



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

**LARISSA DA SILVA SANTOS**

**TEORES DE ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO NA ALIMENTAÇÃO  
ESCOLAR DE MUNICÍPIOS DA BAHIA, BRASIL E SUA AVALIAÇÃO  
DE RISCO PARA POPULAÇÃO INFANTIL**

**UFBA**

SALVADOR

2023



**LARISSA DA SILVA SANTOS**

**TEORES DE ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO NA ALIMENTAÇÃO  
ESCOLAR DE MUNICÍPIOS DA BAHIA, BRASIL E SUA AVALIAÇÃO  
DE RISCO PARA POPULAÇÃO INFANTIL**

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

Prof. Dr. José Antônio Menezes Filho

*Orientador*

Profa. Dra. Mariângela Vieira Lopes Silva

*Coorientadora*

SALVADOR

2023

LARISSA DA SILVA SANTOS

**TEORES DE ARSÊNIO, CÁDMIO E CHUMBO NA ALIMENTAÇÃO  
ESCOLAR DE MUNICÍPIOS DA BAHIA, BRASIL E SUA AVALIAÇÃO  
DE RISCO PARA POPULAÇÃO INFANTIL**

A Comissão Julgadora dos trabalhos de defesa de Dissertação de Mestrado da candidata **Larissa da Silva Santos**, em sessão pública realizada em \_\_/\_\_/2023.

---

**Prof. Dr. José Antônio Menezes Filho (Orientador)**

Faculdade de Farmácia

Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

---

**Ryza de Cassia Vieira Cardoso (Membro titular interna)**

Escola de Nutrição

Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador, BA)

---

**Vera Akiko Maihara (Membro titular externa)**

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, São Paulo, SP)

Salvador, \_\_ de \_\_\_\_ de 2023.

### **Meus agradecimentos,**

Agradeço à minha noiva Júlia, por todo apoio e carinho nos momentos em que eu tinha desistido de mim, por ter me segurado e não me deixado desistir.

Agradeço a todos os colegas do LabTox, as pessoas mais inteligentes e esforçadas que eu já conheci no meio acadêmico, em especial Erival pelas sugestões e por sanar dúvidas, Nath por todo apoio durante o período de análises, Andrea e Mariana, muito obrigada.

Ao professor Antônio, por toda paciência e aprendizado que pude ter, desde já sou grata e peço desculpa, pois sei que poderia ter feito as coisas de uma forma diferente, obrigada.

A Deus e aos bons espíritos que durante esse tempo me deram motivos para continuar.

Ao meu animal de conforto, meu gato, Benedito, que quando achei que eu não conseguiria estar mais um dia conseguiu ser meu apoio na forma do mais puro amor e inocência.

Aos amigos que fiz nessa jornada e que me fizeram perceber que à vida vale a pena ser vivida mesmo quando parece que tudo desmoronou.

Muito obrigada a cada um de vocês, se esse trabalho existe e conseguiu ser feito é principalmente por todo apoio que recebi, muito obrigada.

*À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo financiamento do projeto.*

*À Coordenação Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.*

## RESUMO

A ocorrência de contaminantes químicos nos alimentos é algo bastante discutido na literatura, desde efeitos deletérios causados à saúde, principais alimentos fontes de exposição e quais populações são as mais afetadas. Crianças, por diversos fatores, são mais expostas do que adultos a estes elementos, desde o contexto social em que estão inseridas até particularidades fisiológicas que afetam a metabolização de elementos tóxicos a que sejam expostas. A merenda escolar representa um aporte significativo de nutrientes para crianças no Brasil, sobretudo àquelas em condições de vulnerabilidade social. Nesse contexto está inserido o Programa Nacional de Alimentação escolar (PNAE), que visa garantir refeições seguras do ponto de vista nutricional, garantindo aporte calórico e refeições livres de contaminantes. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os níveis de arsênio (As), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em refeições servidas em escolas públicas do ensino fundamental em quatro municípios do Estado Bahia, Brasil, e os riscos à saúde dos escolares proveniente do consumo dessas refeições. Foram coletadas 96 amostras idênticas as que eram ofertadas aos alunos da rede municipal de 16 escolas em quatro municípios baianos em dois semestres letivos nos anos de 2016 e 2019, estas foram liofilizadas e passaram por processo de mineralização assistida em forno micro-ondas. Em seguida, os teores de As, Cd e Pb foram determinados por espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (EAA-FG), as amostras ainda foram classificadas em diferentes grupos alimentares, de acordo com informações coletadas pelas cozinheiras das escolas para posterior avaliação de risco da exposição a esses contaminantes. A avaliação de risco foi baseada no cálculo do quociente de risco (QR) para cada elemento, nos seguintes cenários: educação infantil, ensino médio e a média geral de idade dos escolares atendidos pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Os resultados apontaram que nenhuma das amostras atingiu ou ultrapassou os níveis toleráveis para os elementos analisados. O Pb foi o que obteve resultado mais expressivo, atingindo níveis máximos de 0,039-0,157 mg.kg<sup>-1</sup>. Os grupos alimentares que mais contribuíram para a exposição ao Pb foram os amiláceos, as frutas e os vegetais, além de leite e derivados. No caso do As, preparações contendo cereais/amiláceos e leite/derivados foram as que mais contribuíram, sendo o único elemento que ultrapassou o PTWI proposto pelo JECFA. Portanto, os valores dos metais tóxicos obtidos estavam abaixo dos níveis permitidos pela legislação do país e não representaram risco de exposição dos escolares via merenda escolar, no entanto, o PTWI elevado de As sendo um elemento tóxico que tem uma meia-vida longa é preocupante.

**Palavras Chaves:** Metais tóxicos, contaminantes inorgânicos, alimentação escolar, avaliação de risco.

## ABSTRACT

The occurrence of chemical contaminants in food is widely discussed in the literature, from deleterious effects caused to health, main food sources of exposure and which populations are most affected. Children, due to several factors, are more exposed than adults to these elements, from the social context in which they are inserted to physiological particularities that affect the metabolization of toxic elements to which they are exposed. School meals represent a significant apportion of nutrients for the children in Brazil, especially those in conditions of social vulnerability. In this context, the National School Feeding Program (PNAE) is inserted, which aims to ensure safe meals from a nutritional point of view, guaranteeing caloric intake and food free of contaminants. In light of the foregoing, the objective of this study was to evaluate the levels of arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) in meals served in public elementary schools in four municipalities in the state of Bahia, Brazil, and the health risks to students arising from consumption of these meals. 96 samples were collected, identical to those offered to students from the municipal network of 16 schools in four municipalities in Bahia in two semesters in 2016 and 2019, lyophilized, and mineralized in a microwave oven. Then, the levels of As, Cd and Pb were determined by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS). The samples were classified into different food groups, according to the information collected by the school cooks for further risk assessment of exposure to these contaminants. The risk assessment strategy was based on the calculation of the risk quotient (RQ) for each element, in the following scenarios: early childhood education, high school and the general average age of students assisted by the National School Feeding Program (PNAE). The results showed that none of the samples reached or exceeded tolerable levels for the analyzed metals. Pb obtained the most expressive result, reaching maximum levels of 0.039-0.157 mg.kg<sup>-1</sup>. The food groups that contributed the most to Pb exposure were starchy foods, fruits and vegetables, as well as milk and dairy products. In the case of As, preparations containing cereals/starch and milk/by-products were the ones that contributed the most, being the only element that surpassed the PTWI proposed by JECFA. Therefore, the values of toxic metals obtained were below the levels allowed by the country's legislation and did not represent a risk of exposure of schoolchildren via school meals, however, the high PTWI of As, being a toxic element that has a long half-life, is worrying.

**Key words:** Toxic metals, Inorganic contaminants, School meals, Risk assessment.

## LISTA DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b><i>CAPÍTULO I</i></b> .....  | <b>12</b> |
| Quadro 1 Parâmetros numéricos mínimos de referência de nutricionistas, por entidade executora, para a educação básica.....  | 23        |
| Quadro 2 Caracterização dos municípios de estudo.....   | 24        |
| Quadro 3 Níveis máximos toleráveis de contaminantes inorgânicos As, Cd e Pb em alimentos segundo a Instrução Normativa de 26 de março de 2021.....                        | 29        |
| Quadro 4 Panorama dos principais trabalhos publicados sobre contaminação por metais pesados presentes em alimentos infantis em diferentes partes do mundo, 2012-2020..... | 30        |
| Quadro 5 Síntese dos trabalhos publicados sobre a contaminação por metais pesados na alimentação escolar.....   | 33        |
| <br>  |           |
| <b><i>CAPÍTULO II</i></b> .....   | <b>51</b> |
| Figura 1 Localização geográfica dos municípios de estudo. A – Brumado; B – Jacobina; C–Jaguaripe; D–Salvador (Capital do Estado da Bahia) .....                           | 57        |
| Quadro 1 Caracterização dos municípios de estudo.....   | 58        |
| <br>  |           |
| Figura 2 Teores de As, Cd e Pb (mg.kg <sup>-1</sup> ) por grupos alimentares nos quatro municípios do estado da Bahia, 2016 e 2019.....                                   | 67        |

## LISTA DE TABELAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO II.....</b>  | <b>51</b> |
| Tabela 1 Parâmetros utilizados para a estimativa da dose de exposição ao As, Cd e Pb proveniente do consumo de merenda escolar.....                                      | 61        |
| Tabela 2 Parâmetros de garantia de qualidade para análise de metais pesados em refeições escolares.....  | 62        |
| Tabela 3 Teores de As (mg.kg <sup>-1</sup> ) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.....                            | 63        |
| Tabela 4 Teores de Cd (mg.kg <sup>-1</sup> ) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.....                            | 64        |
| Tabela 5 Teores de Pb (mg.kg <sup>-1</sup> ) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.....                            | 65        |
| Tabela 6 Quociente de risco não carcinogênico associado ao consumo de merenda escolar para cada cenário, C1 crianças, C2 adolescentes e C3 média geral da população..... | 69        |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |   |
|----------|---|
| As       | Arsênio   |
| AAS      | Atomic Absorption Spectrometry  |
| ANVISA   | Agência Nacional de Vigilância Sanitária                                  |
| CAE      | Conselho de Alimentação Escolar   |
| Cd       | Cádmio  |
| CFN      | Conselho Federal de Nutricionista   |
| CNA      | Comissão Nacional de Alimentação  |
| DD       | Dupla Dieta   |
| DP       | Desvio padrão   |
| EAA      | Espectrometria de Absorção Atômica  |
| EDT      | Estudo da Dieta Total   |
| EPA      | Environmental Protection Agency   |
| EFSA     | European Food Safety Authority  |
| EAAChama | Espectrometria de Absorção Atômica no Modo Chama                          |
| EAAFG    | Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite                    |
| ER       | Erro Relativo   |
| FAO      | Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação              |
| FDA      | Food and Drug Administration  |
| FNDE     | Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação                              |
| IARC     | Agência Internacional de Investigação sobre o Câncer                      |
| INEP     | Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais<br>Anísio Teixeira |
| IDEB     | Índice de Desenvolvimento da Educação Básica                              |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                           |
| IAL      | Instituto Adolf Lutz  |
| IDA      | Ingestão Diária Aceitável   |
| IIQ      | Intervalo Interquartil  |
| JECFA    | Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives                          |
| LMT      | Limites Máximos Toleráveis  |
| LQ       | Limite de quantificação   |

