

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E DESENVOLVIMENTO NA
REGIÃO CENTRO-OESTE**

Ana Claudia Rocha Geronimo

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL RISCO À SAÚDE DE CRIANÇAS DEVIDO À
INGESTÃO DE MACRO E MICROELEMENTOS EM FARINÁCEOS**

CAMPO GRANDE

2026

Ana Cláudia Rocha Gerônimo

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL RISCO À SAÚDE DE CRIANÇAS DEVIDO À
INGESTÃO DE MACRO E MICROELEMENTOS EM FARINÁCEOS**

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

CAMPO GRANDE

2026

Ana Cláudia Rocha Gerônimo

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL RISCO A SAÚDE DE CRIANÇAS DEVIDO A
INGESTÃO DE MACRO E MICROELEMENTOS EM FARINÁCEOS**

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

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Valter Aragão do Nascimento - FAMED/UFMS

Prof^a. Dra. Rita de Cassia Avellaneda Guimaraes - FACFAN/UFMS

Prof. Dr. Diego Azevedo Zoccal Garcia - FAMED/UFMS

Prof^a. Dra. Rosangela dos Santos Ferreira - FAMED/UFMS

Prof^a. Dra. Ana Carla Gomes Rosa - Faculdade NOVOESTE, Campo Grande - MS

Dedico este trabalho a toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pela oportunidade de chegar até aqui, fortalecendo-me em todos os momentos desta caminhada.

Aos meus familiares, pelo amor incondicional, apoio constante e compreensão diante das ausências e desafios enfrentados durante este percurso.

Aos amigos de trabalho, pela amizade, incentivo e pelas contribuições que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste estudo.

Ao meu orientador, pela orientação dedicada, paciência, confiança e pelos ensinamentos que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, pelo suporte essencial ao longo desta trajetória acadêmica, na qual tive o privilégio de realizar tanto o mestrado quanto o doutorado. Minha gratidão a todos os professores, pelos ensinamentos compartilhados e pela contribuição significativa para a minha formação científica e pessoal.

A secretaria do PPGSD/FAMED, pela constante receptividade, atenção, compreensão e pela competência exemplar na resolução das demandas que lhe são atribuídas. Registro meu sincero agradecimento por ter me acolhido de forma tão gentil e eficiente desde o início do mestrado.

Aos colegas do Grupo de Espectroscopia e Bioinformática Aplicados à Biodiversidade e à Saúde (GEBABS), pela convivência enriquecedora, pelo apoio na condução desta pesquisa, pelas discussões acadêmicas, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração. A pesquisa científica nunca acontece de maneira isolada; exige colaboração, dedicação e comprometimento coletivo — e sou imensamente grata por fazer parte dessa equipe.

RESUMO

Alimentos à base de cereais são amplamente consumidos por crianças, mas existem dados limitados sobre sua composição elementar e potenciais riscos à saúde. Este estudo quantificou As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Mo, Ni, P, Pb, Se, Si, V e Zn em oito produtos comerciais à base de cereais comercializados em Campo Grande, Brasil, usando espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Arsênio, cádmio, cobalto e cromo estavam consistentemente abaixo do limite de detecção. Fósforo e potássio foram os elementos predominantes entre as marcas, seguidos por Fe, Mg e Zn, com variabilidade significativa entre as marcas (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Chumbo foi detectado nas marcas 1 a 5 (0,11 a 0,41 mg/kg), mas foi indetectável nas demais. Os valores estimados de ingestão diária (ID) em 30 g/dia e 90 g/dia mostraram que Fe, Zn, Mn e Se frequentemente atingiram ou excederam as ingestões dietéticas de referência para crianças de 1 a 3 anos, enquanto Cu, Ni e P permaneceram abaixo dos níveis toleráveis. A comparação com os níveis máximos toleráveis de ingestão e os níveis de risco mínimo da Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) indicou que um consumo maior (90 g/dia) pode resultar em ingestão excessiva de Mn, Zn e Se, com o Pb contribuindo para índices de risco cumulativos acima do limite de segurança ($HI > 1$). Esses achados enfatizam o duplo papel dos alimentos à base de cereais como importantes fontes de nutrientes e potenciais contribuintes para a exposição excessiva a oligoelementos em crianças pequenas.

Descritores: cereal; crianças; elemento essencial, elemento tóxico, ICP OES

ABSTRACT

Cereal-based complementary foods are widely consumed by children, yet limited data exist on their elemental composition and potential health risks. This study quantified As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Mo, Ni, P, Pb, Se, Si, V, and Zn in eight commercial cereal-based products collected in Campo Grande, Brazil, using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). Arsenic, cadmium, cobalt, and chromium were consistently below the detection limit. Phosphorus and potassium were the predominant elements across brands, followed by Fe, Mg, and Zn, with significant inter-brand variability (Kruskal–Wallis, $p < 0.05$). Lead was detected in Brands 1–5 (0.11–0.41 mg/kg) but was undetectable in others. Estimated daily intake (ID) values at 30 g/day and 90 g/day showed that Fe, Zn, Mn, and Se frequently met or exceeded dietary reference intakes for children aged 1–3 years, while Cu, Ni, and P remained below tolerable levels. Comparison with tolerable upper intake levels and Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) minimal risk levels indicated that higher consumption (90 g/day) could result in excess intake of Mn, Zn, and Se, with Pb contributing to cumulative hazard indices above the safety threshold ($HI > 1$). These findings emphasize the dual role of cereal-based foods as important nutrient sources and potential contributors to excessive trace element exposure in young children.

Descriptors: Cereal; Children; Essential element, Toxic element, ICP OES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentração média dos elementos quantificados (mg/kg) em produtos à base de cereais, com valores <LOD desconsiderados (valores na ordenada em escala $\log_{10}$)	32
Figura 2. Ingestão diária média (ID, mg/dia) de elementos quantificados em produtos à base de cereais, considerando (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia, com barras de erro representando a variação entre marcas (n=8). Escala logarítmica (base 10). Sem barras de erros	34
Figura 3. CDI médio por elemento para 30 g/dia e 90 g/dia (derivado das Tabelas 9 e 10; BW = 18,37 kg)	38
Figura 4. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais considerando dois cenários de ingestão: (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia. Os valores foram calculados a partir das Tabelas 11 e 12, utilizando os parâmetros de exposição estabelecidos (BW = 18,37 kg; EF = 365 dias/ano; ED = 1 ano; AT = 365 dias). O eixo y está em escala logarítmica (base 10), permitindo melhor visualização da magnitude relativa entre elementos essenciais e tóxicos	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos produtos comerciais à base de cereais analisados (codificados por fabricante e marca)	23
Tabela 2. Programa de digestão em micro-ondas para amostras de produtos à base de cereais Parâmetros	24
Tabela 3. Condições operacionais do ICP-OES para análise elementar	25
Tabela 4. Recuperação dos elementos após enriquecimento (0,5 ppm)	26
Tabela 5. Elementos, valores dos limites de detecção (LOD), limites de quantificação (LOQ) e coeficientes de correlação (R^2)	27
Tabela 6. Parâmetros utilizados para o cálculo da Ingestão Diária Crônica (CDI)	28
Tabela 7. Elementos quantificados em produtos à base de cereais (mg/kg, média $\pm$ DP) utilizando ICP-OES	31
Tabela 8. Ingestão Diária (ID, mg/dia) de produtos à base de cereais em 30 g/dia e 90 g/dia	35
Tabela 9. Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg/dia) para produtos à base de cereais por marca. Parâmetros: IR = 30 g/dia, EF = 365 dias/ano, ED = 1 ano, AT = 365 dias, BW = 18,37 kg	36
Tabela 10. Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg/dia) para produtos à base de cereais por marca. Parâmetros: IR = 90 g/dia, EF = 365 dias/ano, ED = 1 ano, AT = 365 dias, BW = 18,37kg	37
Tabela 11. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais em IR = 30 g/dia (BW = 18,37 kg)	39
Tabela 12. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais em IR = 90 g/dia (BW = 18,37 kg)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT – Tempo Médio de Exposição

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças)

BW – Body Weight (Peso corporal)

CDI – Chronic Daily Intake (Ingestão Diária Crônica)

ED – Duração da Exposição

EDI – Estimated Daily Intake (Ingestão Diária Estimada)

EF – Frequência de Exposição

FAO – Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

FDA – Food and Drug Administration (Administração Federal de Alimentos e Medicamentos)

HI – Hazard Index (Índice de Perigo)

HQ – Hazard Quotient (Quociente de Perigo)

ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado)

ID – Ingestão Diária

QI – Quociente de inteligência

R^2 – Coeficiente de correlação

RfD – Reference Dose (Dose de Referência)

TDI – Ingestão Diária Tolerável

USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

WHO – World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

LISTA DE SÍMBOLOS

As	Arsênio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Hg	Mercurio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Se	Selênio
Si	Silício
V	Vanádio
Zn	Zinco

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Cereais infantis	15
2.2 Composição mineral de farináceos	16
2.3 Cálculo de risco	19
3.OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo geral	22
3.2 Objetivos específicos	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Aquisição dos Produtos Comerciais à Base de Cereais	23
4.2 Preparação dos Materiais para Análise	24
4.3 Digestão de amostras assistida por micro-ondas	24
4.4 Análise de metais(óides)	25
4.5 Avaliação de risco devido à ingestão de metais(óides) em produtos à base de cereais	27
4.6 Análise estatística	29
5. RESULTADO	30
5.1 Quantificação de metais(óides) em amostras à base de cereais	30
5.2 Avaliação de risco devido à ingestão de metais(óides) em produtos à base de cereais	33
5.3 Resultados – Ingestão Diária Crônica (CDI)	37
5.4 Resultados – Avaliação de risco não carcinogênico	39
6. DISCUSSÃO	43
7. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos complementares comerciais, também chamados de alimentos infantis industrializados à base de cereais, são comumente formulados com cereais, açúcares e aditivos variáveis (THEURICH; KOLETZKO; GROTE, 2020). Tais produtos ocupam papel central na dieta de lactentes e crianças pequenas, sobretudo entre os 6 meses e os 3 anos de idade, período crítico em que as escolhas alimentares são limitadas e em que as necessidades nutricionais são elevadas (ČÍŽKOVÁ et al., 2009). Nessa fase, os alimentos comerciais desempenham a função de fornecer energia, proteínas, fibras, vitaminas e minerais, além de contribuírem para o estabelecimento de preferências de sabor e padrões alimentares de longo prazo (MASLIN; VENTER, 2017).

Entretanto, a adequação nutricional e a segurança desses alimentos têm sido alvo de debate. Desde 2016, a Organização Mundial da Saúde (OMS) passou a recomendar que países adotem medidas para restringir a promoção inadequada de alimentos destinados a bebês e crianças pequenas, com base na Resolução WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016). Em 2017, foi publicado o manual de implementação com diretrizes práticas para aplicar essas recomendações (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017). Posteriormente, um modelo de perfil nutricional foi desenvolvido para alimentos complementares disponíveis a crianças menores de 36 meses, visando identificar produtos inadequados para promoção, sobretudo em função da presença de sal e açúcares livres em excesso (WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE, 2019).

No contexto europeu, a Diretiva 2006/125/CE estabeleceu parâmetros para alimentos processados à base de cereais e papinhas, regulamentando a adição de açúcares como sacarose, frutose, xaropes e mel, mas sem definir um limite máximo para o teor total de açúcares (EUROPEAN COMMISSION, 2006). Essas normativas reforçam que alimentos infantis devem atender a critérios rigorosos de qualidade nutricional, adição de aditivos e rotulagem.

Ainda que cumpram papel relevante no aporte nutricional, estudos recentes têm indicado potenciais riscos associados à presença de contaminantes. Pesquisas demonstraram que fórmulas e papinhas infantis precisam atender às demandas elevadas de energia, proteínas, aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais, além de apresentar baixo teor de sódio e perfil lipídico equilibrado (CALABRETTI et al., 2017; BASHIRY et al., 2021). Contudo, análises recentes identificaram concentrações de metais pesados como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) em produtos infantis à base de cereais (GARDENER; BOWEN; CALLAN, 2019; BASHIRY et

al., 2021). Porém, esses achados, não são homogêneos em nível global. Em estudo realizado na Etiópia, não foram detectados Cd e Pb em alimentos infantis comerciais, sugerindo segurança local (HEBOTO et al., 2024). Já pesquisas conduzidas em Gana e na Turquia encontraram níveis elevados de Cd e Pb, em alguns casos acima dos limites internacionais de segurança (DOMFEH; ANIM; ASAMOA, 2023; KESHAVA, 2019). Essa heterogeneidade evidencia a necessidade de monitoramento regionalizado e de estratégias regulatórias adaptadas ao contexto de cada país.

A exposição precoce a contaminantes tóxicos é especialmente preocupante, pois lactentes apresentam maior vulnerabilidade em razão da alta absorção intestinal e do baixo peso corporal (JAN et al., 2015). Entre os efeitos adversos estão déficits no desenvolvimento dos sistemas nervoso, reprodutivo, digestivo, respiratório e imunológico, além de efeitos neurotóxicos, como a redução do quociente de inteligência (QI), prejuízos cognitivos e atrasos de linguagem (SIROT et al., 2018; KORDAS et al., 2022).

Além disso, a literatura recente evidencia o duplo papel dos elementos essenciais e traço na saúde infantil. Elementos como ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo), selênio (Se), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) são indispensáveis para funções metabólicas, celulares e imunológicas. O silício (Si), embora não classificado formalmente como essencial, tem sido associado à integridade dos tecidos conjuntivos e ósseos (NORDBERG et al., 2015). Contudo, a ingestão excessiva de alguns desses nutrientes pode gerar toxicidade, como hepatotoxicidade (Fe, Cu), efeitos neurocognitivos (Mn), alterações dermatológicas e neurológicas (Se) e desequilíbrios minerais (Zn). Em paralelo, contaminantes como Pb, As, Cd, cobalto (Co), cromo (Cr), níquel (Ni) e vanádio (V) continuam representando risco elevado, por sua associação a efeitos neurotóxicos, carcinogênicos e sistêmicos, mesmo em níveis baixos de exposição (NRIAGU; SKAAR, 2015).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo quantificar elementos essenciais (Cu, Fe, K, Mn, Mg, Mo, P, Se, Si e Zn) e elementos tóxicos (As, Cd, Co, Cr, Ni, Pb e V) em farináceos amplamente consumidos como alimentos complementares por crianças brasileiras. As amostras foram coletadas em supermercados da cidade de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul (MS), e analisadas por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cereais infantis

Os cereais, também chamados de grãos, referem-se às culturas que são colhidas apenas para grãos secos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2019). Os cereais infantis possuem em sua composição milho, centeio, sorgo, trigo arroz, cevada e aveia. Cereais infantis são definidos como “processados alimentos à base de cereais” que se dividem em “cereais simples que são ou devem ser reconstituídos com leite ou outros líquidos nutritivos apropriados” (KLERKS et al., 2019). Os cereais são uma excelente fonte de energia, que é muito importante aos seis meses de idade, quando a amamentação exclusiva já não é suficiente para cobrir as necessidades nutricionais do bebê. Além disso, os cereais fornecem uma quantidade substancial de carboidratos (amido e fibra) e proteínas, mas também são fonte de vitaminas, minerais e compostos bioativos (KLERKS et al., 2019).

