4 conferring insect resistance and glyphosate tolerance. **Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 176, n. 113733, p. 113733, 2023.

ZHANG, Y.; RUI, Y. Determination of trace elements and heavy metals in coconut meat simultaneously by ICP-MS. **Asian journal of chemistry**, v. 25, n. 8, p. 5105–5106, 2013.

ZHITKOVICH, A. Chromium in drinking water: sources, metabolism, and cancer risks. **Chemical research in toxicology**, v. 24, n. 10, p. 1617–1629, 2011.