|       |  |
|-------|--|
| LD    | Limite de detecção                       |
| MCR   | Materiais de Referência Certificados     |
| MEC   | Ministério da Educação e Cultura         |
| NOAEL | Non Observed Adverse Effect Level        |
| OMS   | Organização Mundial da Saúde             |
| PNAE  | Programa Nacional de Alimentação Escolar |
| Pb    | Chumbo                                   |
| POF   | Pesquisa de Orçamento Familiar           |
| PTWI  | Ingestão Mensal Tolerável Provisória     |
| QI    | Quociente de Inteligência                |
| QR    | Quociente de Risco                       |
| SNC   | Sistema Nervoso Central                  |
| SAN   | Segurança Alimentar e Nutricional        |
| UFBA  | Universidade Federal da Bahia            |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b><i>CAPÍTULO I – Exposição dietética a elementos tóxicos e contribuição nutricional pela alimentação escolar em municípios baianos.....</i></b>                          | <b>12</b> |
| 1 APRESENTAÇÃO.....  | 13        |
| 2 INTRODUÇÃO.....  | 15        |
| 3 OBJETIVOS.....   | 18        |
| 3.1. Objetivo Geral.....   | 18        |
| 3.2. Objetivos Específicos.....  | 18        |
| 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 19        |
| 4.1 Alimentação escolar no Brasil: um breve histórico.....   | 19        |
| 4.2 Alimentação escolar na Bahia.....  | 22        |
| 4.2.1 O Contexto do Nutricionista no PNAE: fiscalização e implementação de práticas alimentares saudáveis.....   | 22        |
| 4.2.2 Caracterização dos municípios de estudo no contexto do PNAE.....   | 24        |
| 4.3 Estudos de composição de dieta no Brasil e no mundo.....   | 25        |
| 4.3.1 Metodologias para estudos de ingestão diária.....  | 25        |
| 4.3.2 Espectrometria de absorção atômica e determinação de metais pesados.....   | 27        |
| 4.3.3. Componentes inorgânicos na alimentação infantil: panorama com foco nas refeições escolares.....   | 28        |
| 4.4 Efeitos dos metais tóxicos na infância.....  | 34        |
| 4.4.1 Arsênio.....   | 34        |
| 4.4.2 Cádmio.....  | 36        |
| 4.4.3 Chumbo.....  | 38        |
| 4.5. Avaliação de Risco .....  | 39        |
| 5 REFERÊNCIAS.....   | 41        |
| <br>   |           |
| <b><i>CAPÍTULO II – Teores de arsênio, cádmio e chumbo na alimentação escolar de municípios da Bahia, Brasil e sua avaliação de risco para população infantil.....</i></b> | <b>48</b> |
| Resumo.....  | 49        |
| Abstract.....  | 50        |
| 1. Introdução.....   | 51        |
| 2. Materiais e Métodos.....  | 53        |
| 2.2. Local de estudo.....  | 53        |
| 2.3. Planejamento amostral e técnica de coleta.....  | 54        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 2.4.  | Mineralização Assistida por Micro-ondas.....             | 55        |
| 2.5.  | Determinação dos Elementos Tóxicos.....                  | 55        |
| 2.6.  | Garantia de qualidade analítica.....                     | 56        |
| 2.7.  | Avaliação de risco do consumo de merenda escolar.....    | 57        |
| 2.8.  | Análise Estatística.....                                 | 58        |
| 3.  | Resultados e Discussão.....                              | 58        |
| 3.1.  | Garantia da Qualidade Analítica.....                     | 58        |
| 3.2.  | Teores dos Metais Tóxicos na Alimentação Escolar         | 59        |
| 3.2.1.  | Arsênio.....   | 59        |
| 3.2.2.  | Cádmio.....  | 60        |
| 3.2.3.  | Chumbo.....  | 61        |
| 3.3.  | Metais tóxicos na Merenda Escolar por grupos alimentares | 63        |
| 3.4.  | Avaliação de Risco.....                                  | 66        |
| 4.  | Conclusão.....   | 67        |
| 5.  | Referências.....   | 68        |
| <br><b>APÊNDICES.....</b>   |  | <b>73</b> |
| <b>APÊNDICE I: Formulário de coleta de amostras para análise, Salvador –BA.....</b> |  | <b>73</b> |
| <b>APÊNDICE II: Dados dos metais em base seca.....</b>                              |  | <b>74</b> |

## ***Capítulo I***

---

Exposição dietética a elementos tóxicos e contribuição nutricional pela alimentação escolar em municípios baianos.

## **1.APRESENTAÇÃO**

A questão nutricional ocupa um lugar de destaque no contexto mundial, pois alimentação e nutrição constituem um direito básico para promoção e proteção da saúde, possibilitando um maior crescimento e desenvolvimento. Por muitos anos o termo 'Segurança Alimentar' era visto e traduzido apenas como o direito a alimentos que suprissem as necessidades calóricas diárias, portanto, apenas visava o acesso a alimentos necessários para a sobrevivência de uma determinada população.

Apenas na década de 70 após a Conferência Mundial de Alimentação realizada em Roma (1974), esse termo, Segurança Alimentar, passou a ser entendido como algo que abrange o acesso da população aos alimentos e a sua qualidade. Aqui envolve a vertente de vários estudiosos, entre eles o brasileiro Josué de Castro que em seu livro, 'Geografia da Fome', destacou a problemática da distribuição de recursos dentro das diversas regiões do país.

No Brasil a problemática da Segurança Alimentar cresceu concomitantemente ao surgimento do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), se inicialmente o grande mérito era oferecer uma alimentação para as crianças consideradas menos favorecidas, com o passar dos anos o programa tornou-se também importante para o cultivar de hábitos alimentares saudáveis nos escolares.

Dito isto, muito além da vertente calórica e nutricional, o PNAE deve oferecer uma alimentação livre de contaminantes, sejam eles biológicos ou inorgânicos. Com o advento da indústria e deliberada contaminação por meio destas ao meio ambiente e conseqüentemente aos alimentos fornecidos, torna-se de extrema importância estudos que busquem quantificar a presença e avaliar os riscos de exposição a esses contaminantes nos alimentos consumidos pela população, isso inclui as refeições ofertadas em escolas.

Este trabalho, portanto, visa guiar os leitores por uma análise acerca da presença de alguns metais tóxicos nas refeições oferecidas em escolas de quatro municípios do estado da Bahia, assim como os efeitos deletérios que podem ser causados por esses elementos. Para permitir uma leitura mais explicativa e clara, inicialmente será apresentada uma introdução, na qual, de forma sucinta faço uma discussão sobre o PNAE e o impacto que a contaminação ambiental pode ter os alimentos servidos nas escolas. No tópico subsequente, os objetivos do estudo são apresentados para melhor

entendimento sobre o tema proposto. Em seguida, existe a divisão em dois capítulos, o primeiro é uma revisão bibliográfica para contextualização sobre o PNAE, focando principalmente em estudos voltados a contaminação de refeições escolares por metais tóxicos e os principais problemas de saúde decorrentes da exposição a estes e suas principais fontes de exposição na cadeia alimentar. Ainda neste capítulo, descreve-se a metodologia utilizada para este trabalho, apontando-se os métodos de coleta das amostras, processamento e análise das mesmas. O segundo capítulo traz um artigo original obtido com os dados da pesquisa, o qual pretendemos submeter ao periódico *Journal of Food Composition and Analysis*.

Espera-se que com isto, haja um esclarecimento sobre a importância de pesquisas com essa temática, principalmente no que tange a qualidade das refeições oferecidas às crianças. Portanto, o presente estudo buscou avaliar a contribuição da exposição a metais tóxicos, sendo arsênio, cádmio e chumbo, em refeições servidas em escolas municipais de quatro municípios baianos, analisando os dados com a Legislação vigente no país para contaminantes inorgânicos, além de verificar se as escolas do município de Salvador obedeciam ao atendimento às recomendações do PNAE.

## 2. INTRODUÇÃO

Na última década tem crescido a busca por uma alimentação mais equilibrada, saudável e variada em termos nutricionais, assim como a preocupação com a procedência dos alimentos consumidos, principalmente, pelo aumento exacerbado da contaminação ambiental resultante do crescimento de atividades industriais, exploração mineral e produção agrícola.

Estudos têm demonstrado que muitos desses contaminantes vêm causando, especialmente em crianças, malformações congênitas, asma, distúrbios neurológicos e comportamentais, além de aumento do risco de câncer (YORIFUJI, et al., 2016; IARC, 2012). Um dos grupos mais preocupantes desses contaminantes são os elementos inorgânicos, devido a sua toxicidade, natureza de bioacumulação e persistência por muito tempo no meio ambiente, contaminando o ar, água e solo, conseqüentemente em sua cadeia de contaminação chegam aos alimentos, tornando-os potenciais veículos de exposição a esses contaminantes, destacando-se o arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) (CHANDRAVANSI et al, 2021; YORIFUJI, et al., 2016; IARC, 2012).

Na América Latina, Romieu et al., revelaram elevada prevalência de efeitos à saúde associados à exposição ambiental ao Pb, e a Agência Internacional de Investigação sobre o Câncer (IARC), classificou este elemento como possível carcinógeno humano. Crianças que são expostas ao Pb ainda no útero podem apresentar danos no Sistema Nervoso Central (SNC), sendo um deles a encefalopatia, os efeitos da exposição podem ainda persistir e se manifestar durante toda a vida do indivíduo, além de resultar em redução cognitiva e do desempenho escolar (US, 1999; (MARTINEZ, et al., 2020; WANG, et al., 2019).

Assim como o Pb, o arsênio é classificado pela IARC como um agente potencialmente carcinogênico, sendo um constituinte natural dos organismos vivos. Os principais efeitos tóxicos vão desde problemas cardiovasculares, neurológicos, renais, hepáticos e distúrbios gastrointestinais, podendo levar crianças à morte, tendo relatos de óbitos por ingestão de 0,05 a 0,1mg/kg em crianças de dois a sete anos (IARC, 2004; SILVA et al., 2014).

O Cd é principalmente encontrado em regiões próximas à fundições, contribuindo significativamente com a poluição ambiental e conseqüentemente de culturas

agrícolas próximas às fontes de poluição, aquíferos e espécies animais e vegetais que ali vivem (VACCHI-SUZZI, 2016; KENT et al., 2014). Um dos principais problemas à saúde da população exposta ao Cd está relacionado a problemas renais, cardiovasculares e nos ossos pela capacidade de substituir o zinco em certas enzimas proteicas, assim como o cálcio no tecido ósseo (VACCHI-SUZZI, 2016; KENT et al., 2014; ROCHA, 2009).

Os elementos inorgânicos podem danificar toda e qualquer atividade biológica, as crianças são um grupo vulnerável à exposição a esses agentes químicos por suas particularidades: estão constantemente levando a mão à boca e respiram uma maior quantidade de ar por unidade de peso corporal que os adultos, entre outros. Crianças em idade pré-escolar (1 a 5 anos) chegam a consumir de três a quatro vezes mais alimentos por quilo de peso corporal que um adulto, causando um efeito ainda maior de bioacumulação desses compostos no organismo (GAO, et al., 2020; CHANDRAVANSI et al., 2021; ROCHA, 2009).

Algumas crianças realizam a maior parte de suas refeições nas escolas, principalmente alunos de escolas públicas, onde a refeição servida pode ser a mais importante do dia, tornando-se um espaço ideal para o desenvolvimento de conhecimentos, atitudes e habilidades, além da formação de bons hábitos alimentares. Em 1979, foi criado o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que tem como objetivo contribuir para o crescimento e o desenvolvimento biopsicossocial, de aprendizagem, aumentar o rendimento escolar e auxiliar na formação de hábitos alimentares saudáveis, de forma gratuita (FERREIRA, ALVES & MELLO, 2019; LIBERMANN & BERTOLINI, 2015).

Vários estudos demonstram a presença de elementos tóxicos em alimentos servidos nas escolas, principalmente refeições que em sua composição contém carnes, vegetais, leites e derivados. Estudos feitos na Espanha, China, Estados Unidos e Reino Unido demonstraram a presença de cádmio, chumbo e arsênio em produtos infantis produzidos à base de arroz, como também sua presença na alimentação oferecida em escolas da Finlândia, sendo as principais fontes da dieta cereais, batatas, legumes e produtos lácteos (DE ROMA, et al., 2014; SARGER et., al 2018).

Portanto, crianças estão expostas a esses contaminantes de diversas formas, por inalação, contato físico e ingestão. Assim, a via alimentar torna-se uma importante

forma de contaminação. Sabendo-se o poder da bioacumulação desses componentes, e como o estado nutricional afeta diretamente o efeito tóxico que esses contaminantes podem causar no organismo, este trabalho tem como objetivo avaliar a exposição dietética a metais pesados em escolas de quatro municípios baianos contempladas pelo PNAE, como também avaliar o risco não carcinogênico para essa população.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar se a ocorrência de contaminantes inorgânicos (As, Cd e Pb) na alimentação escolar oferecida em quatro municípios do Estado na Bahia pode representar um risco a saúde infantil.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Quantificar os teores totais de elementos tóxicos (As, Cd e Pb) por espectrometria de absorção atômica em forno de grafite, nas refeições servidas nas escolas de quatro municípios do estado da Bahia, Brasil;
- Avaliar possíveis diferenças nos teores de elementos tóxicos encontrados nos dois períodos de coleta e comparar com valores encontrados em trabalhos similares da literatura;
- Executar uma avaliação de risco não carcinogênico relacionados à exposição de crianças a esses contaminantes.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 ALIMENTAÇÃO ESCOLAR NO BRASIL: UM BREVE HISTÓRICO**

A alimentação com qualidade nutricional, higiênica e livre de contaminantes orgânicos ou inorgânicos é um direito de todos, garantido por lei. Nos primeiros anos de vida e na fase escolar, ter uma alimentação adequada torna-se é um dos maiores fatores de crescimento e desenvolvimento cognitivo adequado para crianças e adolescentes. Nesse contexto cabe a discussão sobre os tipos de alimentos que são servidos nas escolas, muito além da nutricional, do acesso ao alimento, está o direito a um alimento livre de contaminantes dentro dos padrões da Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) (CESAR et al., 2018; VENDRAMINI, OLIVEIRA & CAMPI, 2012).