Em alguns países, os cereais infantis estão entre os primeiros alimentos introduzidos no início do período de alimentação complementar (FREEMAN; VAN'T HOF; HASCHKE, 2000; BUTTE et al., 2010; LANGE et al., 2013). Entretanto, entre países não existem um consenso quanto as recomendações para a ingestão de cereais em bebês e crianças pequenas. Ou seja, na Austrália, segundo o conselho de Saúde Nacional e Pesquisa Médica, as recomendações são cereais infantis, secos, grãos mistos, fortificados podem ser utilizados de seis a 12 meses, neste caso, sete porções por semana, uma porção pesa 20 g (NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL, 2011), por outro lado, na França, as recomendações são as seguintes: 0–4 meses: sem ingestão de cereais; 5–6 meses: cereais sem glúten; >7 meses: cereais com glúten. Em países como a Espanha, as recomendações são as seguintes: 5–6 meses: cereais sem glúten; > 5–6 meses: cereais com glúten; 12 meses: 57 g de cereais por dia; 24–36 meses: 86 g de cereais por dia, além disso, são sugeridos cereais fortificados ou integrais (preferenciais), pães e massas (PEÑA QUINTANA et al., 2010; DALMAU SERRA; MORENO VILLARES, 2017).

Conforme levantamento bibliográfico realizado neste estudo, não existe estudos voltados aos efeitos da idade em que os alimentos complementares são introduzidos pela primeira vez no comportamento alimentar e na aceitação de novos alimentos. Segundo Mennella, Griffin e Beauchamp (2004), existe um período favorável em que as crianças aceitam alimentos específicos, como no caso do leite com sabores desagradáveis, como a fórmula dehidrolisado de caseína, é

facilmente aceito aos 2 meses de idade, mas não aos 7 meses. Por outro lado, conforme estudos realizados na década de 90, os cereais são aceitos de forma diferente por crianças de diferentes idades (HARRIS; THOMAS; BOOTH, 1990). Apesar da existência de extensas pesquisas sobre a amamentação e o momento da introdução de alimentos sólidos, são escassas evidências sobre os tipos de alimentos sólidos fornecidos aos bebês, especificamente alimentos infantis preparados comercialmente. O consumo de alimentos infantis preparados comercialmente é muito prevalente em muitos países desenvolvidos, excedendo em algumas situações o consumo de alimentos caseiros (MASLIN; VENTER, 2017). Embora estes produtos alimentares possam ter vantagens práticas, subsistem questões sobre a forma como as potenciais associações entre o consumo de alimentos e bebidas comerciais para bebês e crianças (incluindo alterações na ingestão de energia, ingestão total de açúcar, consumo de frutas e vegetais e diversidade alimentar) têm impacto nos resultados de saúde infantil (BROWN et al., 2019).

A partir da fabricação e seus aditivos, a fortificação e a promoção destes produtos são regulamentadas pela legislação de cada país e varia entre países e regiões. A ingestão nutricional durante a infância é um aspecto crítico do desenvolvimento e da saúde infantil, que representa uma preocupação significativa para a saúde pública, de fato, conforme estudos, existem a presença de alimentos farináceos à base de milho que contêm bactérias oportunistas como a *Cronobacter*, a qual está associada a infecções em neonatos devido ao consumo de fórmulas infantis desidratadas (COSTA et al., 2020). Além disso, segundo estudos em alguns farináceos, existem a presença de toxina emética que podem causar intoxicação alimentar (AGATA; OHTA; YOKOYAMA, 2002).

2.2 Composição mineral de farináceos utilizados na alimentação infantil

Os macroelementos assim como os microelementos são essenciais para o bom funcionamento do organismo, estando envolvido em vários processos metabólicos. Neste caso, crianças, assim como adultos necessitam de elementos essenciais para o bom funcionamento do organismo e manutenção à saúde. Segundo Lima et al. (2014), é importante que as quantidades de cada elemento na dieta infantil não sejam consideradas isoladamente devido aos efeitos sinérgicos ou antagônicos que podem resultar quando os níveis não são cuidadosamente equilibrados. Conforme Sandström et al. (2011), a concentração elevada de certos elementos causa interferências em outros, ou seja, como o caso do cálcio que pode interferir na absorção do Zinco.

Outros elementos quando possuem elevada concentração podem reduzir a

biodisponibilidade de cálcio, ferro, manganês e zinco. Isso ocorre porque os principais estoques de fósforo ligam-se aos elementos mencionados diminuindo sua absorção (GIBSON; CARRIQUIRY; GIBBS, 2015; HURRELL; EGLI, 2010; MARTINEZ; RINCON; IBANEZ, 2006).

Apensar da existência das interferências entre elementos conforme ressaltamos acima, é importante destacarmos que alguns elementos quando presentes em alimentos infantis como As, Cd, Pb e Hg quando ingeridos em grandes quantidades podem causar danos à saúde (KHAMONI; HAMSHAW; GARDINER, 2017). Os cereais são produzidos a partir de outros alimentos, como o milho, aveia, mandioca etc. Entretanto, tais alimentos como os grãos podem conter níveis significativos de metais pesados, contaminando assim aqueles produtos utilizados para a alimentação infantil, como os farináceos. Embora a toxicidade de elementos químicos tóxicos para humanos depende de diferentes fatores, como dose, via de exposição, espécie química e algumas características individuais (como idade, sexo e estado nutricional), crianças são mais frágeis que adultos quando expostos a metais pesados (ZHENG et al., 2023).

Nos últimos anos, algumas pesquisas têm destacado e enfatizado que contaminantes inorgânicos, incluindo aqueles elementos químicos estão presentes em muitos alimentos destinados a bebês e crianças pequenas (BAIR et al., 2022). Além disso, conforme estudos realizados na Etiópia, as concentrações de metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Ca, Mg, K e Na, no leite de vacas estavam acima dos órgãos estabelecidos (TEKLU et al., 2022). Em Gana, foram quantificadas concentrações significativas de As, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb e Sb em vinte e duas (22) amostras de alimentos para bebês e fórmulas infantis (AMARH et al., 2023). Elementos tóxicos (Pb, Cd, As, Ni e Al) também foram detectados em várias formulações infantis brasileiras (SOUZA et al., 2023). Os elementos químicos como o Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Fe, Pb, Co, As, Mn e Ba também estão presentes em cereais, hortaliças e frutas comercializadas na China (PROSHAD; IDRIS, 2023).

Segundo um estudo sobre o consumo de arroz em 32 províncias da China, existem a presença de cádmio, arsênico, mercúrio, chumbo e cromo e dois elementos nutrientes essenciais (cobre e zinco) em arroz consumido no país (WEI et al., 2023). O arroz, por sua vez possui uma concentração de As três vezes maior que trigo e cevada (WILLIAMS et al., 2007). Embora a exposição humana aos elementos não essenciais ocorre a partir de culturas alimentares contaminadas pelo solo, segundo estudos realizados em áreas industriais de Bangladesh, os metais como o Fe, Zn, Ni, Cr, Pb, Co, Cu, Cd, As e Zn, Cu, Cr, Co, Fe, Cd, Pb, Ni e As nas amostras

de solo podem acumular em alimentos como o arroz. E neste caso, tais concentrações quantificadas de Zn, Cd, Cr e Co são superiores aos valores máximos de tolerância recomendados pela Organização Mundial da Saúde (HASAN; DAS; SATTER, 2022). Em outros estudos, elementos tóxicos como arsênio, cádmio e chumbo foram detectados em arroz e outros grãos nos Estados Unidos e em países como Itália, Índia e Sri Lanka (TATAHMENTAN et al., 2020; CHANDRASIRI et al., 2022). O acúmulo de metais pesados no arroz constitui um problema de saúde pública, particularmente para crianças, especialmente quando presentes em fórmulas ou farináceos.

Embora os alimentos nutritivos e seguros são essenciais para cumprir as funções fisiológicas e metabólicas normais, a presença de metais pesados em produtos alimentícios para recém-nascidos e crianças pequenas é preocupante. Estas substâncias podem resultar em riscos adversos para a saúde e as crianças pequenas são extremamente vulneráveis devido aos seus sistemas imunitários e órgãos imaturos. Em partes, a industrialização e o avanço tecnológico contribuíram para o aumento de metais pesados no solo; portanto, entrando no sistema alimentar em quantidades potencialmente prejudiciais. Níveis seguros foram estabelecidos pelas agências de monitoramento para reduzir a presença de metais pesados em alimentos (MUNIR et al., 2022). A FDA monitora os níveis de contaminantes nos alimentos, assim como estabelece regulamentos e fornece orientação aos fabricantes de alimentos sobre como cumprir a sua obrigação legal de implementar controles preventivos conforme necessário para minimizar ou prevenir significativamente os perigos químicos nos alimentos (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION [FDA], 2021). Entretanto, conforme citamos anteriormente, ainda é quantificado concentrações significativas de metais pesados em alimentos infantis em vários países.

De acordo a avaliação do Subcomitê de Supervisão e Reforma do Comitê de Econômica e do Consumidor pela Câmara dos Representantes dos EUA realizada em 2021, uma de quatro grandes empresas de alimentos para bebês possuem em seus produtos níveis significativos de alguns metais pesados, como arsênico, chumbo, cádmio e mercúrio (SUBCOMMITTEE ON ECONOMIC AND CONSUMER POLICY, 2021a, 2021b). De acordo com o relatório, os fabricantes de alimentos para bebês produziram negligentemente esses produtos de alimentos para bebês devido aos seus testes abaixo da média, aos padrões brandos empregados nos testes adequados de metais pesados em alimentos para bebês e à dependência exclusiva de testes primários de ingredientes crus, sem a necessidade de testar produtos acabados para estes metais.

Estes fatores têm levado consistentemente à subestimação dos níveis de metais pesados

nos produtos alimentares acabados. Estudos relataram que a contaminação de leites infantis selecionados por substâncias como nitratos, alumínio, cádmio, mercúrio, níquel e chumbo provém principalmente de fontes de água que são usadas para reconstituir a maioria desses alimentos para bebês (OGOCHUKWU et al., 2019).

Diante do exposto, no Brasil existem comercialmente vários tipos de farináceos que são comercializados em vários estados, inclusive em Campo Grande/MS. Entretanto, não encontramos estudos que quantificaram metais pesados em alimentos farináceos para bebês e crianças.

2.3 Cálculo de Risco

A presença de metais no solo, na água e no meio ambiente representa uma preocupação crescente, pois tais contaminantes podem ser incorporados pela cadeia alimentar, atingindo vegetais, animais e, conseqüentemente, o ser humano. Essa situação não pode ser negligenciada, uma vez que os alimentos constituem uma das principais vias de exposição a elementos químicos e, ao mesmo tempo, uma das mais relevantes fontes de nutrientes essenciais para a saúde humana. Nos vegetais, a concentração equilibrada de fibras, minerais, vitaminas e antioxidantes desempenha papel protetor fundamental contra processos de estresse oxidativo, contribuindo para reduzir riscos de doenças crônicas (MILANKOVIC et al., 2024).

Por outro lado, a ingestão de metais pesados como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg) está associada a efeitos adversos graves mesmo em baixas concentrações. Estudos demonstram que esses elementos estão relacionados a danos neurológicos, prejuízos cognitivos, disfunções renais, efeitos imunotóxicos e até aumento da incidência de câncer (SELVI et al., 2019; CARMONA; ROUDEAU; ORTEGA, 2021; MODABBERNIA; VELTHORST; REICHENBERG, 2017). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a ingestão contínua de metais pesados constitui uma ameaça significativa à saúde pública, devendo ser constantemente monitorada (WHO; FAO; IAEA, 1996).

A avaliação de risco à saúde humana é, portanto, uma ferramenta fundamental para compreender e quantificar os impactos potenciais da exposição a contaminantes. No campo da toxicologia, é importante distinguir entre riscos de origem química (como metais pesados), física (por exemplo, radiação) e microbiológica (vírus, bactérias e parasitas). Enquanto riscos químicos e físicos tendem a estar associados a exposições crônicas de longo prazo, cujas consequências podem levar anos para se manifestar, os riscos microbiológicos geralmente estão ligados a efeitos agudos, surgindo em curto espaço de tempo. Entretanto, infecções adquiridas na infância podem

deixar sequelas persistentes, afetando a saúde por toda a vida (SMOLINSKI; HAMBURG; LEDERBERG, 2003).

Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm utilizado sistematicamente os cálculos de risco como ferramenta para estimar os potenciais impactos da ingestão de alimentos contaminados sobre a saúde humana. Indicadores como a Ingestão Diária Estimada (EDI), a Ingestão Diária Crônica (CDI), o Quociente de Perigo (HQ) e o Índice de Perigo (HI) passaram a ser amplamente aplicados em estudos de segurança alimentar. Esses cálculos permitem relacionar as concentrações de contaminantes identificadas em alimentos com parâmetros toxicológicos de referência, como a Dose de Referência (RfD) e a Ingestão Diária Tolerável (TDI), fornecendo estimativas quantitativas de risco que são essenciais para subsidiar órgãos reguladores, orientar políticas públicas e estabelecer limites seguros de consumo. Assim, tais modelos vêm se consolidando como instrumentos indispensáveis para a proteção da saúde coletiva.

O primeiro passo na avaliação de risco consiste na identificação do perigo, ou seja, na definição clara da natureza do agente em estudo. Esse processo envolve examinar se uma determinada substância química, agente físico ou microrganismo pode estar associado a efeitos adversos conhecidos. No caso da poluição ambiental, por exemplo, a identificação de perigos abrange a análise de dados biológicos, toxicológicos e epidemiológicos que permitam confirmar se determinado contaminante representa uma ameaça significativa (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1986)

Para essa caracterização inicial, consideram-se diversos fatores:

- as propriedades físico-químicas da substância;
- as rotas e os padrões de exposição (ingestão, inalação ou contato dérmico);
- as relações estrutura-atividade que indicam possíveis efeitos tóxicos;
- parâmetros de absorção, distribuição, metabolismo e excreção no organismo;
- os efeitos sinérgicos ou antagônicos com outras substâncias;
- dados oriundos de testes de toxicidade aguda e subcrônica em organismos vivos;
- estudos de longo prazo em animais experimentais;
- e, principalmente, evidências oriundas de estudos em seres humanos.

A interpretação desses dados é geralmente classificada de acordo com o grau de evidência científica, que pode variar de “evidência suficiente de carcinogenicidade” até “nenhuma evidência

disponível” (GERBA, 2006). Essa sistemática é essencial para orientar órgãos reguladores na definição de valores de referência para exposição segura.

Após a etapa de identificação do perigo, segue-se a avaliação da exposição, que consiste em quantificar a magnitude, frequência e duração do contato de uma população com o contaminante. Nessa fase, são utilizados parâmetros como a concentração média de contaminantes nos alimentos, água ou solo, combinados a variáveis populacionais (peso corporal, taxa de consumo alimentar, frequência de exposição) para estimar a ingestão real de contaminantes. Esses cálculos permitem comparar a exposição estimada com valores de referência toxicológicos, como a RfD ou a TDI, fornecendo assim uma medida quantitativa do risco.

De maneira resumida, a avaliação de risco segue etapas bem definidas: (i) identificação do perigo, (ii) avaliação da dose-resposta, (iii) avaliação da exposição e (iv) caracterização do risco. Cada uma dessas etapas contribui para fornecer evidências científicas robustas, capazes de orientar políticas públicas, regulamentações e práticas de segurança alimentar que garantam a proteção da saúde humana frente à exposição a contaminantes químicos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Quantificar elementos essenciais e tóxicos em diferentes amostras de farináceos comercializados no Brasil, amplamente utilizados como alimentos complementares para crianças, e estimar o potencial risco à saúde associado ao seu consumo.