O termo 'Segurança Alimentar' surge após a Segunda Guerra Mundial, onde milhares de pessoas não tinham acesso a alimentos para garantir sua subsistência, o conceito inicial para este termo era que todos teriam direito a alimentos necessários para a sua sobrevivência. O termo começou a ganhar mais força apenas em 1945 quando foi criada a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), assim criou-se um indicador de segurança alimentar. No entanto, era um indicador falho pois apenas calculava-se a média da disponibilidade calórica de cada país, não era levado em consideração os disparates entre as populações mais abastadas e aquelas marginalizadas que não tinham o mesmo acesso aos alimentos (MARDEGAN, 2014; GOMES JUNIOR, 2008; MENEZES, 2001)

A preocupação com a oferta de refeições nas escolas brasileiras teve seu início em meados da década 30, onde estados e municípios que detinham maior poder financeiro iniciaram a oferta de refeições em suas escolas, a principal preocupação se dava pelo fato do alto índice de desnutrição infantil, evasão escolar e a disparidade no acesso a alimentos entre a classe com maior poder aquisitivo e a população mais pobre. Somente em 1950 começou-se a pensar na alimentação escolar como um programa público e de forma única para todo o território nacional, sob a responsabilidade da Comissão Nacional de Alimentação (CNA) (FERREIRA, ALVES & MELLO, 2019; LIBERMANN & BERTOLINI, 2015).

O marco inicial para a criação do Programa de Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) ocorreu em 1955 quando foi assinado o decreto nº 37.106. Houve então a implementação da Campanha de Alimentação Escolar, na época ainda subordinada

do Ministério da Educação e Cultura (MEC), o PNAE nos parâmetros que conhecemos foi promulgado em 1979 com a Constituição da República Federativa do Brasil em 1988, assegurando o direito à alimentação escolar a todos os alunos do ensino fundamental. Cabe aqui salientar algo importante, em 1974 houve a Conferência Mundial da Alimentação realizada em Roma, onde muito além do acesso ao alimento teve início a discussão sobre a qualidade com que esses alimentos chegavam à população (FERREIRA, ALVES & MELLO, 2019; LIBERMANN & BERTOLINI, 2015).

Apenas na década de 90, iniciou-se a municipalização e descentralização dos recursos financeiros do programa; dessa forma os cardápios que inicialmente eram pobres em sabor, monótonos e de baixa qualidade nutricional, passaram por mudanças na forma em que os alimentos eram adquiridos, priorizando alimentos básicos *in natura* e que fossem produzidos na própria localidade, respeitando as tradições alimentares e produção agrícola daquela região (BRASIL, 2020a; BRASIL, 2018; BELIK E CHAIM, 2009).

Atualmente o PNAE é regulamentado pela Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009, que também dispõe sobre a utilização de no mínimo 30% do valor para compra de produtos oriundos da agricultura familiar, e pela Resolução nº 26, de 17 de junho de 2013, do Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação (FNDE), órgão responsável pelo gerenciamento do programa. É o maior programa de alimentação escolar da América Latina, contribuindo dessa forma com a Segurança Alimentar e Nutricional. Tendo como principal objetivo proporcionar aos estudantes uma alimentação digna, que garanta minimamente uma nutrição segura e de qualidade, promovendo cidadania e qualidade de vida, visando a redução da evasão escolar e auxiliando na construção de hábitos alimentares adequados (BRASIL, 2013; BRASIL, 2009).

Segundo a Resolução nº 06, de 08 de maio de 2020, entende-se por alimentação escolar todo alimento oferecido no ambiente escolar durante o período letivo, independentemente de sua origem. Dessa forma, são diretrizes básicas da Alimentação Escolar: o emprego de uma alimentação saudável e adequada, utilizando alimentos variados e seguros, respeitando a cultura e tradições locais; contribuir para o crescimento e o desenvolvimento dos alunos e para a melhoria do rendimento escolar, respeitando sua faixa etária e seu estado de saúde, inclusive dos que necessitam de atenção alimentar específica; incluir educação alimentar e nutricional

no currículo escolar e no processo de ensino e aprendizagem; universalidade do atendimento aos alunos matriculados na rede pública de educação básica; participação e acompanhamento da comunidade nas ações realizadas para garantir a adequada oferta da alimentação escolar; apoio ao desenvolvimento sustentável, incentivando a aquisição de gêneros alimentícios diversificados, produzidos no âmbito local e preferencialmente pela agricultura familiar e pelos empreendedores familiares rurais, priorizando as comunidades tradicionais indígenas e de remanescentes de quilombos; garantia de segurança alimentar e nutricional dos alunos, de forma igualitária, respeitando as diferenças biológicas entre idades e condições de saúde, incluindo aqueles que necessitem de atenção específica ou se encontram em vulnerabilidade social (BRASIL, 2020b; BRASIL, 2019d).

Para que todas essas diretrizes sejam respeitadas cabe ao responsável técnico, no caso o nutricionista, planejar, elaborar, acompanhar e avaliar o cardápio da merenda escolar, com respaldo da Resolução nº 465 de 23 de agosto de 2010 do Conselho Federal de Nutricionista (CFN). O nutricionista deve, portanto, preconizar um cardápio que tenha como base a utilização de alimentos *in natura* ou minimamente processados, sendo proibida a oferta de alimentos ultraprocessados. Deve-se também adaptar quando necessário à realidade em que a escola esteja inserida, caso de comunidades indígenas e/ou quilombolas, e também devem para atender aos estudantes com necessidades nutricionais específicas como doença celíaca, diabetes, hipertensão, anemias, alergias e intolerâncias alimentares, entre outros, as porções ofertadas devem também ser diferenciadas por faixa etária dos estudantes, conforme as necessidades nutricionais diárias (BRASIL, 2020b; BRASIL, 2010).

Mas não apenas preocupado em suprir a energia, o PNAE também deve oferecer cardápios nutritivos e variados. Assim, as unidades escolares que oferecem a alimentação em período parcial devem, obrigatoriamente, ofertar no mínimo 280 g/estudante/semana de frutas *in natura*, no mínimo dois dias por semana e legumes e verduras, no mínimo três dias por semana. Nas unidades escolares que oferecem alimentação escolar em período integral, devem ser ofertados, obrigatoriamente, no mínimo 520g/estudantes/semana de frutas *in natura*, no mínimo quatro dias por semana e legumes e verduras, no mínimo cinco dias por semana, sendo que a oferta de bebidas à base de frutas não substitui a oferta de frutas *in natura* (BRASIL, 2020b; BRASIL, 2010).

Os cardápios devem, obrigatoriamente, limitar a oferta de produtos cárneos para no máximo duas vezes por semana, legumes e verduras em conserva devem ser oferecidas, no máximo, uma vez por mês. Já as bebidas lácteas com aditivos ou adoçadas, devem ser ofertadas no máximo uma vez por mês em unidades escolares em período parcial e, no máximo, duas vezes por mês em unidades que ofertam alimentação em período integral. Biscoitos, bolacha, pão ou bolo, no máximo, devem ser ofertados duas vezes por semana em unidades que oferecem refeições em período parcial (BRASIL, 2020b; BRASIL, 2010).

Segundo Ampara-Santos e Soares (2018), quando o Programa de Alimentação Escolar foi implementado a preocupação era com a desnutrição infantil, hoje preocupa-se também com a qualidade nutricional, das refeições servidas nas escolas, como também com a possibilidade dessas refeições serem um meio de contaminação seja ela física, microbiológica ou química (SOARES, 2018; SOBRINHO, 2017).

Portanto, o PNAE tem como principal objetivo proporcionar aos estudantes uma alimentação digna, que garanta minimamente, uma nutrição segura e de qualidade, promovendo a cidadania e qualidade de vida, visando à redução da evasão escolar e auxiliando na construção de hábitos alimentares adequados.

## **4.2 ALIMENTAÇÃO ESCOLAR NA BAHIA**

### **4.2.1 O Contexto do Nutricionista no PNAE: fiscalização e implementação de práticas alimentares saudáveis**

O PNAE é o programa social mais antigo do país, seu modelo descentralizado viabiliza a adaptação dos cardápios aos hábitos e práticas culinárias de cada região, permitindo assim, o acesso de milhares de crianças a uma alimentação saudável e equilibrada, valorizando a cultura local (OLIVEIRA & SIQUEIRA 2020; BEZERRA, 2009). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), registrou no ano de 2019, no estado da Bahia, 3,5 milhões de alunos matriculados na Educação Básica, destes, 552.337 estavam matriculados na Educação Infantil, 2 milhões no Ensino Fundamental, 544.868 no Ensino Médio e 339.632 na Educação de Jovens e Adultos. Destes, 60,7% dos alunos encontravam-se matriculados na rede municipal de ensino (IBGE, 2019). Estes números mostram a relevância e a importância de estudos relacionados à composição alimentar dos cardápios ofertados pelo PNAE.

Considerando que segundo a Lei nº 8.234, de 17 de setembro de 1991, compete ao nutricionista zelar pela preservação, promoção e recuperação da saúde das pessoas, e ainda de acordo com a Resolução CFN nº 465, de 23 de agosto de 2010, compete ao nutricionista como responsável técnico do PNAE realizar o diagnóstico e o acompanhamento do estado nutricional dos alunos assistidos; estimular que alunos com necessidades nutricionais específicas sejam identificados para que recebam um atendimento nutricional adequado; planejar, elaborar, acompanhar e avaliar o cardápio oferecido nas unidades escolares, observando a adequação deste às faixas etárias, diagnósticos nutricionais e respeitando os hábitos alimentares e a cultura local, além de utilizar produtos da Agricultura Familiar, priorizando alimentos *in natura*; propor e também realizar ações de educação alimentar e nutricional; elaborar fichas técnicas de preparo; elaborar o Plano Anual de Trabalho do PNAE e assessorar o Conselho de Alimentação (CAE) escolar no que diz respeito à execução técnica do PNAE (BRASIL, 2010).

Para que todas essas competências sejam feitas de forma correta, é necessário um quantitativo específico de nutricionistas responsáveis pelas unidades escolares, como exemplificado no Quadro 1. Esses parâmetros são considerados únicos para toda a educação básica, desde a educação infantil até a educação de jovens e adultos, pois todas essas etapas são contempladas pelo PNAE.

**Quadro 1. Parâmetros numéricos mínimos de referência de nutricionistas, por entidade executora, para a educação básica.**

| Número de alunos | Número de Nutricionistas                     |
|------------------|--|
| Até 500          | 1 RT <sup>1</sup>                            |
| 501 a 1000       | 1RT + 1QT <sup>2</sup>                       |
| 1001 a 2500      | 1RT + 2QT                                    |
| 2501 a 5000      | 1RT + 3QT                                    |
| Acima de 5000    | 1RT + 3QT + 1QT a cada fração de 2500 alunos |

<sup>1</sup>RT = responsável técnico; <sup>2</sup>QT = quadro técnico. (CFN, 2010)

Dito isto, é válido ressaltar que a inserção do nutricionista no PNAE ocorreu em 1994 após a descentralização do programa, Corrêa et al., (2017) realizaram um estudo em que tinha como objetivo verificar a adequação dos parâmetros numéricos mínimos de nutricionistas da região Sul do Brasil; dos 116 questionários enviados todos os municípios apresentavam nutricionistas no seu quadro de funcionários. No entanto, 83,71% estava com o quadro inadequado para o quantitativo de alunos. Santos et al., (2019) realizaram pesquisa similar em municípios do Tocantins; dos 25 municípios

selecionados, quatro não tinham o nutricionista como responsável técnico, ainda destes 21 restantes, 58% atuavam em mais de um município. Essa defasagem no quadro técnico pode afetar de maneira negativa a segurança alimentar e nutricional dos cardápios ofertados.

#### 4.2.2 Caracterização dos municípios de estudo no contexto do PNAE

As amostras de três dos quatro municípios selecionados, sendo eles Brumado, Jaguaripe e Jacobina, foram coletadas, acondicionadas e analisadas quanto a sua composição centesimal e minerais essenciais das refeições ofertadas pelo PNAE em trabalho anterior realizado por França et al. (2016). Os municípios selecionados foram avaliados quanto à viabilidade do estudo, tamanho da população, programas de alimentação escolar ativos, além das notas de desempenho escolar divulgadas pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), esse nota varia de 0 a 10.