3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar as concentrações de arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), manganês (Mn), magnésio (Mg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), fósforo (P), chumbo (Pb), selênio (Se), silício (Si), vanádio (V) e zinco (Zn) em diferentes amostras de farináceos de origem comercial disponíveis em supermercados.
- Comparar os valores de concentração de elementos essenciais, metais pesados e metaloides entre as amostras estudadas.
- Confrontar os resultados obtidos neste estudo com dados reportados em pesquisas conduzidas em outros países, a fim de identificar semelhanças e divergências nos perfis minerais.
- Estimar a ingestão diária de elementos essenciais e tóxicos a partir do consumo de farináceos em diferentes cenários de exposição infantil.
- Avaliar o risco à saúde decorrente da ingestão de metais pesados e metaloides presentes nos produtos analisados, por meio de cálculos de Ingestão Diária Estimada (EDI), Ingestão Diária Crônica (CDI), Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI), considerando diferentes faixas etárias infantis (6, 10, 15 e 36 meses).

4. MATERIAIS E METODOS

4.1 Aquisição dos Produtos Comerciais à Base de Cereais

As amostras de produtos à base de cereais foram adquiridas em supermercados de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, durante o mês de junho de 2023. No total, 64 amostras foram incluídas neste estudo: 48 amostras representando seis diferentes tipos de produtos à base de cereais fabricados pelo Fabricante A (oito amostras de cada tipo, provenientes do mesmo lote de produção) e 16 amostras representando dois tipos de produtos à base de cereais produzidos pelo Fabricante B (oito amostras de cada tipo, também do mesmo lote).

As composições desses produtos variam, e a Tabela 1 apresenta os oito produtos analisados juntamente com as descrições de rotulagem fornecidas pelos fabricantes. Todos os produtos são comercializados como adequados para crianças acima de seis meses de idade.

Tabela 1. Composição dos produtos comerciais à base de cereais analisados (codificados por fabricante e marca).

Composição	Código
Cereal infantil à base de 80% de arroz	Fabricante A – Marca 1
Cereal infantil com 60% de farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar e 14% de farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, além de 5,3% de farinha de arroz	Fabricante A – Marca 2
Cereal infantil com 64% de arroz, 14% de farinha de aveia integral, açúcar e extrato de malte	Fabricante A – Marca 3
55% de farinha de trigo e 20% de leite e açúcar	Fabricante A – Marca 4
Cereal infantil com 91% de trigo, farinha de trigo integral, farinha de cevada e farinha de aveia	Fabricante A – Marca 5
Farinha de trigo integral e açúcar (29%), farinha de trigo (26%) enriquecida com ácido fólico, preparo de banana e pera	Fabricante A – Marca 6
Mistura em pó para bebida enriquecida com maltodextrina, leite em pó desnatado e açúcar	Fabricante B – Marca 7
Mistura em pó para bebida enriquecida com maltodextrina, leite em pó desnatado, açúcar e cacau lecitinado	Fabricante B – Marca 8

Fonte: Fabricantes (2023)

Por razões de confidencialidade, os nomes reais das empresas não foram divulgados. Os rótulos “Fabricante A” e “Fabricante B” representam duas empresas distintas. Dentro de cada fabricante, os termos “Marca 1”, “Marca 2”, etc., são códigos internos atribuídos pelos autores para

distinguir os diferentes produtos analisados.

4.2 Preparação dos Materiais para Análise

Neste estudo, todos os materiais laboratoriais utilizados nas análises incluindo tubos, frascos, pipetas e vidrarias em geral foram pré-tratados para evitar contaminação mineral. Os materiais foram imersos em uma solução de HNO_3 a 10% (65%, grau ultrapuro, Merck, Darmstadt, Alemanha) por 24 horas e, em seguida, enxaguados com água ultrapura antes do uso.

4.3 Digestão de amostras assistida por micro-ondas

Uma quantidade de 0,25 g de cada amostra foi pesada e individualmente colocada em vasos de Teflon DAP60® (Speedwave four®, Berghof, Eningen, Alemanha). Em seguida, adicionaram-se 2 mL de ácido nítrico (HNO_3 , 65%, grau ultrapuro, Merck, Darmstadt, Alemanha) e 1,5 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 30%, grau ultrapuro, Merck, Darmstadt, Alemanha). Os vasos DAP60 foram então introduzidos no sistema de digestão por micro-ondas (Speedwave four®, Berghof, Eningen, Alemanha). Todo o procedimento de digestão foi realizado de acordo com as etapas apresentadas na Tabela 2. Uma solução em branco também foi preparada seguindo o mesmo procedimento aplicado para a digestão das amostras.

Tabela 2. Programa de digestão em micro-ondas para amostras de produtos à base de cereais.

Parâmetros	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Temperatura (°C)	170	200	50
Tempo de rampa (min)	2	5	1
Tempo de retenção (min)	10	15	10
Energia (%)	90	90	0
Pressão (bar)	50	50	0

Fonte: Autora (2023)

Os produtos à base de cereais foram, então, submetidos à digestão ácida utilizando o sistema de digestão por micro-ondas (Speedwave four®, Berghof, Eningen, Alemanha), seguindo os parâmetros detalhados na Tabela 2. Após a digestão, as amostras foram diluídas para 50 mL com água ultrapura (18,2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$, sistema Milli-Q, Merck Millipore, Bedford, MA, EUA). O procedimento de digestão das amostras foi realizado em triplicata.

4.4 Análise de metais(óides)

Os produtos à base de cereais foram analisados em triplicata utilizando a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES, iCAP 6300 Duo, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemanha). Os parâmetros utilizados no ICP OES para a quantificação dos elementos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Condições operacionais do ICP-OES para análise elementar.

Parâmetro	Configuração
Potência de radiofrequência	1150 W
Fluxo da bomba	50 rpm
Fluxo do plasma de argônio	12,0 L·min ⁻¹
Fluxo auxiliar de argônio	0,50 L·min ⁻¹
Fluxo de gás do nebulizador	0,70 L·min ⁻¹
Modo de visualização	Axial
Comprimentos de onda (nm)	As (189,042), Cd (228,802), Co (228,616), Cr (283,563), Cu (324,754), Fe (259,940), K (766,490), Mg (279,553), Mn (257,610), Mo (202,030), Ni (221,647), P (177,495), Pb (220,353), Se (196,090), Si (251,611), V (309,311), Zn (213,856)

Fonte: Autora (2023)

Para a quantificação dos elementos utilizando ICP OES, foi preparada uma curva de calibração analítica com sete níveis de concentração, baseada em uma solução multielementar padrão de 1000 mg/L (SpecSol, Quinlab, Jacareí, SP, Brasil). Foram utilizadas sete concentrações para a construção da curva de calibração destinada à análise quantitativa das amostras de arroz. As concentrações variaram de 0,01 a 5,0 mg/L.

Um teste de recuperação foi realizado por meio do enriquecimento das soluções com 0,5 ppm dos elementos de interesse. A solução de enriquecimento foi preparada a partir de uma única solução multielementar de 1000 ppm. Os resultados de recuperação variaram de 82 a 115% (Tabela 4).

Tabela 4. Recuperação dos elementos após enriquecimento (0,5 ppm).

Elementos	Concentração de enriquecimento (%)
As	100
Cd	99
Co	102
Cr	115
Cu	92
Fe	86
K	105
Mg	101
Mn	98
Mo	111
P	82
Pb	97
Se	104
Zn	96

Fonte: Autora (2023)

O limite de detecção (LOD) foi determinado de acordo com a equação $3 \times B/DP$, em que DP representa o desvio-padrão à medida que a concentração do analito tende a zero e B corresponde ao sinal do branco. Esse parâmetro é fundamental porque define a menor concentração de um analito que pode ser detectada pelo método, ainda que não necessariamente quantificada com exatidão. Em estudos ambientais e toxicológicos, como no presente trabalho, a determinação precisa do LOD é essencial para assegurar a sensibilidade do método frente a concentrações muito baixas de contaminantes, especialmente em matrizes alimentares voltadas ao consumo infantil, onde níveis reduzidos já podem ter relevância biológica e toxicológica.

O limite de quantificação (LOQ) foi estabelecido como $10 \times B/DP$, representando a menor concentração de analito que pode ser quantificada com precisão e exatidão aceitáveis pelo método analítico. A definição do LOQ é necessária para garantir que as concentrações reportadas no estudo sejam confiáveis e reproduzíveis, evitando interpretações equivocadas sobre a presença ou ausência dos elementos. Além disso, no contexto de avaliação de risco à saúde, a determinação correta do LOQ assegura que valores estimados de ingestão diária não sejam sobre ou subestimados, o que poderia comprometer a validade da análise de risco.

O coeficiente de correlação (R^2), também apresentado na Tabela 5, foi utilizado como métrica de avaliação da linearidade do método analítico. Esse parâmetro indica o grau de ajuste da curva analítica em relação aos pontos experimentais, refletindo a confiabilidade da calibração

utilizada. Valores de R^2 próximos de 1,0 demonstram excelente correlação linear entre concentração e resposta instrumental, assegurando que o método empregado seja adequado para a quantificação dos elementos avaliados. A linearidade é um critério essencial para métodos baseados em espectrometria, como o ICP-OES, pois garante a robustez e a validade das quantificações realizadas.

Tabela 5. Elementos, valores dos limites de detecção (LOD), limites de quantificação (LOQ) e coeficientes de correlação (R^2).

Elementos	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)	Coeficientes de correlação (R^2)
As	0,003	0,008	0,9993
Cd	0,0005	0,002	0,9994
Co	0,0008	0,003	0,9999
Cr	0,001	0,002	0,0009
Cu	0,002	0,006	0,9998
Fe	0,001	0,003	0,9999
K	0,005	0,016	0,9996
Mg	0,001	0,002	0,9994
Mn	0,0002	0,001	0,9992
Mo	0,001	0,002	0,9992
P	0,005	0,018	0,9997
Pb	0,004	0,014	0,9991
Se	0,005	0,016	0,9991
Zn	0,0007	0,002	0,9994

Fonte: Autora (2023)

Portanto, a apresentação conjunta dos valores de LOD, LOQ e R^2 na Tabela 5 é indispensável para a comprovação da qualidade, sensibilidade e confiabilidade do método analítico empregado neste estudo, assegurando a reprodutibilidade dos resultados e seu uso em avaliações de risco voltadas à saúde infantil.

4.5 Avaliação de risco devido à ingestão de metais(óides) em produtos à base de cereais

A ingestão diária (ID) de metais(óides) provenientes de produtos à base de cereais foi estimada de acordo com a seguinte Equação (1) (WHO, 2008; USEPA, 1989):

$$ID(mg/dia) = C(mg/kg) \times M(kg/dia) \quad (1)$$

em que C (mg/kg) representa a concentração média de metais(óides) quantificados em produtos à base de cereais por ICP-OES, e M é a massa de produto de cereal ingerida diariamente, considerada como 0,03 e 0,09 kg/dia. A ingestão foi estimada levando em conta os valores informados no rótulo de cada fabricante (Tabela 1).

A ingestão diária crônica (CDI) de cereais (mg/kg/dia) foi calculada utilizando a Equação (2) (USEPA, 1989):

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

em que C é a concentração média de metais pesados (mg/kg); IR é a taxa de ingestão (g/dia); EF é a frequência de exposição (dias/ano); ED é a duração da exposição (anos); BW é o peso corporal das crianças (kg); e AT é o tempo de exposição médio (dias). Os parâmetros utilizados para a estimativa do CDI estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros utilizados para o cálculo da Ingestão Diária Crônica (CDI).

Parâmetros	Unidade	Valor
Taxa de ingestão (IR)	g/dia	Mínimo: 0,030 kg/dia; Máximo: 0,090 kg/dia
Frequência de exposição (EF)	dias/ano	365
Duração da exposição (ED)	ano	1
Peso corporal (BW)	kg	3 anos: máx. 18,37
Tempo médio (AT = EF × ED)	dias	365

Fonte: Autora (2023)

O Risco Não Carcinogênico (HQ) para elementos potencialmente tóxicos pode ser calculado dividindo-se o CDI pela dose de referência (RfD), conforme apresentado na Equação (3):

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (3)$$

Os valores de dose de referência (RfD) (mg/kg/dia) considerados neste estudo foram os seguintes: Cu ($4,0 \times 10^{-2}$), Fe ($7,0 \times 10^{-1}$), Mg (12,0), Mn ($2,4 \times 10^{-2}$), Mo ($5,0 \times 10^{-3}$), Ni ($2,0 \times 10^{-2}$), Pb ($4,3 \times 10^{-4}$), Se ($5,0 \times 10^{-3}$), V ($1,0 \times 10^{-3}$), Zn ($3,0 \times 10^{-1}$). Para K e Si, não foram determinados valores de RfD. Os valores foram obtidos principalmente da Agência de Proteção

Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 2021), exceto para Mg (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000) e Pb (MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY, 2016).

O Índice de Perigo (HI) corresponde à soma dos quocientes de perigo (Eq. 3) provenientes da exposição simultânea a múltiplos metais(óides) (Equação 4). O quociente de perigo (HQ) é um indicador numérico utilizado para avaliar a probabilidade de ocorrência de efeitos não carcinogênicos em uma determinada população (BATISTA et al., 2024). Valores inferiores a 1 indicam consumo seguro dos cereais, enquanto valores superiores a 1 sugerem potenciais riscos à saúde.

$$HI = HQ_{Cu} + HQ_{Fe} + HQ_{Mg} + HQ_{Mn} + HQ_{Mo} + HQ_{Ni} + HQ_P + HQ_{Se} + HQ_V + HQ_{Zn} \quad (4)$$

4.6 Análise estatística

Todas as medições foram realizadas em triplicata, e os resultados são expressos como média $\pm$ desvio-padrão (DP). Antes dos testes de hipótese, os dados foram verificados quanto à normalidade (teste de Shapiro–Wilk) e à homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Como a maioria das variáveis não atendeu aos pressupostos dos testes paramétricos, as comparações entre marcas foram realizadas utilizando o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido por comparações pareadas com o teste pós-hoc de Dunn. Diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas e representações gráficas foram realizadas utilizando o software R (versão 4.3.2, R Core Team, Viena, Áustria).

5. RESULTADOS

5.1 Quantificação de metais(óides) em amostras à base de cereais

As concentrações dos elementos quantificados nos oito produtos à base de cereais estão resumidas na Tabela 7. Os elementos As, Co, Cd e Cr permaneceram consistentemente abaixo do limite de quantificação.

Para cada marca, as concentrações dos elementos quantificados decresceram na seguinte ordem (Tabela 7):

- Marca 1: P > K > Fe > Mg > Zn > Si > Mn > Se > Cu > Mo > V > Ni > Pb
- Marca 2: P > K > Mg > Fe > Zn > Si > Mn > Cu > Se > V > Mo > Ni > Pb
- Marca 3: P > K > Mg > Fe > Zn > Si > Mn > Cu > Se > V > Mo > Ni > Pb
- Marca 4: P > K > Mg > Fe > Zn > Si > Mn > Se > Cu > V > Mo > Pb > Ni
- Marca 5: K > P > Mg > Fe > Si > Mn > Zn > Cu > Se > V > Mo > Ni > Pb
- Marca 6: P > K > Mg > Fe > Si > Mn > Zn > Cu > Se > V > Mo > Ni (Pb < LOD)
- Marca 7: P > K > Mg > Fe > Zn > Si > Mn > Cu > Se > V > Mo > Ni (Pb < LOD)
- Marca 8: K > P > Mg > Fe > Zn > Si > Mn > Cu > Se > V > Ni > Mo (Pb < LOD)

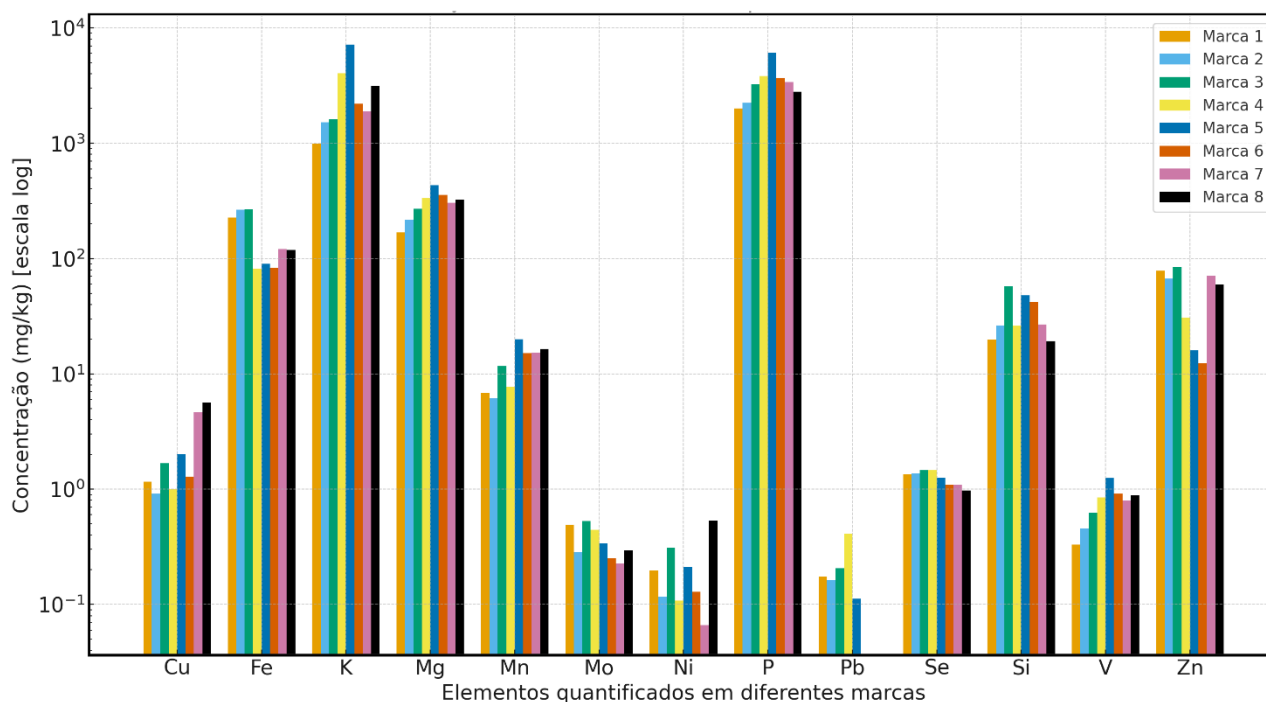
Tabela 7. Elementos quantificados em produtos à base de cereais (mg/kg, média $\pm$ DP) utilizando ICP OES.

Elementos	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8
As	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cd	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Co	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cr	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cu	1,1628 $\pm$ 0,0126	0,9131 $\pm$ 0,0386	1,6820 $\pm$ 0,0624	1,00 $\pm$ 0,048	2,0158 $\pm$ 0,06	1,290 $\pm$ 0,053	4,655 $\pm$ 0,1266	5,6243 $\pm$ 0,01319
Fe	225,999 $\pm$ 1,535	263,859 $\pm$ 3,615	266,432 $\pm$ 6,570	81,126 $\pm$ 1,963	89,90 $\pm$ 2,455	82,849 $\pm$ 1,179	120,42 $\pm$ 3,43	118,136 $\pm$ 0,481
K	996,714 $\pm$ 17,50	1516,757 $\pm$ 26,0657	1614,733 $\pm$ 69,37	4024,993 $\pm$ 4,715	7137,50 $\pm$ 115,978	2195,984 $\pm$ 33,214	1903,235 $\pm$ 37,70	3157,773 $\pm$ 31,831
Mg	169,284 $\pm$ 1,904	215,73 $\pm$ 3,955	269,154 $\pm$ 8,219	333,030 $\pm$ 5,486	433,801 $\pm$ 10,551	355,457 $\pm$ 8,101	304,386 $\pm$ 5,69	326,086 $\pm$ 1,823
Mn	6,822 $\pm$ 0,056	6,153 $\pm$ 0,090	11,709 $\pm$ 0,294	7,7287 $\pm$ 0,1965	19,986 $\pm$ 0,526	15,100 $\pm$ 0,222	15,204 $\pm$ 0,3996	16,509 $\pm$ 0,086
Mo	0,490 $\pm$ 0,020	0,285 $\pm$ 0,016	0,531 $\pm$ 0,038	0,4429 $\pm$ 0,01578	0,3392 $\pm$ 0,022	0,2521 $\pm$ 0,0005	0,2272 $\pm$ 0,0336	0,296 $\pm$ 0,008
Ni	0,19667 $\pm$ 0,029	0,1163 $\pm$ 0,0162	0,3115 $\pm$ 0,057	0,1077 $\pm$ 0,02775	0,2131 $\pm$ 0,0351	0,1289 $\pm$ 0,0023	0,0658 $\pm$ 0,0454	0,5345 $\pm$ 0,0138
P	1994,828 $\pm$ 19,092	2239,083 $\pm$ 64,686	3252,777 $\pm$ 51,191	3838,898 $\pm$ 44,254	6046,818 $\pm$ 116,263	3677,417 $\pm$ 90,462	3388,685 $\pm$ 66,55	2803,189 $\pm$ 59,471
Pb	0,1738 $\pm$ 0,076	0,1623 $\pm$ 0,0685	0,20711 $\pm$ 0,2328	0,4108 $\pm$ 0,137	0,1117 $\pm$ 0,1272	< LOD	< LOD	< LOD
Se	1,3435 $\pm$ 0,172	1,365 $\pm$ 0,0821	1,465 $\pm$ 0,1864	1,461 $\pm$ 0,133	1,2674 $\pm$ 0,205	1,083 $\pm$ 0,0223	1,0912 $\pm$ 0,0841	0,9767 $\pm$ 0,1140
Si	19,733 $\pm$ 0,564	26,235 $\pm$ 0,5256	57,742 $\pm$ 1,807	26,117 $\pm$ 1,012	47,997 $\pm$ 1,593	42,336 $\pm$ 0,6743	26,745 $\pm$ 1,054	19,153 $\pm$ 0,7094
V	0,33067 $\pm$ 0,0124	0,45778 $\pm$ 0,0257	0,6249 $\pm$ 0,050449	0,8446 $\pm$ 0,02438	1,2547 $\pm$ 0,0383	0,9156 $\pm$ 0,047	0,7950 $\pm$ 0,0122	0,8843 $\pm$ 0,0117
Zn	78,044 $\pm$ 0,3329	66,833 $\pm$ 1,442	84,591 $\pm$ 1,2204	30,783 $\pm$ 0,183	15,949 $\pm$ 0,1709	12,315 $\pm$ 0,2161	71,0246 $\pm$ 0,7393	59,1846 $\pm$ 0,6572

Fonte: Autora (2024)

A Figura 1 apresenta a média das concentrações dos elementos quantificados nos diferentes farináceos analisados, representadas em escala logarítmica (base 10). Esses valores foram obtidos a partir dos resultados sumarizados na Tabela 7 – Elementos quantificados em produtos à base de cereais (mg/kg, média $\pm$ DP) utilizando ICP OES. Essa forma de visualização foi adotada em virtude da ampla variação de magnitude entre os elementos nas diferentes marcas 1-8, que se distribuem desde valores relativamente baixos (na ordem de décimos a unidades de mg/kg, como Cu, Ni, Se e Mo) até concentrações elevadas, superiores a 10^3 mg/kg, como observado para K e P.

Figura 1. Concentração média dos elementos quantificados (mg/kg) em produtos à base de cereais, com valores <LOD desconsiderados (valores na ordenada em escala $\log_{10}$).



Fonte: Autora (2024)

O uso da escala logarítmica permite evidenciar de maneira mais clara a heterogeneidade entre os elementos, evitando o “achatamento” dos valores de menor concentração em relação aos macronutrientes. De forma geral, observou-se que fósforo (P) e potássio (K) se destacaram como os elementos predominantes em todas as amostras, enquanto Fe, Zn e Mg apresentaram níveis intermediários, contribuindo de forma relevante para o perfil mineral dos produtos analisados para

cada marca 1-8. Por outro lado, elementos como Cu, Ni, Se e Mo foram detectados em menores concentrações, embora ainda representem fontes importantes de micronutrientes e, em alguns casos, potenciais riscos toxicológicos dependendo dos níveis de ingestão. Portanto, a Figura 1 não apenas resume os dados obtidos, mas também oferece uma interpretação visual clara da variação entre elementos e marcas, servindo como uma ferramenta de análise crítica para discutir os potenciais benefícios nutricionais e os riscos toxicológicos associados ao consumo de farináceos por crianças.

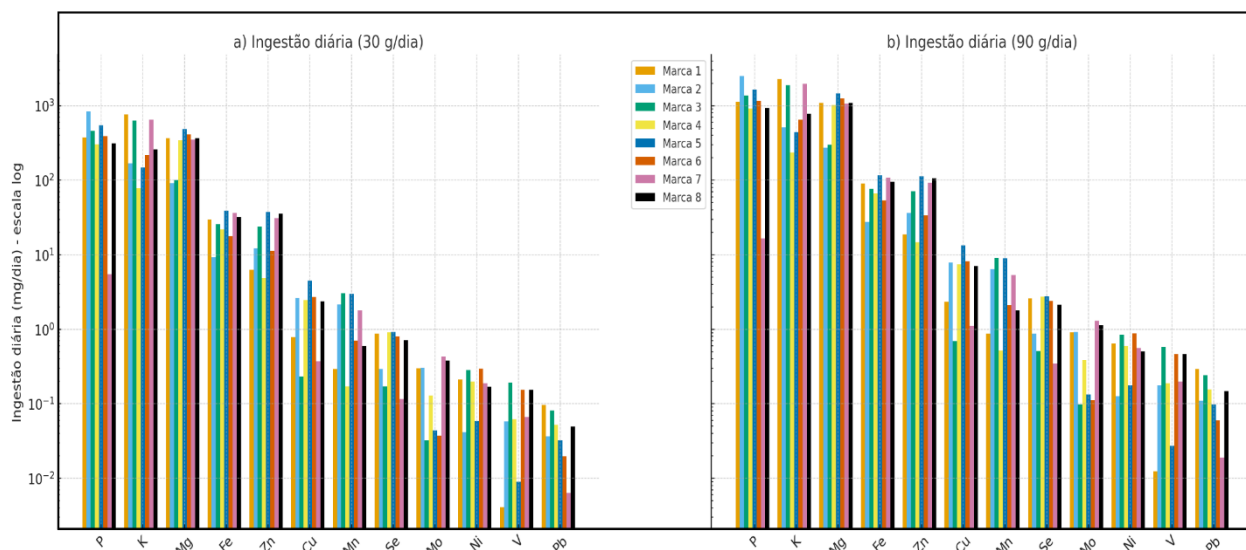
5.2 Avaliação de risco devido à ingestão de metais(óides) em produtos à base de cereais

A ingestão diária estimada (ID) de elementos-traço em produtos à base de cereais, calculada para cenários de consumo de 30 g/dia e 90 g/dia, é apresentada na Tabela 7. Elementos essenciais como Fe, K, Mg e P apresentaram os maiores valores de ingestão em todas as marcas, enquanto elementos tóxicos como Pb foram detectados em concentrações muito baixas, com algumas marcas apresentando valores abaixo do limite de detecção. Essa variabilidade reforça a necessidade de avaliar múltiplos produtos dentro do mesmo grupo alimentar, a fim de estimar de forma mais precisa as exposições em nível populacional.

De modo geral, embora os elementos essenciais (Fe, K, Mg, P, Zn) possam contribuir de forma benéfica para a ingestão dietética, o potencial acúmulo de elementos não essenciais ou tóxicos (Pb, Ni, V) não deve ser negligenciado. Os valores de ID calculados fornecem uma base quantitativa para as avaliações subsequentes do quociente de perigo (HQ) e do índice de perigo (HI), que são necessários para determinar se o consumo de cereais representa riscos potenciais à saúde em diferentes cenários de exposição.

A Figura 2 sintetiza os valores de ingestão diária (ID, mg/dia) dos elementos quantificados nos produtos à base de cereais, para dois cenários de consumo: (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia. Os números foram extraídos da Tabela 8 – Ingestão Diária (ID, mg/dia) e, quando um determinado elemento/marca aparece < LOD, esse ponto não foi considerado na representação (equivalente a zero no gráfico), apenas para permitir a comparação visual entre elementos.

Figura 2. Ingestão diária média (ID, mg/dia) de elementos quantificados em produtos à base de cereais, considerando (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia, com barras de erro representando a variação entre marcas (n=8). Escala logarítmica (base 10), sem barras de erros.



Fonte: Autora (2024)

O eixo y foi representado em escala logarítmica (base 10), o que evita o “achatamento” dos micronutrientes na presença de macroelementos muito mais abundantes e possibilita a leitura simultânea de ordens de grandeza distintas. As barras representam a média entre as oito marcas avaliadas. As barras de erro (média $\pm$ DP) não foram inseridas na figura, uma vez que tornariam o gráfico visualmente carregado e prejudicariam a clareza na comparação entre os elementos.

Do ponto de vista comparativo, a figura evidencia que os macroelementos fósforo (P) e potássio (K) são, os maiores contribuintes para a ID entre os produtos avaliados, seguidos por magnésio (Mg). Em um segundo patamar aparecem ferro (Fe) e zinco (Zn), com contribuições intermediárias, mas ainda relevantes do ponto de vista nutricional. Elementos como cobre (Cu), manganês (Mn), selênio (Se), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e vanádio (V) mostram-se em faixas de microgramas a miligramas por dia, refletindo seu papel de micronutrientes/traços ou, no caso de alguns, de interesse toxicológico. O chumbo (Pb), quando detectado, apresenta ingestões muito baixas; em vários produtos ele permanece abaixo do limite de detecção (LOD), conforme já indicado na Tabela 8.

Tabela 8. Ingestão Diária (ID, mg/dia) de produtos à base de cereais em 30 g/dia e 90 g/dia.