Assim, para complementação deste trabalho e visualizar as diferenças entre alimentação escolar em cidades do interior do estado, fez-se coletas na capital Salvador durante os dois semestres letivos do ano de 2019. Para esse estudo adotaremos os valores do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) do ano de 2017, o IDEB médio nacional ficou em 5,8; o estado da Bahia teve um índice médio de 4,7 (INEP, 2017). Foram selecionados os quatro municípios com avaliações diferentes do IDEB, sendo Brumado o município com o maior IDEB (6,1) superando a capital do estado, Salvador, que obteve um IDEB médio de 5,3; Jacobina obteve 4,9 e Jaguaripe ficando com o IDEB mais baixo dos municípios estudados (4,3). No Quadro 2 pode-se verificar mais detalhadamente a caracterização dos municípios.

#### Quadro 2. Caracterização dos municípios de estudo.

| Município | IDEB (2017) | Localização geográfica | População (2019)     | Renda per capita <sup>1</sup> | Nº de matrículas (E. F.) <sup>2</sup> | Nº de nutricionistas (PNAE) <sup>3</sup> |
|-----------|-------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| Brumado   | 6,1         | Sudoeste Baiano        | 67.195 habitantes    | R\$ 510,00                    | 15.128                                | 1RT                                      |
| Jacobina  | 4,9         | Chapada Diamantina     | 80.518 habitantes    | R\$ 510,00                    | 20.205                                | 1RT + 1QT                                |
| Jaguaripe | 4,3         | Recôncavo Baiano       | 18.788 habitantes    | R\$ 200,00                    | 4.332                                 | 1RT                                      |
| Salvador  | 5,3         |                        | 2.872.347 habitantes | R\$ 700,00                    | 519.719                               | 1RT                                      |

<sup>1</sup> Rendimento per capita médio para população acima de 10 anos que trabalha sem levar em consideração o sexo no último censo de 2010 (IBGE, 2019)

<sup>2</sup> Nº de alunos matriculados no ensino fundamental no ano de 2019, conforme dados do censo escolar (IBGE, 2019).

<sup>3</sup> Dados obtidos de acordo com o cadastro de profissionais nas secretarias de educação de acordo com o SiNutri (FNDE, 2019).

Pode-se notar, observando o Quadro 2 que Salvador sendo a capital do estado possui o maior número de estudantes matriculados no ensino fundamental, e desse total 60,7% encontram-se matriculados na rede municipal de ensino, valores semelhantes a Brumado e Jacobina obtiveram valores semelhantes no número de crianças atendidas pelo PNAE, 60% e 54% respectivamente, os alunos matriculados em Jaguaripe estavam majoritariamente na rede municipal (98,33%).

Comparando o Quadro 1 e o Quadro 2, nota-se que o quantitativo de nutricionistas está abaixo do recomendado pela legislação, o que pode dificultar a maneira correta de conduzir o PNAE dentro das escolas. No entanto, é importante frisar que a última atualização dos nutricionistas cadastrados no PNAE ocorreu no ano de 2015, o que dificulta bastante tirar conclusões precisas sobre esses números.

### **4.3 ESTUDOS DE COMPOSIÇÃO DE DIETA NO BRASIL E NO MUNDO**

#### **4.3.1 Metodologias para estudos de ingestão diária**

Todo indivíduo necessita ingerir doses específicas de determinados nutrientes para manter suas atividades fisiológicas normais, principalmente os elementos essenciais e indispensáveis para sobrevivência humana (JIANG et al., 2015; FUMIO et al., 2012). Não apenas os elementos essenciais, mas também é de extrema importância estudos de ingestão de elementos tóxicos presentes nos alimentos (WEI, GAO & GEN, 2019; GUÉRIN et al., 2018; JIANG et al., 2015). A Organização Mundial da Saúde recomenda e enfatiza pesquisas para mensurar esses elementos químicos que podem ser avaliados por métodos indiretos, que são feitos a partir de tabelas e de padrões de consumo alimentar, e por métodos diretos, que têm como princípio a análise de alimentos consumidos em determinado período (WEI, GAO & GEN, 2019; WHO, 2009). A escolha do método depende do objetivo do estudo em questão, assim como correlacionar à disponibilidade de recursos, pessoal, orçamento do projeto, prazo para desenvolvimento e conclusão da pesquisa (GUÉRIN et al., 2018, WHO, 2009).

Dos métodos indiretos, o mais utilizado é o Estudo da Dieta Total (EDT), também conhecido como *Market Basket* (Cesta de Mercado). Esse método é recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como o mais adequado para estimar as ingestões dietéticas de contaminantes e nutrientes para populações, possibilitando avaliar se as necessidades nutricionais estão sendo atendidas, assim como os limites

máximos de elementos tóxicos (WHO, 2009). Neste tipo de método, por exemplo, os alimentos mais consumidos pela população da região estudada são adquiridos em supermercados, feiras e outros estabelecimentos de interesse, em seguida esses mesmos alimentos são preparados – quando não são os prontos para consumo – para que método de análise seja aplicado de acordo com os objetivos do estudo e os componentes alimentares de escolha do estudo possam ser mensurados (WEI, GAO & GEN, 2019).

Diversos países utilizam essa metodologia para mensurar a ingestão diária dos elementos essenciais e tóxicos da dieta de sua população (HAYASHI et al., 2018; PUNSHON & JACKSON, 2018; POMA, 2017; BATISTA et al., 2012), pois os EDT não necessitam de envolvimento expressivo dos grupos participantes, pode-se abranger maiores áreas permitindo monitorar tendências a exposição e consumo de componentes tóxicos em escala mais ampla sem sobrecarregar os participantes do estudo (AVEGLIANO, MAIHARA & SILVA, 2011).

Para tanto, a ingestão diária da população pode ser obtida pelos dados disponibilizados pelo governo. No Brasil temos como exemplo a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essa pesquisa reflete o consumo nacional amplo dos alimentos, refletindo padrões de consumo alimentar típicos de cada região, visto que envolvem entrevistas, na maior parte das vezes realizada por ligações telefônicas, com a população em estudo. Mesmo com os pontos positivos, é importante ressaltar que essas pesquisas não refletem a ingestão diária e os efeitos a nível individual (AVEGLIANO, MAIHARA & SILVA, 2011; AVEGLIANO, MAIHARA & SILVA, 2008).

Para uma avaliação direta da ingestão diária, a OMS recomenda a técnica da porção em duplicata, ou Dupla Dieta (DD) (ZUKOWSA, J. & BIZIUK, 2008; LEBLANC, 2005). Por esse método é possível mensurar mais fidedignamente os elementos que se deseja da alimentação da população do estudo. Pelo método DD é feita a coleta de uma porção idêntica à consumida pela população em estudo, podendo variar de 1 a 7 dias o período de coleta, incluindo alimentos sólidos e líquidos (AVEGLIANO, MAIHARA & SILVA, 2008; ZUKOWSA, J. & BIZIUK, 2008; LEBLANC, 2005). Assim, este é um método mais preciso para fornecer dados acerca da ingestão alimentar de populações, principalmente que alguns fatores, como métodos de cocção, tipos de utensílios utilizados podem influenciar na concentração final de nutrientes e

contaminantes, modelos adaptados da dupla dieta também podem ser realizados (SUN, et al., 2011; ZUKOWSA, J. & BIZIUK, 2008; LEBLANC, 2005).

#### **4.3.2 Espectrometria de absorção atômica e determinação de metais pesados**

A Espectrometria de Absorção Atômica – EAA é uma das técnicas mais utilizadas para análise elementar, permitindo a determinação em diversas matrizes desde amostras sólidas, líquidas e gasosas, materiais biológicos como tecidos e fluidos, materiais geológicos, alimentos, entre outros (BURKET et al., 2008; SILVA & QUEIROZ, 2006; MORETTO, GONZAGA & KUSKOSKI, 2002).

A EAA é uma técnica espectroanalítica para determinações quantitativas de elementos baseada na absorção da radiação por átomos livres no estado gasoso, a atomização pode ser feita em chama, em tubo aquecido acoplado a um sistema gerador de hidretos, em sistema de geração de vapor a frio, e eletrotermicamente em forno de grafite, ou outros sistemas alternativos (SILVA & QUEIROZ, 2006; NHAMUNS & ATAYDE, 2020). Desse modo, o elemento de interesse, em seu estado atômico gasoso absorverá a radiação de um comprimento de onda específico, em condições ideais a quantidade de radiação absorvida está diretamente relacionada com a concentração de átomos no estado fundamental do elemento de interesse, dessa forma, é uma técnica que apresenta uma alta seletividade (BURKET et al., 2008).

Os dois atomizadores mais comuns da EAA são o chama e forno de grafite. Na Espectrometria de Absorção Atômica no Modo Chama (EAA-Chama) é muito utilizada para mensurar elementos em níveis de  $\text{mg.L}^{-1}$ , requerendo uma quantidade maior de amostra para análise, entre 4 e 7 mL. Por outro lado, a Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite (EAA-FG) é utilizada para concentrações ainda mais baixas, a níveis de  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , possuindo uma sensibilidade de 100 a 1000 vezes maior que a EAA-Chama, também para as análises por esse método a quantidade de amostra necessária é menor, variando de 0,010 – 0,100 mL (COZZOLINO, 2016; SILVA & QUEIROZ, 2006; MORETTO, GONZAGA & KUSKOSKI, 2002).

Na EAA-FG, a amostra será introduzida em um tubo de grafite por meio de uma micropipeta ou um amostrador automático. Dentro do tubo de grafite a amostra será sujeita a um aquecimento progressivo previamente programado, passando por diferentes etapas: secagem, nesta etapa ocorrerá a evaporação do solvente, deve ser

feita de forma suave e precisa para que não ocorra a perda da amostra de interesse; pirólise, ou decomposição térmica da matriz, ocorrerá a mineralização da matriz por meio de temperaturas altas o suficiente para que não ocorra perda do elemento químico de interesse; atomização, ocorre a produção de vapor atômico e em seguida ocorrem duas etapas subsequentes, a limpeza do forno para a próxima análise e o resfriamento rápido do mesmo (NHAMUNS & ATAYDE, 2020; COZZOLINO, 2016; SILVA & QUEIROZ, 2006).

As análises feitas em EAA-FG precisam da utilização de Modificador de Matriz, substâncias que têm como função alterar as propriedades do analito ou da matriz, com o objetivo de estabilizar, torná-los menos voláteis, de modo a permitir efetuar a pirólise a temperaturas mais elevadas, facilitando a maior eliminação dos componentes da matriz e permitindo uma menor probabilidade de interferências na análise (BURKET et al., 2008; MORETTO, GONZAGA & KUSKOSKI, 2002).

#### **4.3.3. Componentes inorgânicos na alimentação infantil: panorama com foco nas refeições escolares**

O conhecimento do conteúdo de minerais nos alimentos é uma questão importante por diversas razões. No caso dos metais essenciais existe a importância das funções fisiológicas que esses elementos desempenham no crescimento e desenvolvimento, principalmente das crianças, quanto aos metais pesados os efeitos deletérios podem ser pontuais e leves ou ocasionar efeitos tóxicos em níveis mais elevados. Portanto, obter dados fidedignos sobre composição alimentar e presença de contaminantes inorgânicos é necessário e fundamental, pela vertente de saber se a ingestão alimentar é adequada, bem como avaliar a exposição a elementos tóxicos nas refeições servidas (CHANDRAVANSI et al, 2021; EFSA, 2010; IARC, 2009).

Crianças em idade escolar possuem maiores chances de exposição a metais pesados em relação aos adultos, podendo desenvolver efeitos deletérios mais graves, primeiro, possuem mais rotas de exposição, desde absorção via placenta, amamentação, levam a mão à boca sem a devida higienização mais vezes, além de possuírem menor consciência de risco em relação aos perigos de exposição. Segundo, as características fisiológicas de crescimento como maior taxa metabólica basal, menor taxa de eliminação de toxinas e sistema imune ainda em desenvolvimento, possibilitando que em caso de exposição com a mesma dose que um adulto, as

crianças serão mais sensíveis a desenvolver efeitos tóxicos (GAO, et al, 2020; CHANDRAVANSI et al, 2021). Abaixo no Quadro 4, será relatado os níveis máximos permitidos em alimentos para o arsênio, cádmio e chumbo, segundo a Instrução Normativa de 26 de março de 2021 e no Quadro 5 será relatada uma síntese sobre os principais trabalhos que tinham por objetivo analisar os valores desses elementos em produtos da alimentação infantil em diferentes partes do mundo.

**Quadro 3. Níveis máximos toleráveis (mg.kg<sup>-1</sup>) de contaminantes inorgânicos As, Cd e Pb em alimentos segundo a Instrução Normativa nº 88 da ANVISA de 26 de março de 2021 (ANVISA).**

| Alimentos                                   | Arsênio | Cádmio | Chumbo |
|---|---------|--------|--------|
| <b>Oleos e gorduras comestíveis</b>         | -       | -      | 0,10   |
| <b>Açúcares</b>                             | 0,10    | -      | 0,10   |
| <b>Sucos e néctares de frutas</b>           | 0,10    | 0,05   | 0,05   |
| <b>Cereais e produtos à base de cereais</b> | 0,30    | 0,10   | 0,20   |
| <b>Trigo e seus derivados</b>               | 0,20    | 0,20   | 0,20   |
| <b>Arroz e seus derivados</b>               | 0,30    | 0,40   | 0,20   |
| <b>Folhosos</b>                             | 0,30    | 0,20   | 0,30   |
| <b>Frutas</b>                               | 0,30    | 0,05   | 0,10   |
| <b>Leguminosas</b>                          | 0,10    | 0,10   | 0,10   |
| <b>Raízes e tubérculos</b>                  | 0,20    | 0,10   | 0,10   |
| <b>Leite</b>                                | 0,05    | 0,05   | 0,02   |
| <b>Carnes e embutidos</b>                   | 0,50    | 0,05   | 0,10   |
| <b>Ovos</b>                                 | 0,50    | -      | 0,10   |

Apesar de termos Limites Máximos Toleráveis (LMT) para a presença desses contaminantes em alimentos, a literatura relata não existir uma exposição vista como segura para esses metais, no entanto, em 2010, levando-se em consideração todos os novos estudos e pesquisas sobre os efeitos deletérios na saúde de diversas populações, o Comitê Conjunto FAO/OMS de Especialistas em Aditivos Alimentares (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - JECFA), na sua 73ª reunião estabeleceu que o cádmio por ter uma meia vida longa, foi estipulado uma Ingestão Mensal Tolerável Provisória (PTWI) de 25 µg/kg de peso corporal por mês. Ainda na mesma reunião, e com base em diversos estudos, o Comitê estimou que um PTWI de 25 µg/kg de peso corporal de chumbo está associado a uma diminuição de pelo menos três pontos de quociente de inteligência (QI) em crianças e um aumento na pressão arterial sistólica de aproximadamente 3 mmHg em adultos. Portanto, chegou-se à

conclusão que não seria possível com as evidências estabelecer um PTWI que protegesse a saúde, então, não existe um limite considerado seguro para exposição ao Pb. Para o Arsênio, o valor de PTWI proposto pelo JECFA em 2003 foi de 0,015 µg/kg de peso corporal por dia, desde então um novo valor não foi proposto.

**Quadro 4. Panorama dos principais trabalhos publicados sobre contaminação por metais pesados presentes em alimentos infantis em diferentes partes do mundo, 2012-2020.**

| <b>Autores</b>              | <b>Ano</b> | <b>País</b>  | <b>Síntese</b>   |
|-----------------------------|------------|--|--|
| Carbonell-Barrachina et al. | 2012       | Espanha, China, Estados Unidos (EUA) e Reino Unido | Foram analisadas amostras de arroz, cereais com glúten e papinha de bebê em quatro diferentes países para avaliar a ocorrência de arsênio total (tAs) e inorgânico (iAs) por meio de absorção. Foram analisadas 22 amostras de cereal infantil (13 cereais glúten free e 9 que continham glúten), 19 amostras de papinha para bebês (11 de frango e 8 de peixe) e 5 produtos especiais. O teor de i-As foi maior em produtos espanhóis sem glúten à base de arroz do que em produtos semelhantes preparados com misturas de outros cereais com glúten (trigo, cevada, aveia, etc.), com teores médios de 69 e 26 mg.kg <sup>-1</sup> , e apresentaram menor conteúdo de i-As em comparação com as amostras dos outros países. Os produtos com maiores teores de t-As e i-As foram os fabricados a partir do arroz integral orgânico.   |
| Rintala et al.              | 2014       | Finlândia  | O estudo analisou a ocorrência de arsênio inorgânico (iAs) em amostras de arroz e alimentos para bebês que tivesse como ingrediente base o arroz, sendo 8 amostras de arroz e 10 amostras de comida para bebês adquiridas em supermercados. O iAs foi analisado com um sistema HPLC-ICP-MS, utilizando como matéria de referência o NIST 1568 <sup>a</sup> (Farinha de arroz). Os níveis de iAs no arroz de grão longo variaram de 0,09 a 0,28 mg.kg (n = 8) e os níveis de tAs de 0,11 a 0,65 mg.kg. Os níveis de tAs dos alimentos para bebês à base de arroz estavam na faixa de 0,02 - 0,29 mg.kg (n = 10), no entanto, o nível de arsênio inorgânico só pôde ser quantificado em quatro amostras, em média eram 0,11 mg / kg. Houve uma boa correlação entre os níveis de arsênio total e inorgânico em arroz de grão longo com um nível de confiança de 95%. A ingestão de As está próxima do valor mais baixo de BMDL <sub>0,1</sub> 0,3 µg.kg/pc/dia estabelecido pela EFSA. |
| Mania et al.                | 2015       | Polônia  | Este trabalho buscou avaliar a presença de Pb, Cd, Hg e As em alimentos infantis da Polônia. Foram analisadas cerca de 1000 amostras disponíveis no comércio, as amostras foram tratadas por diferentes métodos de digestão, a depender de sua composição, em seguida foram analisadas com espectrometria de absorção atômica em chama (Hg), forno de grafite (Cd e Pb) e geração de hidreto (As). Os dados de consumo alimentar foi estabelecido pelo Mother and Child Institute para estimar a exposição alimentar. A exposição média calculada ao arsênio na dieta de crianças menores de 1 ano foi entre 0,11 e 0,99 µg / kg p.c/d (valor de BMDL <sub>0,5</sub> de 4-33%) e para metilmercúrio 0,01-0,08 µg.kg/p.c/d (7-41% do valor TWI para metilmercúrio). Cádmio representa 2,5-47% do valor da PTMI (FAO / OMS; JECFA). Chumbo foi de 0,09 µg / kg p.c/d   |

|                               |      |  |  |
|-------------------------------|------|--|--|
|                               |      |  | para bebês de 6 meses de idade a 0,53 µg.kg p.c/d para crianças de 1 ano de idade.   |
| Signes-Pastor, Carey & Meharg | 2016 | Países da União Europeia (EU) e Estados Unidos (EUA) | Este artigo destaca a importância de se quantificar os níveis de Arsênio inorgânico (iAs) em alimentos infantis visto seu potencial carcinogênico e risco para população infantil. Portanto, foram avaliadas amostras de mingau de arroz, cereais com base de arroz e amostras de biscoito de arroz vendidos na UE, em comparação com uma pesquisa do FDA (EUA) sobre iAs em arroz e produtos à base de arroz (FDA, 2014). Para tanto, as amostras foram digeridas em ácido nítrico a 1% em seguida diluídas e analisadas em um sistema de Cromatografia Iônica (IC) Thermo Scientific IC5000. Os produtos à base de arroz, mostraram as maiores concentrações de iAs e geralmente eram rotulados como produzidos sob padrões orgânicos. A concentração de iAs encontrada em várias amostras foi maior do que o nível máximo do JECFA.   |
| Jean et al.                   | 2018 | França   | Este trabalho apresenta os resultados da contaminação de alimentos por Cd e a exposição calculada resultante de uma pesquisa nacional de consumo alimentar individual, dados coletados durante 3 dias consecutivos, em 705 crianças conduzida pelo Syndicat Français des Aliments de l'Enfance et de la Nutrition Clinique ©, com o objetivo de caracterizar a exposição alimentar de crianças de 0 a 3 anos a poluentes. Para o Cd, foram definidos 291 itens alimentares, alimentos infantis e alimentos comuns ou água engarrafada. Os alimentos adquiridos foram preparados e cozidos de acordo com os resultados de um estudo sobre hábitos alimentares da população. A análise de Cd ocorreu por Espectrometria de Massa de Plasma Acoplado Indutivamente. Os resultados mostraram que em crianças com menos de 3 anos de idade, a exposição média diária variou de 0,385 µg.kg <sup>-1</sup> /pc (na faixa etária de 1 a 4 meses) a 2,26 µg.kg <sup>-1</sup> /pc (em o grupo de idade de 7-12 meses, já em crianças de 3 a 17 anos, a exposição média variou de 1,68 a 1,75 µg.kg <sup>-1</sup> /pc |
| Sager, McCulloch & Schoder    | 2018 | Tanzânia   | Leite em pó é um alimento para crianças africanas desnutridas e para bebês saudáveis de mulheres com HIV / AIDS. A alta demanda e o baixo poder aquisitivo resultaram em um enorme mercado negro informal na África Subsaariana. Com isto, o objetivo deste trabalho foi avaliar composição centesimal, aspectos legais e nutricionais, além da presença de metais essenciais e chumbo em amostras de leite vendidas no mercado formal e informal do país. Quarenta e três lotes de leite em pó foram analisados para 43 elementos químicos usando ICP-MS. Uma amostra (2,3%) estava contaminada com uma concentração de chumbo de 240 µg.kg de peso seco excedendo o limite europeu (130 µg.kg de peso seco).   |
| Kuznetsova et al.             | 2019 | Rússia   | O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de um Espectrógrafo ISP-28 a presença de alguns metais, entre eles o Chumbo, contidos em 7 fórmulas de leite infantil comercializadas na Rússia. Excesso de chumbo de 0,08 mg.kg, cobre de 0,07 mg/kg, zinco de 0,45 mg.kg foi observado no leite infantil "Malyatko Premium 2". No leite "Bellakt 2", a quantidade excessiva de cobre foi de 0,05 mg.kg, de zinco 0,20 mg/kg, de chumbo 0,05 mg.kg. No leite infantil "Nitricia Malyuk Istrynsky", apenas o zinco excedeu o nível normal (em 0,1 mg.kg). Os  |

|                          |      |                |  |
|--------------------------|------|----------------|--|
|                          |      |                | leites infantis “Nutricia Milupa 2,” “Nestlé Nestogen 2,” “HiPP Orgânico 2” não contêm metais pesados em excesso e, portanto, podem ser recomendados como seguros para consumo.  |
| Gardener, Bowen & Callan | 2019 | Estados Unidos | Examinou as concentrações de Pb e Cd em uma grande amostra de alimentos para bebês. Foi testado um total de 564 alimentos, desde fórmulas, cereais e sucos. A análise foi feita por meio de um ICP-MS usando uma versão modificada do método EPA 6020A. O chumbo foi detectado em 37% das amostras (mediana = não detectada, 75% = 5,6, máximo = 183,6 µg.kg) e cádmio em 57% (25% = não detectado, mediana = 2,8, 75% = 9,5, máximo = 103,90 µg.kg). De 91 amostras de fórmulas infantis, nenhuma excedeu as diretrizes de consumo de chumbo da FDA, 22% excederam as diretrizes de chumbo da Proposta 65 da Califórnia, 23% excederam as diretrizes de cádmio da Proposta 65 e 14% excederam os níveis toleráveis de ingestão de cádmio da. Não houve associação entre o produto ser certificado como orgânico e sua concentração de metais pesados. Produtos contendo arroz foram mais elevados nas concentrações de chumbo e cádmio. |
| Igweze et al.            | 2020 | Nigéria        | Determinou as concentrações de alumínio, arsênio e mercúrio e realizar uma avaliação do risco de exposição à saúde por fórmulas infantis consumidas na Nigéria. Foram analisadas 26 fórmulas por meio de Espectrometria de Absorção Atômica. Os níveis de arsênio foram maiores nas fórmulas à base de cereais em comparação às fórmulas à base de leite, mas a diferença não foi significativa ( $P > 0,05$ ). Os níveis de ingestão de alumínio, arsênio e mercúrio em fórmulas infantis foram de 8,02–14,2%, 437,1–771% e 23,7–41,8% dos valores de limiar JECFA de ingestão diária tolerável provisória, respectivamente.  |

Podemos perceber, com esses dados apresentados, que cereais, principalmente o arroz, pelo seu método de plantio necessitando de água abundante o que possibilita maior absorção de elementos inorgânicos, principalmente o arsênio. Diversos estudos têm demonstrado o efeito de uma dieta rica ou exclusiva de alimentos baseados em cereais, principalmente no que tange a populações que seguem dietas restritivas seja por escolha, ou por outros motivos específicos, como os indivíduos portadores de doença celíaca (SOYLAK, DURAN & YILMAZ, 2019; WÜNSCHE, 2018). Em seu estudo, Raehsler et al. (2018) demonstraram que indivíduos que seguiam uma dieta *gluten free*, a base de arroz, tinham níveis urinários de arsênio total e níveis sanguíneos de mercúrio, chumbo e cádmio significativamente mais altos do que pessoas que não evitavam o glúten. Isso demonstra a importância de estudos sobre alimentação infantil, sobretudo a alimentação escolar que no Brasil a maioria dos cardápios é composto de alimentos à base de arroz e cereais. Em estudo realizado por Kato et al., (2019) das 24 amostras de arroz coletadas em diversas regiões do

país, 42% apresentaram As inorgânico acima do limite europeu para produção de alimentos para bebês ( $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ). O teor total de As nas amostras do estado de Mato Grosso apresentou valor máximo de  $6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Abaixo no Quadro 6, temos a síntese de análises de metais pesados em alimentação escolar encontrados na literatura, sendo três deles realizados no Brasil.