Elemento	Marca 1 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 2 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 3 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 4 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 5 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 6 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 7 (30 g/dia / 90 g/dia)	Marca 8 (30 g/dia / 90 g/dia)
Cu	0,035 / 0,105	0,027 / 0,082	0,050 / 0,151	0,030 / 0,090	0,060 / 0,181	0,039 / 0,116	0,140 / 0,419	0,169 / 0,506
Fe	6,780 / 20,340	7,916 / 23,747	8,993 / 26,979	2,434 / 7,301	2,697 / 8,092	2,485 / 7,456	3,613 / 10,838	3,544 / 10,632
K	29,901 / 89,704	45,503 / 136,508	18,442 / 55,326	120,750 / 362,249	214,125 / 642,375	65,880 / 197,639	57,097 / 171,291	94,733 / 284,200
Mg	5,079 / 15,236	6,472 / 19,416	8,075 / 24,224	9,991 / 29,973	13,014 / 39,042	10,664 / 31,991	9,132 / 27,395	9,783 / 29,348
Mn	0,205 / 0,614	0,185 / 0,554	0,351 / 1,054	0,232 / 0,696	0,600 / 1,799	0,453 / 1,359	0,456 / 1,368	0,495 / 1,486
Mo	0,015 / 0,044	0,009 / 0,026	0,016 / 0,048	0,013 / 0,040	0,010 / 0,031	0,008 / 0,023	0,007 / 0,020	0,009 / 0,027
Ni	0,006 / 0,018	0,003 / 0,010	0,009 / 0,028	0,004 / 0,012	0,006 / 0,019	0,004 / 0,012	0,002 / 0,006	0,016 / 0,048
P	59,846 / 179,539	67,172 / 201,517	45,357 / 136,070	115,169 / 345,506	181,405 / 544,214	110,323 / 330,968	101,661 / 304,982	84,096 / 252,287
Pb	0,005 / 0,016	0,005 / 0,015	0,006 / 0,018	0,012 / 0,037	0,003 / 0,010	< LOD	< LOD	< LOD
Se	0,040 / 0,121	0,041 / 0,123	0,047 / 0,141	0,044 / 0,131	0,038 / 0,114	0,032 / 0,097	0,033 / 0,098	0,029 / 0,088
Si	0,592 / 1,776	0,787 / 2,361	1,729 / 5,188	1,270 / 3,810	1,440 / 4,320	1,008 / 3,024	0,802 / 2,407	0,575 / 1,724
V	0,010 / 0,030	0,014 / 0,043	0,019 / 0,056	0,025 / 0,076	0,038 / 0,113	0,027 / 0,080	0,024 / 0,072	0,027 / 0,080
Zn	2,341 / 7,024	2,005 / 6,015	1,036 / 3,113	0,923 / 2,770	0,478 / 1,435	0,369 / 1,108	2,131 / 6,392	1,776 / 5,327

Fonte: Autora (2024)

Como esperado, ao se comparar as duas barras de cada elemento, observa-se que o cenário de 90 g/dia é aproximadamente três vezes superior ao de 30 g/dia para todos os elementos. Essa proporcionalidade decorre diretamente da forma de cálculo da ID ($ID = \text{concentração} \times \text{massa ingerida}$) e é útil para contextualizar como o aumento de porção impacta a exposição mineral e a exposição a contaminantes. Assim, embora os tóxicos (p.ex., Pb e Ni) apresentem valores absolutos baixos, a elevação do consumo aumenta sua contribuição para os cálculos subsequentes de CDI, HQ e HI (apresentados em seções posteriores).

Em conjunto, a Figura 2 e a Tabela 8 delineiam um panorama claro: P e K dominam a ingestão mineral, Mg, Fe e Zn contribuem de modo consistente, e os elementos-traço aparecem em baixos níveis, ainda que relevantes para a avaliação de risco em cenários de consumo mais elevado.

5.3 Resultados – Ingestão Diária Crônica (CDI)

Os valores de ingestão diária crônica (CDI) dos produtos à base de cereais analisados estão resumidos nas Tabelas 9 (IR = 30 g/dia) e 10 (IR = 90 g/dia), considerando um peso corporal infantil de 18,37 kg. Como esperado, o aumento da taxa de ingestão de 30 g/dia para 90 g/dia resultou em um incremento proporcional de três vezes nos valores de CDI para todos os elementos e marcas.

Tabela 9. Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg/dia) para produtos à base de cereais por marca.

Parâmetros: IR = 30 g/dia, EF = 365 dias/ano, ED = 1 ano, AT = 365 dias, BW = 18,37 kg.

Elemento	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8
Cu	0,001899	0,001491	0,002747	0,001633	0,003292	0,002107	0,007602	0,009185
Fe	0,369078	0,430907	0,435109	0,132487	0,146829	0,135301	0,196658	0,192928
K	1,627731	2,477012	2,637016	6,573206	11,656233	3,586256	3,108168	5,156951
Mg	0,276457	0,352308	0,439555	0,543870	0,708439	0,580496	0,497092	0,532530
Mn	0,011141	0,010533	0,019122	0,012161	0,032639	0,024660	0,024830	0,026961
Mo	0,000800	0,000465	0,000867	0,000727	0,000554	0,000412	0,000371	0,000483
Ni	0,000321	0,000190	0,000509	0,000176	0,000346	0,000211	0,000108	0,000874
P	3,257749	3,656641	5,312102	6,262995	9,875043	6,055580	5,534054	4,577881
Pb	0,000284	0,000265	0,000329	0,000671	0,000182	0,000436	< LOD	< LOD
Se	0,002194	0,002229	0,002556	0,002386	0,002070	0,001769	0,001782	0,001595
Si	0,032226	0,042844	0,094298	0,042658	0,078384	0,069139	0,043677	0,031279
V	0,000540	0,000748	0,001221	0,001379	0,002399	0,001495	0,001296	0,001444
Zn	0,127453	0,109145	0,138145	0,050272	0,026046	0,020112	0,115990	0,096655

Fonte: Autora (2024)

Tabela 10. Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg/dia) para produtos à base de cereais por marca.

Parâmetros: IR = 90 g/dia, EF = 365 dias/ano, ED = 1 ano, AT = 365 dias, BW = 18,37kg.

Elemento	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8
Cu	0,005697	0,004474	0,008241	0,004899	0,009876	0,006320	0,022806	0,027555
Fe	1,107235	1,292722	1,305328	0,397460	0,440487	0,405902	0,589973	0,578783
K	4,883193	7,431036	7,911049	19,719617	34,968699	10,758768	9,324505	15,470853
Mg	0,829372	1,056924	1,318664	1,631611	2,125318	1,741488	1,491276	1,597591
Mn	0,033423	0,031600	0,057366	0,037862	0,097917	0,073979	0,074489	0,080852
Mo	0,002401	0,001396	0,002602	0,002170	0,001661	0,001235	0,001090	0,001450
Ni	0,000964	0,000570	0,001526	0,000528	0,001038	0,000632	0,000323	0,002623
P	9,773246	10,969922	15,936305	18,807884	29,625129	18,016741	16,602163	13,733642
Pb	0,000851	0,000795	0,000988	0,002013	0,000547	0,001308	< LOD	< LOD
Se	0,006528	0,006688	0,007667	0,007158	0,006209	0,005306	0,005346	0,004785
Si	0,096678	0,128533	0,282895	0,127955	0,235151	0,207416	0,131032	0,093836
V	0,001620	0,002243	0,003062	0,004136	0,006147	0,004486	0,003896	0,004332
Zn	0,382360	0,327434	0,414436	0,150815	0,078139	0,060335	0,347970	0,289965

Fonte: Autora (2024)

Entre os elementos essenciais, o potássio (K) e o fósforo (P) apresentaram os maiores valores de CDI, especialmente na Marca 5, que atingiu 11,65 e 9,87 mg/kg·dia em IR = 30 g/dia, e 34,97 e 29,63 mg/kg·dia em IR = 90 g/dia, respectivamente. Outros nutrientes essenciais como magnésio (Mg), ferro (Fe) e zinco (Zn) também mostraram contribuições relevantes, com a Marca 5 e a Marca 4 geralmente apresentando valores mais elevados em comparação com os demais produtos.

Para o elemento tóxico chumbo (Pb), os valores de CDI foram consistentemente baixos, variando de 0,00018 a 0,00046 mg/kg·dia em IR = 30 g/dia, e de 0,00055 a 0,00130 mg/kg·dia em IR = 90 g/dia. Notavelmente, o Pb esteve abaixo do limite de detecção nas Marcas 7 e 8, indicando uma exposição limitada proveniente desses produtos em relação ao chumbo.

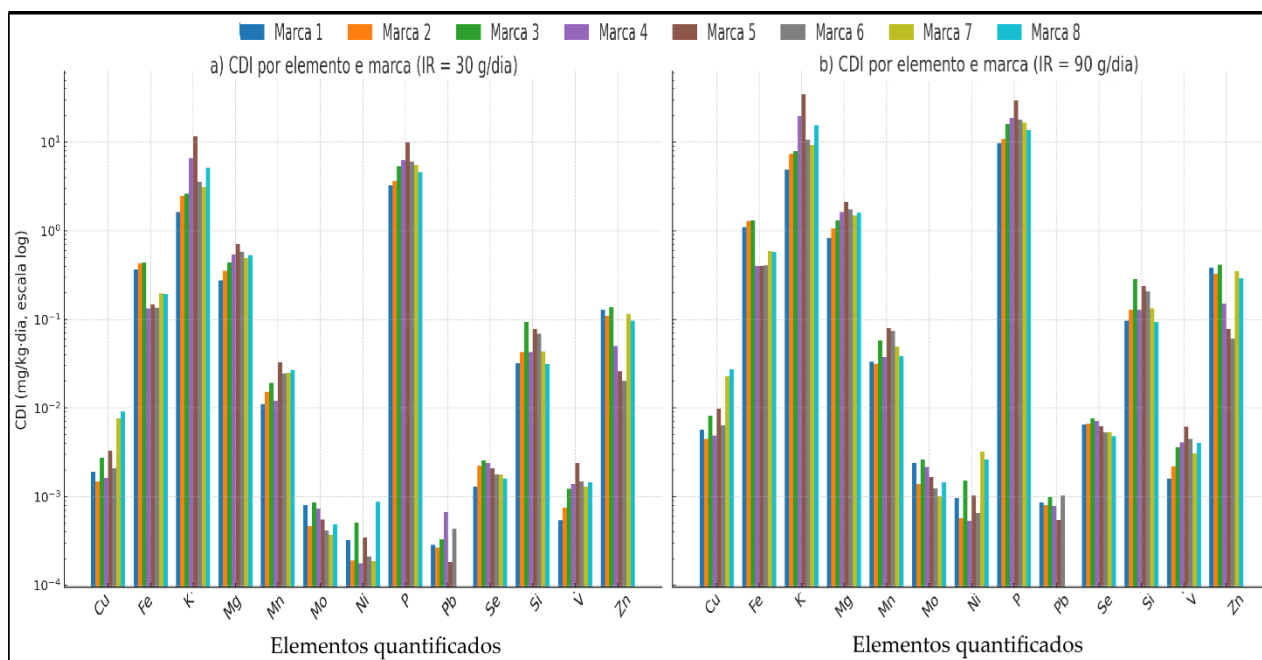
De modo geral, os resultados destacam a grande variabilidade entre as marcas, com a Marca 5 apresentando a maior exposição dietética para a maioria dos elementos, enquanto as Marcas 1 e 2 permaneceram em níveis intermediários. Os valores de CDI calculados fornecem a base para a caracterização subsequente de risco por meio do quociente de perigo (HQ) e do índice de perigo (HI).

Os valores calculados de HQ para cada elemento e marca, assim como o HI, estão apresentados nas Tabelas 10 (IR = 30 g/dia) e 11 (IR = 90 g/dia). Para IR = 30 g/dia, os valores de

HI variaram de 3,30 (Marca 1) a 4,81 (Marca 5). Para IR = 90 g/dia, os valores de HI aumentaram proporcionalmente, variando de 9,83 (Marca 1) a 14,44 (Marca 5).

Outra maneira de observarmos os dados da tabela 9 e 10 é através de uma figura. Ou seja, neste caso temos a Figura 3 que apresenta a Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg·dia) para os elementos quantificados em produtos à base de cereais, considerando dois cenários de consumo: a) 30 g/dia e b) 90 g/dia. Esses valores foram calculados a partir dos dados apresentados nas Tabelas 9 e 10, nas quais a CDI foi estimada segundo os parâmetros estabelecidos (IR = 30 g/dia ou 90 g/dia, EF = 365 dias/ano, ED = 1 ano, AT = 365 dias, BW = 18,37 kg).

Figura 3. CDI médio por elemento para 30 g/dia e 90 g/dia (derivado das Tabelas 9 e 10; BW = 18,37 kg).



Fonte: Autora (2024)

A representação gráfica dos resultados permite uma visualização comparativa mais clara entre os diferentes elementos e os dois cenários de ingestão. Enquanto nas tabelas os valores individuais de cada marca estão detalhados, no gráfico foi possível sintetizar os resultados em médias por elemento, o que facilita a identificação de tendências gerais e a comparação entre minerais essenciais (como Fe, Zn, Mg e K) e elementos potencialmente tóxicos (como Pb, Ni e V).

A utilização da escala logarítmica (base 10) no eixo vertical constitui uma vantagem importante, pois possibilita representar em um mesmo gráfico elementos cujos valores de CDI variam em diversas ordens de grandeza. Dessa forma, elementos presentes em concentrações muito baixas (ex.: Pb, Mo, Ni) podem ser visualizados de forma proporcional junto a elementos majoritários (ex.: K, Mg, P), permitindo a análise integrada sem distorções.

Em síntese, a Figura 3 contribui para uma interpretação mais intuitiva e abrangente dos dados apresentados nas Tabelas 9 e 10, evidenciando o impacto do aumento no consumo (a) 30 g/dia para b) 90 g/dia) sobre a exposição crônica aos diferentes elementos analisados.

5.4 Resultados – Avaliação de risco não carcinogênico

Os valores calculados do Quociente de Perigo (HQ) para cada elemento e marca, assim como o Índice de Perigo (HI), estão apresentados nas Tabelas 11 (IR = 30 g/dia) e 12 (IR = 90 g/dia). Para IR = 30 g/dia, os valores de HI variaram de 3,30 (Marca 1) a 4,81 (Marca 5). Para IR = 90 g/dia, os valores de HI aumentaram proporcionalmente, variando de 9,83 (Marca 1) a 14,44 (Marca 5).

Tabela 11. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais em IR = 30 g/dia (BW = 18,37 kg).

Elemento	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8
Cu	0,047	0,037	0,069	0,041	0,082	0,053	0,190	0,230
Fe	0,527	0,616	0,622	0,189	0,210	0,193	0,281	0,276
Mg	0,023	0,029	0,037	0,045	0,059	0,048	0,041	0,044
Mn	0,464	0,419	0,797	0,526	1,360	1,028	1,035	1,124
Mo	0,160	0,093	0,173	0,145	0,111	0,082	0,074	0,097
Ni	0,016	0,010	0,025	0,009	0,012	0,011	0,005	0,044
Pb	0,660	0,616	0,765	1,560	0,423	1,014	< LOD	< LOD
Se	0,439	0,446	0,511	0,477	0,414	0,354	0,356	0,319
V	0,540	0,748	1,021	1,379	2,049	1,495	1,290	1,144
Zn	0,425	0,364	0,460	0,168	0,087	0,067	0,387	0,322
HI	3,30	3,37	4,08	4,49	4,81	4,34	4,62	3,60

Fonte: Autora (2024)

Os valores apresentados na Tabela 11, que representam os cálculos do Quociente de Perigo (HQ) e do Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais considerando uma ingestão

de 30 g/dia (BW = 18,37 kg), bem como aqueles da Tabela 12, referentes ao cenário de ingestão de 90 g/dia (BW = 18,37 kg), estão reunidos na Figura 4. Essa figura, construída a partir dos dados das Tabelas 11 e 12, mostra os valores médios do HQ para cada elemento avaliado, além do HI cumulativo, permitindo a comparação direta entre os dois cenários de consumo (30 g/dia e 90 g/dia) em produtos à base de cereais.

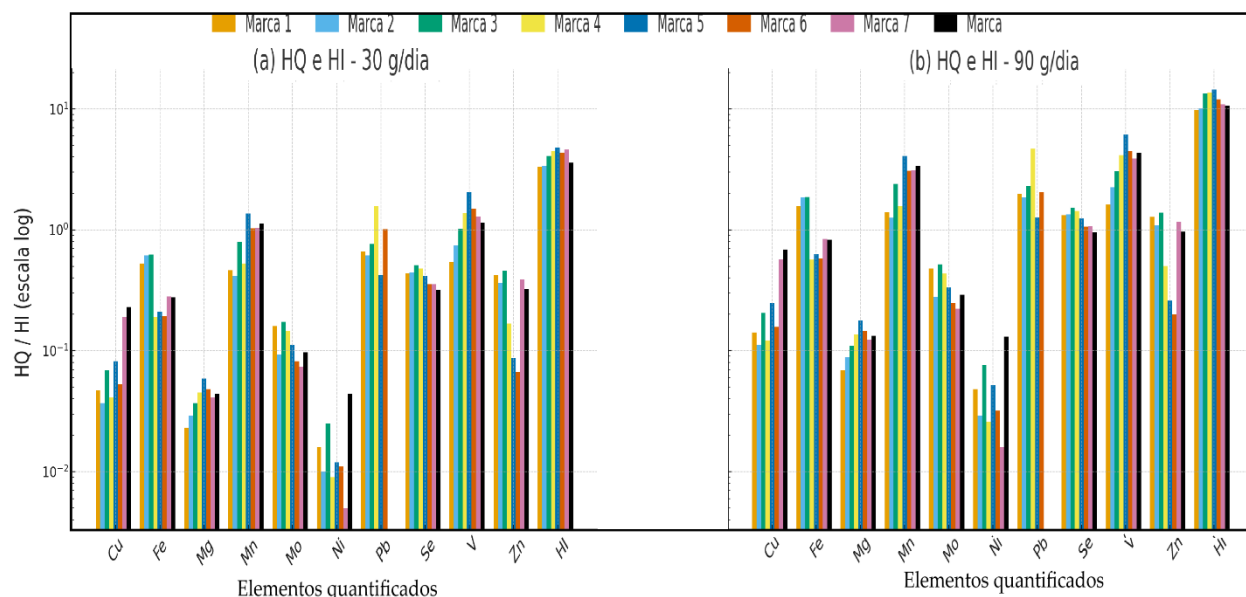
Tabela 12. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais em IR = 90 g/dia (BW = 18,37 kg).

Elemento	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8
Cu	0,142	0,112	0,206	0,122	0,247	0,158	0,570	0,689
Fe	1,582	1,847	1,865	0,568	0,629	0,580	0,843	0,827
Mg	0,069	0,088	0,110	0,136	0,177	0,145	0,124	0,133
Mn	1,393	1,257	2,390	1,578	4,080	3,082	3,104	3,370
Mo	0,480	0,279	0,520	0,434	0,332	0,247	0,222	0,290
Ni	0,048	0,029	0,076	0,026	0,052	0,032	0,016	0,131
Pb	1,980	1,849	2,298	4,681	1,272	3,042	< LOD	< LOD
Se	1,316	1,338	1,533	1,432	1,242	1,061	1,069	0,957
V	1,620	2,243	3,062	4,138	6,147	4,486	3,895	4,332
Zn	1,275	1,091	1,381	0,503	0,260	0,201	1,160	0,967
HI	9,83	10,14	13,44	13,66	14,44	12,03	10,90	10,60

Fonte: Autora (2024)

No cenário de 30 g/dia, observa-se que a maioria dos elementos individuais apresenta HQ inferior a 1, sugerindo baixo risco não carcinogênico quando avaliados isoladamente. Entretanto, elementos como manganês (Mn), vanádio (V) e chumbo (Pb) apresentaram valores próximos ou superiores a esse limiar em determinadas marcas, sinalizando a necessidade de atenção especial para exposições específicas. Mais relevante, contudo, é que o valor médio de HI foi superior a 1 em todas as marcas, variando entre 3,30 e 4,81. Esse achado indica que, mesmo em uma porção relativamente reduzida de consumo, o efeito combinado da mistura de elementos pode representar risco à saúde, reforçando a importância de considerar o risco agregado e não apenas valores individuais de HQ.

Figura 4. Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI) para produtos à base de cereais considerando dois cenários de ingestão: (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia. Os valores foram calculados a partir das Tabelas 11 e 12, utilizando os parâmetros de exposição estabelecidos (BW = 18,37 kg; EF = 365 dias/ano; ED = 1 ano; AT = 365 dias). O eixo y está em escala logarítmica (base 10), permitindo melhor visualização da magnitude relativa entre elementos essenciais e tóxicos.



Fonte: Autora (2024)

No cenário de 90 g/dia, a tendência de aumento do risco torna-se evidente. Elementos como ferro (Fe), manganês (Mn), vanádio (V), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn) ultrapassaram consistentemente o valor de referência ($HQ \geq 1$), reforçando o potencial de efeitos adversos não carcinogênicos mesmo quando analisados isoladamente. Ainda mais expressivo, o HI médio variou entre 9,83 e 14,44, ou seja, uma ordem de grandeza acima do limite considerado seguro. Esse resultado evidencia que o consumo elevado de cereais complementares pode expor crianças a níveis cumulativos de elementos potencialmente tóxicos muito acima do tolerável, configurando risco significativo à saúde, especialmente em faixas etárias mais vulneráveis.

Assim, a análise comparativa entre os dois cenários revela que, embora alguns elementos essenciais desempenhem papel importante para o desenvolvimento infantil, a presença concomitante de elementos potencialmente tóxicos eleva substancialmente o risco quando consideradas porções maiores de consumo. Esses achados reforçam a necessidade de

monitoramento contínuo, avaliação rigorosa das formulações comerciais e definição de limites regulatórios mais protetivos, de modo a assegurar que a ingestão diária de cereais complementares não comprometa a saúde infantil.

6. DISCUSSÃO

Na Tabela 7, observa-se que a composição elementar dos oito produtos à base de cereais apresentou padrões consistentes, com arsênio (As), cobalto (Co), cádmio (Cd) e cromo (Cr) permanecendo abaixo do limite de quantificação (LOD) em todas as amostras, indicando baixa contribuição desses elementos para a dieta a partir dos produtos avaliados. Em contraste, fósforo (P) e potássio (K) se destacaram como os elementos predominantes, ainda que sua proporção relativa variasse entre as marcas, refletindo diferenças nas matérias-primas utilizadas.

A Figura 1 sintetiza de forma visual esses resultados, facilitando a comparação entre os elementos detectados. A escala logarítmica ($\log_{10}$) empregada no eixo da ordenada permite evidenciar tanto os macroelementos, presentes em concentrações elevadas (como P, K e Mg), quanto os microelementos e oligoelementos (como Cu, Mn, Zn e Mo), que aparecem em menores concentrações. Essa representação gráfica destaca a expressiva predominância de P e K em relação aos demais elementos, corroborando sua importância nutricional nos produtos à base de cereais.

Além disso, ao relacionar os resultados com as formulações, verifica-se que as Marcas 1–4 e 7, compostas principalmente por trigo e arroz, apresentaram maior contribuição de fósforo, enquanto o potássio prevaleceu nas Marcas 5 e 8, associadas à inclusão de ingredientes como aveia, cevada ou cacau (Tabela 1). Dessa forma, a Figura 1 não apenas confirma os dados da Tabela 7, mas também proporciona uma visão mais clara da amplitude de variação entre os elementos, permitindo compreender de maneira integrada o perfil mineral dos cereais analisados.

Magnésio (Mg) e ferro (Fe) seguiram consistentemente como constituintes majoritários na Tabela 7, enquanto zinco (Zn), silício (Si) e manganês (Mn) ocuparam posições intermediárias, refletindo a contribuição dos grãos integrais e ingredientes de processamento. Selênio (Se), cobre (Cu), molibdênio (Mo), vanádio (V) e níquel (Ni) apareceram em níveis mais baixos, embora o selênio tenha sido relativamente mais elevado em algumas formulações à base de trigo (por exemplo, Marca 4). O chumbo (Pb) foi detectado em vários produtos (Marcas 1–5), mas permaneceu abaixo do limite de detecção nas Marcas 6–8, indicando diferenças na qualidade da matéria-prima e nas práticas de fabricação. Esses padrões são claramente reforçados na Figura 1, que evidencia visualmente a predominância de Mg e Fe, a posição intermediária de Zn, Si e Mn e a baixa contribuição relativa de Se, Cu, Mo, V e Ni.

A ordem de predominância dos elementos variou conforme a marca (Tabela 7, Figura 1), com formulações à base de trigo e arroz (Tabela 1) mostrando perfis ricos em fósforo, enquanto

produtos contendo aveia ou cacau se deslocaram para a predominância de potássio. Esses achados ressaltam a influência da seleção de matérias-primas e da formulação do produto na composição mineral dos alimentos à base de cereais. De fato, a análise estatística revelou variabilidade intermarcas significativa nas concentrações de elementos essenciais e traço (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$). Potássio e fósforo foram os elementos predominantes, com a Marca 5 apresentando níveis marcadamente mais altos, refletidos também em magnésio e manganês. O ferro foi significativamente maior nas Marcas 1–3, enquanto o zinco variou inversamente, com a Marca 3 no nível mais alto e a Marca 5 no mais baixo. Cobre e níquel foram mais elevados nas Marcas 7 e 8, enquanto a Marca 4 apresentou a maior concentração de chumbo, em contraste com Pb indetectável nas Marcas 6–8. Selênio, silício e vanádio também mostraram variação significativa, mas dependente da marca. Portanto, os resultados confirmam que a composição elementar dos produtos à base de cereais é altamente heterogênea e fortemente influenciada por formulações e práticas de enriquecimento específicas de cada marca. Além disso, a figura deixa claro que os valores de concentração de cada elemento quantificados nas amostras.

As concentrações de elementos essenciais e traço quantificadas nos produtos (Tabela 7) foram comparadas com os intervalos de referência estabelecidos pela U.S. Food and Drug Administration (FDA) para cereais, conforme o Total Diet Study (TDS) (UNITED STATES, 2022). A seguir, os resultados são apresentados de forma organizada por elemento, facilitando a leitura e a interpretação dos dados.

Em relação aos macronutrientes e micronutrientes essenciais, o cobre (Cu) apresentou concentrações entre $0,9131 \pm 0,0386$ e $5,6243 \pm 0,0132$ mg/kg, superiores ao intervalo de referência norte-americano (0,318–0,470 mg/kg). O ferro (Fe) variou de $81,126 \pm 1,963$ a $266,432 \pm 6,657$ mg/kg, situando-se, em geral, dentro dos valores de referência estabelecidos (95,462–333,333 mg/kg). Por outro lado, o magnésio (Mg) apresentou concentrações entre $169,284 \pm 1,904$ e $433,801 \pm 10,551$ mg/kg, sistematicamente superiores à faixa recomendada (66–109 mg/kg).

De forma semelhante, o manganês (Mn) apresentou valores entre $6,156 \pm 0,090$ e $19,986 \pm 0,526$ mg/kg, excedendo o intervalo de comparação (0,530–2,892 mg/kg). O potássio (K) variou de $996,714 \pm 17,50$ a $7137,50 \pm 115,978$ mg/kg, com a maioria das amostras acima dos limites de referência (548–1200 mg/kg). O fósforo (P) também apresentou concentrações elevadas, variando de $1994,828 \pm 19,092$ a $6046,818 \pm 116,263$ mg/kg, acima dos valores fixados pela FDA (510–647 mg/kg).

No caso dos elementos traço, as concentrações de zinco (Zn) oscilaram entre $12,315 \pm 2,161$ e $84,591 \pm 1,220$ mg/kg, abrangendo valores compatíveis e superiores à faixa de referência ($1,667\text{--}19,923$ mg/kg). O molibdênio (Mo) apresentou concentrações entre $0,227 \pm 0,034$ e $0,531 \pm 0,038$ mg/kg, com sobreposição parcial em relação à faixa de comparação ($0,144\text{--}0,160$ mg/kg). Por sua vez, o selênio (Se) variou de $0,9767 \pm 0,1140$ a $1,465 \pm 0,186$ mg/kg, com valores acima do intervalo considerado seguro ($0,017\text{--}0,032$ mg/kg).

Além desses elementos, os teores de vanádio (V) e chumbo (Pb) foram observados em concentrações superiores aos limites de segurança estabelecidos, de $0,001$ mg/kg e $0,0015$ mg/kg, respectivamente. Por outro lado, para níquel (Ni) e silício (Si), não existem valores de referência definidos pelas autoridades norte-americanas, o que limita comparações diretas.

De maneira geral, essa comparação com os valores de referência da FDA indica que diversos elementos, especialmente Cu, Mg, Mn, K, P, Zn, Se, V e Pb, apresentaram concentrações superiores aos intervalos estabelecidos no Total Diet Study (UNITED STATES, 2022), reforçando a necessidade de uma avaliação cuidadosa desses resultados no contexto da exposição dietética.

Esses níveis elevados podem ser explicados pela formulação e pela composição das matérias-primas (Tabela 1). Produtos dominados por trigo e arroz (Marcas 1–2) apresentaram P, K, Fe e Mg como mais abundantes, consistentes com estudos de composição mineral de farinhas (CIUDAD-MULERO et al., 2021; TAN; NORHAIZAN; CHAN, 2023). A Marca 3, com farinha de aveia integral, mostrou níveis mais elevados de Zn e Si, refletindo a contribuição natural da aveia (ALEMAYEHU et al., 2021). As altas concentrações de K, P, Mg e Mn na Marca 5 derivam da inclusão de trigo integral, cevada e aveia, em linha com evidências de que grãos integrais retêm mais minerais do que produtos refinados (SALAMON et al. 2023; LESZCZYŃSKA et al., 2023).

Comparações com estudos prévios indicam que nossos valores são mais altos para vários elementos, atribuídos ao uso de grãos integrais, aveia, cevada ou farinhas fortificadas. Alemu et al. (2022) relataram valores bem menores em farinhas de trigo etíopes, enquanto Kumar et al. (2024) mostraram médias globais históricas ainda mais baixas para arroz. Assim, nossos resultados refletem não apenas a diversidade de matérias-primas, mas também o impacto de práticas de fortificação.

Kayisoglu et al. (2025) demonstraram que o processamento do trigo pode redistribuir ou até introduzir metais como Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn, com farinhas refinadas apresentando níveis bem mais baixos do que frações de farelo. Isso é relevante para nossas amostras à base de

trigo (Marcas 2, 4, 5 e 6), que apresentaram níveis elevados de Fe, Zn e Cu, refletindo tanto a composição intrínseca dos grãos quanto efeitos de processamento.