#### Quadro 5. Síntese dos trabalhos publicados sobre a contaminação por metais pesados na alimentação escolar.

| Autores        | Ano  | Síntese   |
|----------------|------|---|
| Maihara et al. | 1998 | O estudo foi realizado na cantina de uma creche da Universidade de São Paulo e um grupo de idosos que residiam em instituições particulares, também em São Paulo, tendo como objetivo avaliar a concentração de elementos tóxicos na alimentação desses dois grupos. Para a amostragem, foi utilizada a técnica da porção duplicada, que consistiu em coletar todos os alimentos e bebidas consumidos por três dias consecutivos. Um processo de separação radioquímica foi desenvolvido e aplicado para a determinação de As, Cd, Sb, W, Th e U. Os elementos analisados apresentaram níveis de ingestão abaixo dos níveis máximos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).   |
| Bastias et al. | 2010 | Neste estudo realizado no Chile os autores buscaram analisar a ingestão de arsênio total (tAs), arsênio inorgânico (iAs) e mercúrio total (tHg) em porções de almoço e café da manhã fornecidas pelo Programa de Refeição Escolar do Chile (SMP). As amostras foram coletadas em 65 escolas de todo o país em 2006 por meio da metodologia de dupla dieta. O arsênio foi analisado por meio de espectrometria de absorção atômica com geração de hidreto, já o mercúrio total foi analisado por meio de espectrometria de absorção atômica com vapor frio. A ingestão estimada de arsênio foi de 12,5% (5,4 mg/dia) da ingestão diária tolerável provisória (PTDI), conforme proposto pela FAO/OMS, e a ingestão de mercúrio foi de 13,2% (1,9 mg/dia) do PTDI, conforme proposto pelo FAO / OMS. Concluiu-se, portanto, que a ingestão de tAs, iAs e tHg dos alimentos fornecidos pelo SMP não trazem riscos à saúde do aluno. |
| Nacano         | 2014 | Estudo realizado em duas escolas municipais de Ribeirão Preto – SP, uma de ensino infantil e outra de ensino médio. Por meio da metodologia de dupla dieta foram coletadas amostras de merenda escolar durante todos os dias letivos de quatro meses. O objetivo foi determinar a ingestão diária dos elementos tóxicos: As, Cd, Pb, por meio de espectrometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). A ingestão média de As, Cd, Pb na escola de ensino infantil foi respectivamente $5,6 \mu\text{g}$ , $0,6 \mu\text{g}$ e $0,4 \mu\text{g}$ ; na escola de ensino fundamental foi respectivamente $6,9 \mu\text{g}$ , $0,9 \mu\text{g}$ e $0,6 \mu\text{g}$ . Os resultados mostraram valores abaixo dos valores de referência utilizados pela autora, fornecidos pela EFSA e Organização Mundial da Saúde.   |
| De Roma et al. | 2017 | Neste estudo os autores analisaram a ocorrência de As, Cd, Pb e Hg em refeições de escolares, alimentação infantil (leite), além de refeições de restaurantes e <i>fast food</i> . Os dados de ocorrência dos elementos nas amostras coletadas foram determinados por espectrômetro de massa plasmática indutivamente acoplado, incluindo uma célula de reação dinâmica (ICP-MS-DRC). Os níveis   |

|        |      |  |
|--------|------|--|
|        |      | estimados são adequados em comparação com a ingestão diária recomendada para esses elementos, com exceção de As ( $> 2,14 \mu\text{g.kg}^{-1}\text{pc/dia}$ ) e Cd ( $> 0,36 \mu\text{g.kg}^{-1} \text{pc/dia}$ ). Para o arsênio, uma atenção especial deve ser dada à maioria dos itens alimentares que contribuíram para seu valor mais alto, como no caso de frutos do mar.  |
| Leroux | 2018 | Este estudo teve como objetivo determinar a fração bioacessível dos elementos inorgânicos As, Cd e Pb da dieta de pré-escolares de duas creches. Um total de 64 amostras foi analisado por ICP-MS para as concentrações totais desses elementos. A ingestão dietética (DI) média de chumbo, cádmio e arsênico foi de $0,18\text{-}0,11 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ pc}$ , $0,08\text{-}0,04 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ pc}$ e $0,61\text{-}0,41 \text{ mg.kg}^{-1}\text{pc}$ , respectivamente. Todos os valores de ingestão diária estavam abaixo dos valores permitidos pela União Europeia e pela OMS, apenas uma criança ultrapassou a ingestão diária tolerável para Pb. |

É possível notar que no Brasil existem poucos estudos sobre a presença de metais pesados em refeições servidas em escolas. Apesar de Maihara (1998) e Nacano (2012) terem encontrado valores abaixo do estipulado por organizações responsáveis, não deixa de ser um assunto de extrema importância e passível de novas pesquisas. No próximo tópico deste capítulo iremos detalhar os principais problemas relacionados a presença desses compostos em alimentação infantil e os efeitos deletérios causados nessa fase da vida.

#### 4.4 Efeitos dos metais tóxicos na infância

##### 4.4.1 Arsênio

A maior parte dos compostos de arsênio é proveniente do seu uso em agrotóxicos, além dos seus componentes inorgânicos serem utilizados na composição de ligas ferrosas, certos tipos de vidro, aditivos alimentares para criação de animais e resíduos despejados em rios por minas de forma criminosa, o uso em outros componentes industriais foi proibido em diversos países desde os anos 2000 (KRAUSE, 2018; COZZOLINO, 2016). Assim, o As pode ser encontrado ligado a outros metais ou metaloides, óxidos ou em sua forma elementar  $\text{As}^0$ , os compostos inorgânicos de arsênio são considerados mais tóxicos que os orgânicos, portanto, a contaminação ambiental por esse elemento ocorre em cadeia chegando à população principalmente pela via alimentar, assim como diversos outros elementos tóxicos (KRAUSE, 2018; COZZOLINO, 2016).

Quando o indivíduo é exposto de forma crônica a pequenas doses do As, pode desenvolver fraquezas, dores musculares contínuas e sintomas gastrointestinais. A

intoxicação de forma aguda, ocorre mais comumente em casos acidentais ou tentativas de suicídio, podendo gerar efeitos graves e devastadores, desde efeitos gastrointestinais leves como vômito e diarreia até gastrenterite hemorrágica, ainda podendo ocasionar efeitos no sistema cardiovascular e neurológico, taquicardia e confusão mental (KRAUSE, 2018; COZZOLINO, 2016).

Os efeitos crônicos são os mais comuns, principalmente na população que tem maior exposição ocupacional e ambiental. Os efeitos em sua maioria são multissistêmicos, incluindo, fadiga, mal estar, leucopenia, anemia, neuropatia periférica e insuficiência vascular periférica, lesões na pele também são listadas na literatura podendo causar câncer em locais que comumente não são expostos ao sol, se a exposição ocorrer principalmente por via inalatória o desfecho poderá ocorrer em forma de câncer de pulmão, na exposição por via oral os desfechos mais relatados são cânceres de pulmão e bexiga, sendo segundo a IARC um carcinogênico pertencente ao Grupo I (KRAUSE, 2018; COZZOLINO, 2016; SILVA, BARRIO & MOREIRA, 2014).

Como falado anteriormente, a principal via de exposição ao As para a maior parte da população é oral, seja pelo consumo de água ou alimentos contaminados. Diversos estudos têm demonstrado que os alimentos com maior teor desse metal são os frutos do mar, principalmente crustáceos e os cereais, em especial o arroz pela sua forma de plantio submerso em água, assim a importância de quantificar esse elemento na dieta, visto que para a maioria da cultura alimentar de diversos países os cereais são uma importante base (MOULICK et al, 2021; DE ROMA, et al, 2018; OTERO et al, 2016)

O consumo de peixes e frutos do mar é uma fonte importante para contaminação por As, no entanto, é algo discutível na literatura, visto que a maior parte do metal (90%) está em sua forma orgânica que para o ser humano tem baixa toxicidade e sua maior parte é excretada pela urina. No entanto, é válido lembrar que não existe um valor 'seguro' para o consumo desse contaminante, mesmo a exposição em pequenas quantidades feitas de forma crônica podem acarretar os efeitos adversos já mencionados anteriormente (YORIFUJI, et al., 2016; IARC, 2012).

Em um estudo que visava analisar a contaminação por As em amostras de arroz no Brasil, Batista et al., (2011) chegaram a resultados que na época já demandavam atenção, visto que o limite máximo proposto pelo Codex Alimentarius para As no arroz

era de no máximo  $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  para As total ou As inorgânico, nas 44 amostras analisadas de todo país as concentrações médias encontradas foram de  $222,8 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$  e cerca de 25% delas apresentavam valores maiores que os recomendados pelo Codex, estudo semelhante realizado em por Kato et al.,(2019) revelou que das 24 amostras analisadas no trabalho, 42% estavam acima do limite para As.

Esses resultados deletérios relacionados à contaminação por contaminantes inorgânicos, principalmente na população infantil, pode ser visto em diversos artigos publicados nos últimos anos, desde sintomatologias consideradas leves ou brandas, até casos de doenças severas e incapacitantes. Entre os efeitos mais relatados na literatura encontram-se os cognitivos, em seu estudo Yorifugi et al., (2016) analisaram dois grupos de crianças (um controle e um exposto ao arsênio) e ao final constatou-se que o grupo de crianças expostas ao As apresentavam resultados dos testes cognitivos substancialmente abaixo dos não expostos.

#### **4.4.2 Cádmiio**

O Cádmiio (Cd) é um elemento usado principalmente na indústria para produção de tintas, plásticos e baterias, por outro lado, raramente é encontrado na natureza em sua forma pura, estando associado principalmente com zinco, cobre e chumbo em diferentes proporções (ROCHA, 2009). A contaminação acontece principalmente através de resíduos industriais descartados de forma inadequada no solo, sedimentos de esgoto, galvanoplastia, uso como componente em fertilizante a base de fosfato, entre outros (VACCHI-SUZZI, 2016; KENT et al., 2014). O Cd depositado no solo contamina nascentes de rios e conseqüentemente pode contaminar a água potável, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Environmental Protection Agency – EPA) estabeleceu um limite de segurança de  $0,005 \text{ mg/L}$  na água potável (ROCHA, 2009). Uma atualização do estudo da dieta total da Food and Drug Administration (FDA) dos EUA relatou um aumento de 26% na exposição ao Cd na dieta de 1990 a 2003, de  $8,8$  para  $11,1 \text{ } \mu\text{g/pessoa/dia}$  (VACCHI-SUZZI, 2016).

A via inalatória, mais tóxica, e a digestiva são as principais vias de entrada para o Cd no organismo, após a sua exposição grande parte do Cd é excretado e uma pequena parcela é transportada por meio dos eritrócitos para o fígado onde liga-se a metalotioneína, formando um complexo cádmio-metalotioneína, sendo transportado pelo sangue até os rins, essa proteína desempenha uma dupla função na toxicidade

do Cd, atuando como agente de detoxificação contra efeitos agudos e como estoque de proteína, por outro lado, pode estar envolvida na mitigação dos efeitos crônicos no fígado (ROCHA, 2009). Quando a exposição ocorre pela via inalatória, pode causar desde sintomas leves como tosse, dor de cabeça e febre se a inalação ocorrer de forma aguda, até sintomas severos, como pneumonite química e edema pulmonar, quando a inalação ocorre de forma crônica os efeitos desencadeados podem ser ainda mais graves, levando à bronquite, enfisema e fibrose pulmonar, a Agência Internacional para Pesquisa sobre o Câncer (International Agency for the Research on Cancer – IARC) classificou o Cd e os seus sais no Grupo I, carcinogênico para humanos (VACCHI-SUZZI, 2016; KENT et al., 2014; ROCHA, 2009).