A Figura 2 apresenta a síntese dos valores de ingestão diária (ID, mg/dia) dos elementos quantificados nos produtos à base de cereais, considerando dois cenários de consumo: (a) 30 g/dia e (b) 90 g/dia. Os resultados foram extraídos da Tabela 8 – Ingestão Diária (ID, mg/dia). Do ponto de vista nutricional, observou-se que fósforo (P) e potássio (K) foram os principais contribuintes para a ingestão diária, seguidos por magnésio (Mg), corroborando seu papel predominante como macronutrientes nos produtos avaliados. Em um segundo nível de contribuição situaram-se ferro (Fe) e zinco (Zn), cuja ingestão, embora inferior à dos macronutrientes, ainda representa aporte relevante para a dieta infantil. Já elementos como cobre (Cu), manganês (Mn), selênio (Se), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e vanádio (V) ocorreram em faixas de microgramas a miligramas por dia, refletindo tanto seu papel como micronutrientes essenciais quanto seu potencial de interesse toxicológico em casos de ingestão excessiva. O chumbo (Pb), quando detectado, apresentou valores de ingestão muito baixos e, em várias marcas, manteve-se abaixo do limite de detecção (LOD), revelando diferenças na qualidade da matéria-prima ou nos processos produtivos.

No geral, os resultados evidenciam que tanto a seleção de matérias-primas quanto o processamento tecnológico desempenham papel decisivo na composição mineral dos produtos. O ID (mg/dia) dos elementos em 30 g/dia e 90 g/dia (Tabela 8) mostrou que produtos à base de trigo e arroz forneceram ingestões moderadas e equilibradas, enquanto aqueles enriquecidos com grãos integrais (Marcas 5 e 6) apresentaram os maiores valores de K, P, Mg e Mn, e produtos à base de cacau (Marcas 7 e 8) foram mais ricos em Cu e Zn, com Pb indetectável.

Ao comparar os valores de ID (Tabela 8) com as Dietary Reference Intakes (DRIs) (NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE, 2019a), verificamos tanto deficiências (K e Mg abaixo dos valores recomendados) quanto potenciais excessos (Fe, Mn, Se e Mo frequentemente acima, mesmo em baixas ingestões). Além disso, vários elementos (Zn, Cu, P) excederam limites quando o consumo foi elevado (90 g/dia).

A comparação da ingestão diária (ID) estimada (Tabela 8) com os Limites Superiores Toleráveis de Ingestão (ULs) (Tolerable Upper Intake Levels), estabelecidos pelas Academias Nacionais de Ciências, Engenharia e Medicina (2019b), mostrou que, embora a maioria dos elementos tenha permanecido abaixo dos limites no cenário de consumo de 30 g/dia, o cenário de 90 g/dia revelou excedências para manganês (Mn), selênio (Se) e zinco (Zn), além de valores

próximos ao limite para ferro (Fe) e magnésio (Mg), indicando potenciais riscos à saúde infantil descritos na literatura.

Como esperado, o cenário de 90 g/dia apresentou valores aproximadamente três vezes superiores aos de 30 g/dia para todos os elementos. Essa proporcionalidade direta, resultado do próprio cálculo de ID ($ID = \text{concentração} \times \text{massa ingerida}$), ilustra de maneira clara como o aumento da porção consumida intensifica tanto a ingestão de nutrientes essenciais quanto a exposição a elementos potencialmente tóxicos. Embora os valores absolutos de Pb e Ni permaneçam baixos, sua contribuição relativa aumento no consumo mais elevado, fato que deve ser considerado nas análises subsequentes de CDI, HQ e HI.

A Figura 3, construída a partir das Tabelas 9 e 10, apresenta a Ingestão Diária Crônica (CDI, mg/kg·dia) dos elementos quantificados em produtos à base de cereais, considerando os cenários de 30 g/dia e 90 g/dia. A representação gráfica, em escala logarítmica (base 10), permite comparar simultaneamente macroelementos (P, K, Mg, Fe, Zn) e elementos-traço de interesse toxicológico (Pb, Ni, V, Mo), evidenciando padrões e contrastes entre as marcas. Observa-se que o aumento do consumo de 30 g/dia para 90 g/dia gera acréscimo proporcional e consistente da CDI para todos os elementos, reforçando que não apenas a presença dos elementos, mas também o tamanho da porção ingerida, influencia diretamente o risco associado à exposição crônica.

A análise dos valores de CDI (Tabelas 9 e 10) em comparação com os Minimal Risk Levels (MRLs) da Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (2025) reforça essa preocupação: em 30 g/dia, todos os elementos permaneceram abaixo dos MRLs, mas em 90 g/dia Cu, Se e Zn excederam os valores de referência, sugerindo riscos crônicos associados.

Os valores de Quociente de Perigo (HQ) e Índice de Perigo (HI), apresentados nas Tabelas 11 e 12 e sintetizados na Figura 4, permitem discutir de forma mais aprofundada os riscos não carcinogênicos associados ao consumo de produtos à base de cereais em dois cenários distintos: 30 g/dia e 90 g/dia. A avaliação de HQ e HI (Tabelas 11 e 12) confirmou riscos não carcinogênicos cumulativos:

- Em 30 g/dia, $HQ > 1,0$ foi observado para V, Mn e Pb, com HI variando de 3,30 a 4,81.
- Em 90 g/dia, $HQ > 1,0$ foi ainda mais frequente para Fe, Mn, Pb, V e Se, com HI variando de 9,83 a 14,44.

Esses resultados indicam que, apesar do papel positivo desses produtos na ingestão de nutrientes essenciais, o consumo diário prolongado pode representar riscos à saúde infantil,

reforçando a necessidade de monitoramento contínuo, formulação equilibrada e controle de qualidade rigoroso em alimentos destinados a crianças.

No cenário de 30 g/dia, a maioria dos elementos individualmente apresentou HQ inferior a 1, o que sugere baixo risco não carcinogênico quando avaliados isoladamente. Contudo, manganês (Mn), vanádio (V) e chumbo (Pb) atingiram valores próximos ou superiores a esse limiar em algumas marcas, indicando situações específicas de maior preocupação. Ainda mais relevante, todos os valores médios de HI superaram o valor de referência ($HI > 1$), variando entre 3,30 e 4,81. Esse resultado demonstra que, mesmo em uma ingestão relativamente modesta, o risco cumulativo decorrente da mistura de elementos não pode ser negligenciado, uma vez que a interação de múltiplos componentes pode amplificar os efeitos adversos.

Quando considerado o cenário de 90 g/dia, observa-se uma intensificação expressiva do risco. Elementos como ferro (Fe), manganês (Mn), vanádio (V), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn) ultrapassaram consistentemente o limiar de segurança ($HQ \geq 1$), configurando risco não carcinogênico relevante mesmo de forma isolada. O valor médio de HI, por sua vez, variou de 9,83 a 14,44 aproximadamente uma ordem de grandeza acima do nível de referência, reforçando o caráter crítico da exposição cumulativa. Esses achados sugerem que o consumo elevado de cereais complementares pode resultar em cargas de exposição mineral e tóxica muito acima do tolerável, com potenciais repercussões para a saúde de crianças, um grupo particularmente vulnerável.

A análise integrada dos dados indica que, embora alguns dos elementos avaliados desempenhem papéis essenciais no crescimento e no desenvolvimento infantil, a presença simultânea de minerais em níveis elevados e de contaminantes potencialmente tóxicos pode representar um fator de risco, especialmente em cenários de maior ingestão. Nesse contexto, os resultados obtidos contribuem para a compreensão da exposição dietética combinada e evidenciam a importância de considerar o risco cumulativo na interpretação dos perfis elementares observados em produtos à base de cereais, particularmente quando direcionados ao consumo infantil.

7. CONCLUSÕES

Este estudo quantificou As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Mo, Ni, P, Pb, Se, Si, V e Zn em produtos à base de cereais amplamente consumidos como alimentos complementares por crianças brasileiras, utilizando ICP OES. Arsênio, cádmio, cobalto e cromo permaneceram consistentemente abaixo dos limites de detecção, enquanto fósforo e potássio predominaram em todas as marcas, seguidos por Fe, Zn e Mg. Foi observada variabilidade significativa entre os produtos, refletindo diferenças na composição das matérias-primas, nas práticas de fortificação e no processamento.

Os achados fornecem uma caracterização abrangente da composição elementar de oito produtos à base de cereais consumidos por crianças, revelando heterogeneidade acentuada, influenciada pela formulação e pela seleção de ingredientes. Fósforo e potássio surgiram consistentemente como os elementos predominantes, enquanto Mg, Fe e Zn também contribuíram de forma substancial para a carga mineral total. Notavelmente, elementos tóxicos como o Pb foram detectados em algumas marcas, mas ausentes em outras, ressaltando a variação dependente da marca na qualidade da matéria-prima e nas práticas de fabricação.

As comparações com as concentrações de referência da FDA demonstraram que diversos elementos, incluindo Cu, Mg, Mn, K, P, Zn, Se, V e Pb, estavam presentes em níveis superiores aos intervalos estabelecidos. Além disso, comparações com estudos internacionais confirmaram que nossos produtos frequentemente apresentaram valores mais elevados de Fe, Zn e Mn do que os relatados para farinhas de trigo e arroz, o que é consistente com a inclusão de grãos integrais, aveia, cevada e práticas declaradas de fortificação.

As estimativas de ingestão dietética (ID) mostraram que os produtos à base de cereais contribuem substancialmente para o atendimento das necessidades de nutrientes essenciais, mas, em diversos casos particularmente para Fe, Zn, Mn e Se, as ingestões se aproximaram ou excederam as Ingestões Dietéticas de Referência (DRIs) e até mesmo os Níveis Máximos de Ingestão Tolerável (ULs) para crianças de 1 a 3 anos. A comparação com os Níveis Mínimos de Risco (MRLs) da ATSDR indicou ainda que, sob cenários de alto consumo (90 g/dia), Cu, Se e Zn ultrapassaram os limites toxicológicos, sugerindo possíveis riscos à saúde a longo prazo. A análise do Quociente de Perigo (HQ) e do Índice de Perigo (HI) corroborou esses achados: enquanto o consumo moderado (30 g/dia) já resultou em valores de HI acima do limite de segurança de 1,0, o

maior consumo (90 g/dia) elevou os valores de HI para até 14,4, com Mn, V e Pb sendo os principais contribuintes para o risco total.

Este estudo destaca o duplo papel dos produtos à base de cereais como importantes fontes de micronutrientes para crianças e, ao mesmo tempo, potenciais fontes de exposição excessiva a determinados elementos-traço. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo da composição elementar, maior rigor regulatório sobre práticas de fortificação e atenção às porções consumidas, de forma a garantir a adequação nutricional e minimizar riscos toxicológicos em populações vulneráveis, como crianças pequenas.

REFERÊNCIAS

AGATA, N.; OHTA, M.; YOKOYAMA, K. Production of *Bacillus cereus* emetic toxin (cereulide) in various foods. *International Journal of Food Microbiology*, v. 73, n. 1, p. 23-27, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00692-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00692-4).

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Minimal risk levels (MRLs) for hazardous substances*. August 2025 update. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2025. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/MRLS/mrlslisting.aspx>. Acesso em: 16 set. 2025.

ALEMAYEHU, G. F.; FORSIDO, S. F.; TOLA, Y. B.; TESHAGER, M. A.; ASSEGIE, A. A.; AMARE, E. Proximate, mineral and anti-nutrient compositions of oat grains (*Avena sativa*) cultivated in Ethiopia: implications for nutrition and mineral bioavailability. *Heliyon*, v. 5, n. 7, e07722, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07722>.

ALEMU, W. D.; BULTA, A. L.; DODA, M. B.; KANIDO, C. K. Levels of selected essential and non-essential metals in wheat (*Triticum aestivum*) flour in Ethiopia. *Journal of Nutritional Science*, v. 11, e72, 2022. DOI: 10.1017/jns.2022.70.

AMARH, F. A.; AGORKU, E. S.; VOEGBORLO, R. B.; ASHONG, G. W.; ATONGO, G. A. Health risk assessment of some selected heavy metals in infant food sold in Wa, Ghana. *Heliyon*, v. 9, n. 5, e16225, 12 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16225>.

BAIR, E. C. A narrative review of toxic heavy metal content of infant and toddler foods and evaluation of United States policy. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p. 919913, 27 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.919913>.

BASHIRY, M.; AHANSAZ, A.; BAHRAMINEJAD, M.; AMIRI, B.; KOLAH Douz-NASIRI, A. Prevalence of heavy metals in cereal-based baby foods: protocol of a systematic review study. 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.23088.89602.

BATISTA, F. Z. V.; SOUZA, I. D. de; GARCIA, D. A. Z.; ARAKAKI, D. G.; MEDEIROS, C. S. de A.; ANCEL, M. A. P.; MELO, E. S. de P.; NASCIMENTO, V. A. do. Faeces of *Capybara* (*Hydrochoerus hydrochaeris*) as a bioindicator of contamination in urban environments in Central-West Brazil. *Urban Science*, v. 8, n. 4, p. 151, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci8040151>.

BROWN, T. J.; ELLS, L. J.; NICHOLAS, J.; KNOWLES, B.; MACKINLAY, B. Foods and drinks aimed at infants and young children: evidence and opportunities for action: Appendix 2. *A rapid scoping review examining the role and impact of commercial baby foods and drinks on the diets of children aged 4–36 months*, 2019. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d135b54ed915d3201b33425/Foods_and_drinks_aimed_at_infants_and_young_children_Appendix_2.pdf. Acesso em: 4 mai. 2024.

BUTTE, N. F.; FOX, M. K.; BRIEFEL, R. R.; SIEGA-RIZ, A. M.; DWYER, J. T.; DEMING, D. M.; REIDY, K. C. Nutrient intakes of US infants, toddlers, and preschoolers meet or exceed dietary reference intakes. *Journal of the American Dietetic Association*, v. 110, p. S27–S37, 2010. DOI: 10.1016/j.jada.2010.09.004.

CALABRETTI, A.; CALABRESE, M.; CAMPISI, B.; BOGONI, P. Quality and safety in commercial baby foods. *Journal of Food and Nutrition Research*, v. 5, n. 8, 2017.

CARMONA, A.; ROUDEAU, S.; ORTEGA, R. Molecular mechanisms of environmental metal neurotoxicity: a focus on the interactions of metals with synapse structure and function. *Toxics*, v. 9, n. 198, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9090198>.

CHANDRASIRI, G. U. et al. An assessment on toxic and essential elements in rice (*Oryza sativa* L.) varieties consumed in Sri Lanka. *Applied Biological Chemistry*, v. 65, n. 69, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00689-8>.

CIUDAD-MULERO, M.; MATA LLANA-GONZÁLEZ, M. C.; CALLEJO, M. J.; CARRILLO, J. M.; MORALES, P.; FERNÁNDEZ-RUIZ, V. Durum and bread wheat flours: preliminary mineral characterization and its potential health claims. *Agronomy*, v. 11, p. 108, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010108>.

ČÍŽKOVÁ, H.; ŠEVČÍK, R.; RAJCHL, A.; VOLDŘICH, M. Nutritional quality of commercial fruit baby food. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 27, p. S68-S71, 2009. Supplement (Special Issue).

COSTA, P. V.; VASCONCELLOS, L.; SILVA, I. C. da; MEDEIROS, V. de M.; FORSYTHE, S. J.; BRANDÃO, M. L. L. Multi-locus sequence typing and antimicrobial susceptibility profile of *Cronobacter sakazakii* and *Cronobacter malonaticus* isolated from corn-based farinaceous foods commercialized in Brazil. *Food Research International*, v. 129, p. 108805, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108805>.

DALMAU SERRA, J.; MORENO VILLARES, J. Alimentación complementaria: puesta al día. *Pediatría Integral*, v. 47, p. e1-e4, 2017.

DOBRYŃSKA, M. M.; GAJEWSKA, D.; CHARZEWSKA, J. Selenium in infants and preschool children nutrition. *Nutrients*, v. 15, n. 4668, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15214668>.