A via oral possui efeitos mais brandos, mas ainda assim preocupantes, quando ocorre de forma aguda pode levar a náuseas, vômitos e diarreia, por outro lado, a exposição crônica pode levar a lesão renal grave e efeitos deletérios no sistema esquelético, pois afeta o metabolismo do cálcio, fósforo e da vitamina D (VACCHI-SUZZI, 2016; ROCHA, 2009). Os primeiros relatos de efeitos no sistema esquelético foram apresentados após um acidente na bacia do rio Jinzu, no Japão, a doença Itai-Itai (significando dói-dói em japonês) que é caracterizada por dor intensa, fraturas e distorção dos ossos longos, foi associada aos altos teores de Cd na água do rio contaminada por mineração de zinco a montante dos campos de arroz (VACCHI-SUZZI, 2016; KENT et al., 2014).

O dano renal é encontrado principalmente em trabalhadores expostos a esse elemento, ocorrendo alterações morfológicas que ocasionam inflamações levando à fibrose dos túbulos renais e consequentemente causando aumento da excreção de proteínas de baixo peso molecular, especialmente a  $\beta$ 2-microglobulina (ROCHA, 2009). A exposição pode ocasionar, inclusive, alterações neurológicas, como perda da visão, olfato, alterações na memória, psicomotoras, entre outras (ROCHA, 2009). Quanto maior o tempo e exposição, maior as chances de desenvolver algum desses efeitos deletérios, por isso diversos estudos demonstram que a idade avançada muitas vezes está associada a maiores níveis de Cd no organismo, cabe ressaltar que a disfunção renal, quando ocorre, é irreversível, mesmo se a exposição ao cádmio for suspensa. Desse modo, o melhor indicador biológico para a exposição excessiva e a longo prazo desse elemento, é a análise do Cd urinário (U-Cd) (ARAÚJO, 2016; ROCHA, 2009).

Grande parte da população, dessa forma, é exposta ao Cd pela via alimentar; a maior parte advindo de produtos da agricultura, onde vegetais e cereais são as fontes mais significativas. Os peixes em si não contêm grandes quantidades desse elemento, mas crustáceos e moluscos bivalves por atuarem como filtros, tornam-se maiores bioacumuladores. Araújo et al. (2016) em seu estudo demonstrou que populações que possuem uma dieta rica em bivalves marinhos são mais expostas a contaminação por Cd. Assim, o maior problema desse elemento é que sua excreção componente é lenta, mas sua meia vida é longa, entre 10 e 30 anos, assim exposições prolongadas que ocorrem ainda na infância podem desencadear transtornos nas fases seguintes da vida (CHEN et al, 2016; IARC, 2012).

#### **4.4.3 Chumbo**

O Chumbo (Pb) é um metal maleável utilizado principalmente na fabricação de canos, revestimentos de cabos e solda, alguns de seus compostos são adicionados como pigmentos, estabilizadores ou ligantes em tintas, cerâmicas, vidro e plástico, portanto, sua exposição pode ocorrer à partir do uso de cerâmicas esmaltadas com chumbo e recipientes utilizados para preparo de alimentos e bebidas, principalmente os ácidos, podendo ser encontrado em poeira doméstica e no ar (BAH et al, 2020; BANDEIRA et al, 2021).

Em seu trabalho, Zeng et al.(2020) realizaram uma revisão sobre os efeitos adversos encontrados em crianças chinesas expostas ao Pb encontrado em lixo eletrônico. Diversos estudos demonstraram efeitos adversos cardiovasculares, neurológicos, alterações no DNA, imunológicos, respiratório, reprodutor, urinário e ósseo. Apesar de termos diversas fontes de exposição a esse elemento, a fonte primária de exposição não ocupacional para a maior parte da população, é a via alimentar (MARTINEZ, et al., 2020; WANG, et al., 2019). Alimentos como as frutas, vegetais folhosos, cereais, fígado e rins de mamíferos e frutos do mar são as principais fontes alimentares para exposição a esse contaminante, principalmente os moluscos, o que foi demonstrado por Araújo et. al., (2016) o risco de toxicidade para Pb foi maior na população que consumia moluscos com mais frequência.

A absorção do Pb pela via dérmica é mínima, no geral, a principal e mais rápida via é a respiratória, após a absorção ele é distribuído pelo sangue e aos diversos tecidos do corpo, isso inclui o transporte transplacentário para o feto e o transporte para o Sistema Nervoso Central (SNC) por meio da barreira hematoencefálica (KRAUSE, et

al., 2018; COZZOLINO, et al., 2016). Quanto à absorção gastrointestinal, apesar de não ser a via de absorção mais rápida, é a mais comum, torna-se substancialmente aumentada quando o indivíduo estiver em jejum ou em situações de deficiência de ferro e consumo deficiente de cálcio na alimentação. Ainda neste ponto, o Pb pode agir competitivamente com estes oligoelementos provocando disfunções fisiológicas e bioquímicas importantes para o crescimento e desenvolvimento infantil (OHTSU, 2019).

Assim sendo, a dieta, principalmente das crianças, deve ser livre desse contaminante. No geral, crianças são mais susceptíveis a exposição que os adultos e por diversos fatores fisiológicos excretam esse elemento de forma mais lenta (ZENG, et al., 2020; OHTSU, et al., 2019).

A ingestão aguda, grandes quantidades em gramas, de chumbo, pode ocasionar dor abdominal aguda, anemia (geralmente hemolítica), hepatite tóxica e encefalopatia, esta sendo mais rara em adultos e relativamente mais comum em crianças, por outro lado, a ingestão crônica, que ocorre com mais frequência, pode levar desde o surgimento de sintomas leves, como perda de peso, insônia e dores de cabeça, até manifestações cardiovasculares como risco aumentado para hipertensão e no SNC, diversos estudos demonstram que o chumbo pode ocasionar efeitos sobre a função cognitiva em crianças (MARTINEZ, et al., 2020; KRAUSE et al., 2018; COZZOLINO, et al., 2016). Sendo o chumbo um elemento com afinidade para tecidos ósseos e com meia vida longa, entre 10 e 30 anos nesse tecido, como demonstram diversos estudos, com o avançar da idade os níveis de chumbo tornam-se mais elevados (ZENG, et al., 2020; OHTSU, et al., 2019).

#### **4.5. Avaliação de Risco**

Na literatura existem diversos estudos que embasam o aumento de diversos contaminantes ambientais, dentre eles os elementos tóxicos As, Cd e Pb, também comprovando e descobrindo novos desfechos negativos na saúde da população mundial, como discutido no tópico anterior.

Foi em 1945 que dois toxicologistas do FDA (Food and Drug Administration) definiram o que hoje conhecemos como Ingestão Diária Aceitável (IDA). O FDA é uma agência que reconhece a avaliação de risco como método para avaliar riscos relacionados a alimentos contaminados, além de oferecer formas de gestão desses riscos reduzindo o impacto e prejuízos à saúde da população (TOLEDO, 2021; JARDIM, CALDAS,

2009). A avaliação do risco tem como objetivo estimar o risco a um dado organismo alvo, sistema ou população, após a exposição a um elemento tóxico, levando em conta as características do elemento e a população em estudo (JARDIM, CALDAS, 2009). A avaliação de risco causada pela exposição a elementos tóxicos na dieta é reconhecida como um processo essencial para garantir que a população tenha fontes alimentares seguras, sendo realizada no Brasil pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Dentre os métodos conhecidos para análise de risco têm-se o quociente de risco (QR), que possibilita avaliar a presença de efeitos não carcinogênicos em uma população, tendo como base para cálculo a ingestão média da população em estudo e a dose referência do contaminante avaliado (RfD) no mesmo período. A RfD é um parâmetro que valida concentrações do elemento em que não são observados efeitos deletérios à saúde, denominada NOAEL (Non Observed Adverse Effect Level) (KOLESNIKOVAS, OLIVEIRA & DUARTE, 2009).

Esse processo de avaliação de risco envolve quatro etapas: a identificação do risco tem como objetivo identificar os potenciais efeitos adversos à saúde humana associados à exposição do elemento tóxico, assim como o levantamento de suas características físico-químicas; a caracterização do dano, ou dose-resposta, que é a relação quantitativa entre a exposição e a incidência de resposta e probabilidade de um efeito adverso; a avaliação da exposição, que é a estimativa quantitativa e/ou qualitativa de exposição da ingestão, caso a via avaliada seja a alimentar, dos componentes tóxicos avaliados, e a última etapa é a caracterização do risco, sendo esta a última etapa da avaliação de risco, que tem como objetivo avaliar e interpretar o risco associado ao contaminante químico (TOLEDO, et al, 2021; STORELLI, 2008; BRILHANTE, CALDAS; 1999; USEPA, 1986). Assim, após o exposto, a partir do quociente de risco é possível identificar se a exposição a determinado elemento tóxico está abaixo ( $QR < 1$ ) ou acima ( $QR > 1$ ) do limiar de segurança. Desta forma, valores de QR maiores que um indicam maiores efeitos deletérios à saúde dos elementos tóxicos estudados ((BRILHANTE; CALDAS, 1999).

## 5. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C.F.S.; LOPES, M.V.; VASQUEZ, M.R.;PORCINO, T.S.;RIBEIRO, A.S.V.;RODRIGUES, J.L.G.; OLIVEIRA, S.S.P.; MENEZES-FILHO, J.A. Cadmium and lead in seafood from the Aratu Bay, Brazil and the human health risk assessment. ***Environmental Monitoring and Assessment***, v. 188, n. 259, 2016.
- AVEGLIANO, R. P.; MAIHARA, V. A. & SILVA, F. F. A Brazilian total diet study: evaluation of essential elements. ***Journal of Food Composition and Analysis***, v. 24, p. 1009-1016, 2011.
- AVEGLIANO, R. P.; MAIHARA, V. A. & SILVA, F. F. Metodologia de estudo de dieta total no estado de São Paulo para estimativa de ingestão dietética de elementos tóxicos e essenciais: a elaboração da cesta de mercado (Market basket). ***Ciência e Tecnologia de Alimentos***, Campinas – SP, n. 28, p. 90-97, 2008.
- BATISTA, B. L. et al. Evaluation of the concentration of non-essential and essential elements in chicken, pork and beef samples produced in Brazil. ***Journal of Toxicological and Environmental Health***, London – UK, n. 75, p. 269–1279,2012.
- BATISTA, B.L.; SOUZA, J.M.O.; SOUZA, S.S.; BARBOSA, JR.F. Speciation of arsenic in rice and estimation of daily intake of diferente arsenic species by Brazilians through rice consumption. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 191, n. 1-3, p. 342-348, 2011.
- BASTÍAS, J.M. et al. Determination of Dietary Intake of Total Arsenic, Inorganic Arsenic and Total Mercury in the Chilean School Meal Program. ***Food Science and Technology International***, v. 16, n. 5, 2010.
- BAH, A.F.H. et al. Environmental exposure to lead and hematological parameters in Afro-Brazilian children living near 41 artesanal glazed pottery workshops. *Journal of Environmental Science and Health*, v. 55, n. 8, 2021.
- BANDEIRA, M. J. et al. Assessment of potters' occupational exposure to lead and associated risk factors in Maragogipinho, Brazil: 41 preliminar results, v. 94, p. 1061–1071, 2021.
- BELIK, W; CHAIM, N.A.; O programa de alimentação escolar e a gestão municipal: eficiência administrativa, controle social e desenvolvimento local. ***Ver Nutr.***, Campinas - SP, v. 22, n. 5, p. 595-607, set./out. 2009.
- BEZERRA, J.A.B. Alimentação e escola: significados e implicações curriculares da merenda escolar. ***Revista Brasileira de Educação***, Fortaleza - CE, v.14, n.40, p.103-115, jan.abr., 2009.
- BRASIL. Ministério da Educação. Resolução nº 6, de 08 de maio de 2020. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. ***Diário Oficial da União***, nº 89, 2020.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Referência na ONU, Programa Nacional de Alimentação Escolar completa 63 anos, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/384-noticias/fnde-1801140772/62281-referencia-na-onu-programa-nacional-de-alimentacao-escolar-completa-63-anos> . Acesso em: 10 de dez 2019.