DOMFEH, A.; ANIM, A. K.; ASAMOAH, A. Trace metals contamination in varieties of cereal based pediatric foods sold in parts of Accra, Ghana. *Research Square*, 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2493409/v1. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/articles/rs-2493409/v1>. Acesso em: 17 set. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Commission Directive 2006/125/EC on processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children. *Official Journal of the European Union*, L 339, p. 16–35, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *FAO publications catalogue*. O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo 2019. <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en/ca5162en.pdf>.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FDA. Action Levels for Lead in Processed Food Intended for Babies and Young Children: Guidance for Industry; U.S. Food and Drug Administration: Washington, DC, USA, 2025. Available online: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-action-levels-lead-processed-food-intended-babies-and-young-children>. Acesso em: 24 set. 2025.

FREEMAN, V.; VAN'T HOF, M.; HASCHKE, F.; EURO-GROWTH STUDY GROUP. Patterns of milk and food intake in infants from birth to age 36 months: the Euro-growth study. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, v. 31, p. S76–S85, 2000. DOI: 10.1097/00005176-200007001-00008.

GARDENER, H.; BOWEN, J.; CALLAN, S. P. Lead and cadmium contamination in a large sample of United States infant formulas and baby foods. *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 822-827, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30253364/>. Acesso em: 23 mai. 2021.

GERBA, C. P. Risk assessment. In: PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. (ed.). *Environmental and pollution science*. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2006. p. 553.

GIBSON, R. S.; CARRIQUIRY, A.; GIBBS, M. M. Selecting desirable micronutrient fortificants for plant-based complementary foods for infants and young children in low-income countries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, p. 221-224, 2015.

HARRIS, G.; THOMAS, A.; BOOTH, D. A. Development of salt taste in infancy. *Developmental Psychology*, v. 26, n. 4, p. 534-538, 1990.

HASAN, G. M. M. A.; DAS, A. K.; SATTER, M. A. Accumulation of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) grains cultivated in three major industrial areas of Bangladesh. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2022, Article ID 1836597, 8 p., 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/1836597>.

HEBOTO, G. F.; GIZACHEW, M.; BIRHANU, T.; SRINIVASAN, B. Health risk assessment of trace metal concentrations in cereal-based infant foods from Arba Minch Town, Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 135, p. 106621, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106621>.

HURRELL, R.; EGLI, I. Iron bioavailability and dietary reference values. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 91, n. 5, p. 1461S-1467S, 2010.

JAN, A. T.; AZAM, M.; SIDDIQUI, K.; ALI, A.; CHOI, I.; HAQ, Q. M. R. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants.

International Journal of Molecular Sciences, v. 16, p. 29592–29630, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms161226159>.

KAYISOGLU, C.; UZEL, S.; KABAK, B. Redistribution and introduction of heavy metals during wheat milling: a process-based study. *Journal of Cereal Science*, v. 124, p. 104235, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104235>.

KESHAHA, R. D. Heavy metals in baby foods and cereal products. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, v. 10, n. 1, p. 797-809, 2019. DOI: <https://doi.org/10.61841/turcomat.v10i1.14953>.

KHAMONI, J. A.; HAMSHAW, T.; GARDINER, P. H. E. Impact of ingredients on the elemental content of baby foods. *Food Chemistry*, v. 231, p. 309-315, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.143>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617305368>. Acesso em: 23 set. 2025.

KLERKS, M.; BERNAL, J. M.; ROMAN, S.; BODENSTAB, S.; GIL, A.; SANCHEZ-SILES, M. L. Infant cereals: current status, challenges, and future opportunities for whole grains. *Nutrients*, v. 11, p. 473, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11020473>.

KORDAS, K.; CANTORAL, A.; DESAI, G.; HALABICKY, O.; SIGNES-PASTOR, A. J.; TELLEZ-ROJO, M. M.; PETERSON, K. E.; KARAGAS, M. R. Dietary exposure to toxic elements and the health of young children: methodological considerations and data needs. *Journal of Nutrition*, v. 152, p. 2572-2581, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/nxac185>.

KUMAR, A.; KUMAR, V.; RODRÍGUEZ-SEIJO, A.; SETIA, R.; SINGH, S.; KUMAR, A.; SETH, C. S.; SOMMA, R. Appraisal of heavy metal(loid)s contamination in rice grain and associated health risks. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 131, p. 106215, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106215>.

LANGE, C.; VISALLI, M.; JACOB, S.; CHABANET, C.; SCHLICH, P.; NICKLAUS, S. Maternal feeding practices during the first year and their impact on infants' acceptance of complementary food. *Food Quality and Preference*, v. 29, p. 89–98, 2013.

LESZCZYŃSKA, D.; WIRKIJOWSKA, A.; GASIŃSKI, A.; ŚREDNICKA-TOBER, D.; TRAFIAŁEK, J.; KAZIMIERCZAK, R. Oat and oat processed products—technology, composition, nutritional value, and health. *Applied Sciences*, v. 13, p. 11267, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011267>.

LIMA, A. de; SILVA, C.; SOARES, D. J.; SILVA, L. da; RIBEIRO, M. R. de F.; SOUSA, P. de; MACHADO, H.; DE, A. M. In vitro bioaccessibility of copper, iron, zinc and antioxidant compounds of whole cashew apple juice and cashew apple fibre (*Anacardium occidentale* L.) following simulated gastro-intestinal digestion. *Food Chemistry*, v. 161, p. 142-147, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.119>.

MARTINEZ, B.; RINCON, F.; IBANEZ, M. V. Dialysability of trace elements in infant foods containing liver. *Food Chemistry*, v. 94, p. 210-218, 2006.

MASLIN, K.; VENTER, C. Nutritional aspects of commercially prepared infant foods in developed countries: a narrative review. *Nutrition Research Reviews*, v. 30, n. 1, p. 138-148, 2017. DOI: 10.1017/S0954422417000038.

MENNELLA, J.A., GRIFFIN, C.E; BEAUCHAMP, G.K. Flavor Programming During Infancy. *Pediatrics*, v. 113. n. 4 p. 840-845. 2004. <https://doi.org/10.1542/peds>

MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY. Lead (Chemical Update Worksheet). Lansing, MI: Michigan Department of Environmental Quality, 2016. 13 p. Disponível em: <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/egle/Documents/Programs/RRD/Remediation/Rules---Criteria/Chemical-Update-Worksheets/H---M/Lead-Datasheet.pdf?rev=befb99c3863d475fa0d3c638068f286b>. Acesso em: 31 ago. 2025.

MILANKOVIC, V.; TASIĆ, T.; LESKOVAC, A.; PETROVIĆ, S.; MITIĆ, M.; LAZAREVIĆ-PAŠTI, T.; NOVKOVIĆ, M.; POTKONJAK, N. Metals on the menu analyzing the presence, importance, and consequences *Foods*. v. 13, n. 1890, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13121890>.

MODABBERNIA, A.; VELTHORST, E.; REICHENBERG, A. Environmental risk factors for autism: an evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses. *Molecular Autism*, v. 8, p. 13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13229-017-0123-0>.

MUNIR, N. et al. Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: a review. *Sustainability*, v. 14, n. 1, p. 161, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14010161>

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes; Elements—Table J-9; NCBI Bookshelf: Bethesda, MD, USA, 2019a. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab9/?report=objectonly. Acesso em: 16 set. 2025.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Dietary Reference Intakes (DRIs): Tolerable Upper Intake Levels; Elements—Table J-3; NCBI Bookshelf: Bethesda, MD, USA, 2019b. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab3/?report=objectonly. Acesso em: 16 set. 2025.

NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL. **Australian Drinking Water Guidelines 6**. Canberra: NHMRC, 2011. Disponível em: <https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US). Subcommittee on Flame-Retardant Chemicals. Magnesium Hydroxide. In Toxicological Risks of Selected Flame-Retardant Chemicals; National Academies Press: Washington, DC, USA, 2000; Volume 7. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225636/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 31 ago. 2025.

NORDBERG. F. G; NORDBERG. M; AGGETT. P. Essential Metals: Assessing Risks from Deficiency and Toxicity. *Handbook on the Toxicology of Metals* (Fourth Edition), Academic Press. v.1. P, 281-297. 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00014-7>.

NRIAGU. J. O; SKAAR. E. P. Trace Metals and Infectious Diseases. *Record type Edited book Published*. 2015. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262029193.001.0001>.

OGOCHUKWU, A. O.; SHA'ATO, R.; OKEKE, F.; ADEKOLA, O. A.; AGBELE, I. E.; ADEGOKE, A. O.; ADENIYI, A. K. Evaluation of heavy metals profile in different brands of infant food nutrition. *Chemical Science International Journal*, v. 27, n. 3, p. 1-9, 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – WHO; FAO; IAEA. *Trace elements in human nutrition and health*. Geneva: World Health Organization, 1996. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9241561734>. Acesso em: 23 jun. 2024.

PEÑA QUINTANA, L.; ROS MAR, L.; GONZÁLEZ SANTANA, D. M.; RIAL GONZÁLEZ, R. Alimentación del preescolar y escolar. In: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PEDIATRÍA (AEP). *Protocolos de gastroenterología, hepatología y nutrición*. Madrid: AEP, 2010. p. 297-305. ISBN 978-84-8473-869-5. Disponível em: https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/3-alimentacion_escolar.pdf. Acesso em: 5 maio 2024.

PROSHAD, R.; IDRIS, A. M. Evaluation of heavy metals contamination in cereals, vegetables and fruits with probabilistic health hazard in a highly polluted megacity. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 30, n. 32, p. 79525-79550, jul. 2023.

SALAMON, A.; KOWALSKA, H.; IGNACZAK, A.; MARZEC, A.; KOWALSKA, J.; SZAFANŃSKA, A. Characteristics of oat and buckwheat malt grains for use in the production of fermented foods. *Foods*, v. 12, p. 3747, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12203747>.

SANDSTRÖM, B. Micronutrient interactions: effects on absorption and bioavailability. *British Journal of Nutrition*, v. 85, supl. 2, p. S181-S185, 2001.

SELVI, A.; RAJASEKAR, A.; THEERTHAGIRI, J.; ANANTHASELVAM, A.; SATHISHKUMAR, K.; MADHAVAN, J.; RAHMAN, P. K. S. M. Integrated remediation processes toward heavy metal removal/recovery from various environments – a review. *Frontiers in Environmental Science*, v. 7, p. 66, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00066>.

SIROT, V.; TRAORE, T.; GUÉRIN, T.; NOËL, L.; BACHELOT, M.; CRAVEDI, J. P.; et al. French infant total diet study: exposure to selected trace elements and associated health risks. *Food and Chemical Toxicology*, v. 120, p. 625–633, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.058>.

SMOLINSKI, M. S.; HAMBURG, M. A.; LEDERBERG, J. (ed.). *Microbial threats to health: emergence, detection, and response*. Washington, DC: National Academies Press (US), 2003. Executive Summary. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK221482/>. Acesso em: 23 set. 2025.

SOUZA, M. C. O.; SOUZA, J. M. O.; COSTA, B. R. B. da; GONZALEZ, N.; ROCHA, B. A.; CRUZ, J. C.; GUIDA, Y.; SOUZA, V. C. O.; NADAL, M.; DOMINGO, J. L.; BARBOSA, F. Levels of organic pollutants and metals/metalloids in infant formula marketed in Brazil: risks to early-life health. *Food Research International*, v. 174, p. 113594, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113594>.

SUBCOMMITTEE ON ECONOMIC AND CONSUMER POLICY, Committee on Oversight and Reform, U.S. House of Representatives. *Baby foods are tainted with dangerous levels of arsenic, lead, cadmium and mercury: Staff Report*. Washington, D.C., 4 fev. 2021a. Disponível em: <https://oversight.house.gov/sites/democrats.oversight.house.gov/files/2021-02-04%20ECP%20Baby%20Food%20Staff%20Report.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

SUBCOMMITTEE ON ECONOMIC AND CONSUMER POLICY, Committee on Oversight and Reform, U.S. House of Representatives. *New disclosures show dangerous levels of toxic heavy metals in even more baby foods: Staff Report*. Washington, D.C., 29 set. 2021b. Disponível em: <https://oversight.house.gov/sites/democrats.oversight.house.gov/files/ECP%20Second%20Baby%20Food%20Report%209.29.21%20FINAL.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.

TAN, B.L.; NORHAIZAN, M.E.; CHAN, L.C. Rice Bran: From Waste to Nutritious Food Ingredients. *Nutrients* 2023, 15, 2503.

TATAHMENTAN M, NYACHOTI S, SCOTT L, PHAN N, OKWORI FO, FELEMBAN N, GODEBO TR. Toxic and Essential Elements in Rice and Other Grains from the United States and Other Countries. *Int J Environ Res Public Health*. v. 3, n. 17, p. 8121-8128, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics8030081>.

TEKLU, A.; HYMETE, A.; GEBREYESUS, S. H.; ASHENEFF, A. Determination of the level of heavy metals and assessment of their safety in cow's milk collected from Butajira and Meskan districts, south central Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, n. 1, p. 206, 19 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10641-1>.

THEURICH, M. A.; KOLETZKO, B.; GROTE, V. Nutritional adequacy of commercial complementary cereals in Germany. *Nutrients*, v. 12, n. 6, p. 1590, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061590>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Guidelines for carcinogen risk assessment. *Federal Register*, Washington, DC, 24 set. 1986.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Regional Screening Level (RSL) summary table (TR=1E-06, HQ=1)*. Washington, DC: USEPA, nov. 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>. Acesso em: 31 ago. 2025.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Risk assessment guidance for superfund: volume I, human health evaluation manual (part A)*. Washington, DC: USEPA, 1989. (EPA/540/1-89/002). Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>. Acesso em: 31 ago. 2025.

UNITED STATES. Food & Drug Administration (FDA). *Total Diet Study FY 2018–FY 2020: Summary of Analytical Results*. U.S. Department of Health and Human Services, 2022. Disponível em: <https://www.fda.gov/media/159751/download>. Acesso em: 17 set. 2025.

WEI, R.; CHEN, C.; KOU, M. et al. Heavy metal concentrations in rice that meet safety standards can still pose a risk to human health. *Communications Earth & Environment*, v. 4, p. 84, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00723-7>. Acesso em: 23 set. 2025.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. *Ending inappropriate promotion of commercially available complementary foods for infants and young children between 6 and 36 months in Europe*. Geneva: WHO, 2019.

WILLIAMS, P. N.; VILLADA, A.; DEACON, C.; RAAB, A.; FIGUEROLA, J.; GREEN, A. J.; FELDMANN, J.; MEHARG, A. A. Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley. *Environmental Science & Technology*, v. 41, p. 6854-6859, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidance on ending the inappropriate promotion of foods for infants and young children: implementation manual*. Geneva: WHO, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Principles and Methods for the Risk Assessment of Chemicals in Food; Environmental Health Criteria 240; WHO: Geneva, Switzerland, 2008. Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572408>. Acesso em: 31 ago. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Resolution WHA69.9. Ending inappropriate promotion of foods for infants and young children*. Proceedings of the Sixty-Ninth World Health Assembly, Geneva, Switzerland, 23–28 May 2016. Geneva: WHO, 2016. p. 23–28.

ZHENG, K.; ZENG, Z.; TIAN, Q.; HUANG, J.; ZHONG, Q.; HUO, X. Epidemiological evidence for the effect of environmental heavy metal exposure on the immune system in children. *Science of The Total Environment*, v. 868, p. 161691, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161691>.