\_\_\_\_\_. **Cartilha nacional da alimentação escolar**. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. Brasília: MEC, FNDE. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Resolução/CD/FNDE nº 26, de 17 de junho de 2013 - Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. **Diário Oficial da União**, nº 115, 2013.

\_\_\_\_\_. Conselho Federal de Nutricionistas. Resolução CFN nº 465 de 23 de agosto de 2010. *Dispõe sobre as atribuições do Nutricionista, estabelece parâmetros numéricos mínimos de referência no âmbito do Programa de Alimentação Escolar (PNAE) e dá outras providências*. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112812>. Acesso em: 25/06/2020.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009 – Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica. **Diário Oficial da União**, nº 113, 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE/Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. **Caderno de Legislação**. 2010a.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE/Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. **Caderno de Materiais Técnicos – Nutricionista do PNAE – 2010b**.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Coordenação Geral do Programa Nacional de Alimentação Escolar. **O Papel do Nutricionista no Programa Nacional de Alimentação Escolar: Manual de instruções operacionais para nutricionistas vinculados ao PNAE**. 2ª Edição. Brasília, DF: MEC/FNDE, 2012.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. A., Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. 155 p. ISBN 85-85676-56-6

BURKET, D.; ANDRADE, D. R.; SIROL, R. N.; SALARO, A. L. Rendimento do processamento e composição química de filés de surubim cultivado em tanques-rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa – MG, v. 37, 2008.

CARBONELL-BARRACHINA, A.A. et al. Inorganic arsenic contents in rice-based infant foods from Spain, UK, China and USA. **Environmental Pollution**, v. 163, p. 77-83, 2012.

CESAR, J.T et al. Alimentação Escolar no Brasil e Estados Unidos: uma revisão integrativa. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.23, n. 3, p. 991-1007, 2018.

COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de nutrientes. 4.ed. Barueri: Manole, 2012.

CHAWLA, R. et al. Exposure to a high selenium environment in Punjab, India: Biomarkers and health conditions. **Science of the Total Environment**, v. 719, 2020.

CHANDRAVANSI, L. K. Shiv. S. Kumar. Developmental toxicity of cadmium in infants and children: a review. **EAHT**, n. 36, v.1, 2021.

H.L.CHEN, C.C. LEE, W.J. HUANG, H.T. HUANG, Y.C. WU, Y.C. HSU, Y.T. KAO  
Arsenic speciation in rice and risk assessment of inorganic arsenic in Taiwan  
population. *Environ Sci Pollut Res Int.* n.23, p. 4481-4488, 2016.

EFSA, European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA  
Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal*, n. 8 v. 4, p. 1–  
147, 2010.

FERREIRA, H.G.R; ALVES, R.G; MELLO, S.C.R.P. O programa Nacional de  
Alimentação Escolar (PNAE): alimentação e aprendizagem. **Revista da SJRJ**, Rio  
de Janeiro, v. 22, n. 44, p. 90-113, nov. 2018 /fev. 2019

FUMIO, K. et al. Influence of essential trace minerals and micronutrient  
insufficiencies on harmful metal overload in a Mongolian patient with multiple  
sclerosis. **Current Aging Science**, v. 5, n. 2, pp. 112-125, 2012.

FRANÇA, F.C.O. et al. School meals' centesimal and mineral composition and their  
nutritional value for Brazilian children. **Journal of Trace Elements in Medicine and  
Biology**, n. 48, p. 97-104, 2018.

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.

GAO,X. LI,J. DONG,Y. CAO,T. LI,H.W. Mielke HW. Snack foods and lead ingestion  
risks for school aged children: A comparative evaluation of potentially toxic metals  
and children's exposure response of blood lead, copper and zinc levels,  
**Chemosphere**, n. 261, 2020.

GOMES-JUNIOR, E,A. H.A.F. BAH, Y.J.M. RODRIGUES, M.J. BANDEIRA, N.R.  
SANTOS, J.A. MENEZES-FILHO. . et al. Lead in soil and vegetables in a glazed  
ceramic production area: A risk assessment. *Environ Nanotechnol Monit Manag*, n.  
14, 2020.

GUÉRIN, T. et al. Mercury in foods from the first French total diet study on infants  
and toddlers. **Food Chemistry**, v. 15, p. 920-925, 2018.

HAYASHI, A. et al. Statistical approach to identify food categories that determine  
daily intake levels of total and inorganic arsenic, lead and aluminium of Japanese  
diet. **Food additives & contaminants**, London – UK, n. 35, v. 9, p. 1749-1754,  
2018.

IAL (Instituto Adolfo Lutz). **Physico-Chemical Methods for Food Analysis**. São  
Paulo: IAL. 2008.

IARC. Inorganic and organic lead compounds. IARC. Monogr. Eval. Carcinog. Risks  
Hum.87 (24) (2006). Ten Chemicals of Major Public Health Concern.  
[https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/chemicals\\_phc/en/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en/) (accessed 14  
July 2020).

IARC, A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts/  
IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. World  
Health Organization and International Agency for Research on Cancer, Lyon-France,  
(2009).

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Censo escolar da educação básica*. 2019. Disponível em:

<http://portal.inep.gov.br/documents/186968/484154/Resumo+T%C3%A9cnico+do+Estado+da+Bahia+-+Censo+da+Educa%C3%A7%C3%A3o+B%C3%A1sica+2019/384b003b-68ad-40ec-acf6-7e5b6e082172?version=1.0>. Acesso em: 05 de agosto de 2020.

IGWEZE, Z.N. et al. Public Health and Paediatric Risk Assessment of Aluminium, Arsenic and Mercury in Infant Formulas Marketed in Nigeria. **SQU Medical Journal**, v. 20, n. 1, fev. 2020.

INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira). *IDEB – Resultados e metas, 2017*. Disponível em:

<http://ideb.inep.gov.br/resultado/resultado/resultadoBrasil.seam?cid=3916171>. Acesso em: 06 de julho de 2020.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. *Análises de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos*. 3. ed. Viçosa – MG: **Editora da Universidade Federal de Viçosa**, 2006.

JARDIM, Andréia Nunes Oliveira; CALDAS, Eloisa Dutra. Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e os riscos para a saúde. **Química Nova**, [s. l.], v. 32, n. 7, p. 1898–1909, 2009.

JIANG, J. et al. Dietary intake of human essential elements from a Total Diet Study in Shenzhen, Guangdong Province, China. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 39, p. 1-7, 2015.

JEAN, J. et al. Dietary exposure to cadmium and health risk assessment in children – Results of the French infant total diet study. **Food and Chemical Toxicology**, v. 115, p. 358–364, 2018.

KENT, R. et al. *Manual de toxicologia clínica*. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KOLESNIKOVA, C. OLIVEIRA, E. DUARTE, U. Avaliação de risco toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada à gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial, **Águas Subterrâneas**, v.23, n.01, p.31-44, 2009.

KUZNETSOVA, I. et al. Heavy metals in milk infant formulas. **Food science and technology**, v. 13, n. 3, 2019.

LEBLANC, J.C. et al. Dietary Exposure Estimates of 18 Elements from the 1st French Total Diet Study. **Food Additives and Contaminants**, n. 22, v. 7, p. 624-641, 2005.

LIBERMANN, A.P; BERTOLINI, G.R.F. Tendências de pesquisa em políticas públicas: uma avaliação do Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.20, n.1, p. 3533-3546, 2015.

MAIHARA, V.A. et al. Estimate of toxic element intake in diets of pre-school children and elderly collected by duplicate portion sampling. **Food Additives and Contaminants**, v. 15, n. 7, p. 782-788, 1998.

MANIA, M. et al. Toxic Elements in Commercial Infant Food, Estimated Dietary Intake, and Risk Assessment in Poland. **Polish Journal of Environmental Studies**, vol. 24, n. 6, p. 2525-2536, 2015.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. ; RAYMOND, J.L. Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia. 13ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 1228 p.

MARTINEZ, O.V. et al. Interaction of *Toxoplasma gondii* infection and elevated blood lead levels on children's neurobehavior. **NeuroToxicology**, v. 78, p. 177-185, mai., 2020.

MARDEGAN, G.E. Segurança alimentar, sua origem e as medidas de prevenção do Brasil e Argentina. Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7, 2014, Vitória – ES. **Anais [...]**, Vitória – ES: UFES, 2014. Disponível em: <http://www.cbg2014.agb.org.br/site/anaiscomplementares?AREA=2#G> . Acesso em: 4 de agosto de 2020.

MENEZES-FILHO, J. A. et al. Elevated manganese and cognitive performance in school-aged children and their mothers. **Environmental Research**, v. 111, p. 156-163, 2011.

MORETTO, E. F.; GONZAGA, L.V.; KUSKOSKI, E.M. Introdução à ciência de alimentos. 1. ed. Santa Catarina: **Editora da UFSC**, 2003. 255 p.

MOULICK, D. et al. Arsenic contamination, impact and mitigation strategies in rice agro-environment: An inclusive insight. **Science of the Total Environment**, v. 800, 2021.

NACANO, L. R. Freitas, R. Barbosa Jr, F. **Evaluation of Seasonal Dietary Exposure to Arsenic, Cadmium and Lead in Schoolchildren Through the Analysis of Meals Served by Public Schools of Ribeirão Preto, Brazil**. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 77 (7) , 367-374, (2014)

NHAMUNS, A.J; ATAYDE, H. Composição centesimal das peles de Pirarara (*Phractocephalus hemiolepis*). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba – PR, v. 3, n. 3, p. 1018-1033, jul./set. 2020.

NRC (National Academic Press). Dietary Reference intakes: applications in dietary assessment. Washington DC, **National Academic Press**, 2001.

OHTSU, M. et al. Oral exposure to lead for Japanese children and pregnant women, estimated using duplicate food portions and house dust analyses. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 24, n. 72, 2019.

OLIVEIRA, M.A.S; SIQUEIRA, L.S. A importância da descentralização do PNAE para a efetivação de suas propostas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba-PR, v. 6, n 3, p 13872-13880 mar. 2020

OTERO, X.L. et al. Arsenic in rice agrosystems (water, soil and rice plants) in Guayas and Los Ríos provinces, Ecuador. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 778-787, 2016.

POMA, G. et al. Dietary intake of phosphorus flame retardants (PFRs) using Swedish food market basket estimations. **Food and Chemical Toxicology**, v. 100, p. 1-7, 2017.

PUNSHON, T. JACKSON, B.P. Essential micronutrient and toxic trace element concentrations in gluten containing and gluten-free foods. **Food Chemistry**, v. 252, p. 258 – 264, 2018.

ROCHA, AF. **Cádmio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública**. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso), Universidade do Porto, Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação, Porto – PT, 2009.

RINTALA, E.M. et al. The intake of inorganic arsenic from long grain rice and rice-based baby food in Finland – Low safety margin warrants follow up. **Food Chemistry**, v. 150, p. 199-205, 2014.

ROMA, A.D. et al. Occurrence of cadmium, lead, mercury, and arsenic in prepared meals in Italy: Potential relevance for intake assessment. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 63, p. 28–33, 2017.

SAGER, M; MCCULLOCH, C.R; SCHODER, D. Heavy metal content and element analysis of infant formula and milk powder samples purchased on the Tanzanian market: International branded versus black market products. **Food Chemistry**, v. 255, p. 365–371, 2018.

SILVA, J.M.B.; BARRIO, R.J.; MOREIRA, J.C. Arsenic and health: a relationship that needs surveillance. **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 2, n. 1, p. 57-63, 2014.

SIGNES-PASTOR, AJ; CAREY, M; MEHARG, A.A. Inorganic arsenic in rice-based products for infants and young children. **Food Chemistry**, v. 191, p. 128–134, 2016.

SOARES, T.M.S. **O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) no município de Santo Antônio da Patrulha – RS**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí – RS, 2018.

SOBRINHO, JF. **Avaliação da qualidade dos cardápios ofertados para pré-escolares de uma escola privada no Distrito Federal**. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília – DF, 2017.

SOYLAK, M. DURAN, A. YILMAZ, E. Assessment of Gluten-Free Food Sourced Heavy Metal Accumulation for Celiac People. **Cumhuriyet Science Journal**, v. 40, p. 61-68, 2019.

STORELLI, M. M. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], v. 46, n. 8, p. 2782–2788, 2008.

TOLEDO, M.C. et al. risk assessment in human health due to the presence of arsenic and other elements in rice in Brazil. **Int. J. Environ. Res. Public Health** v. 19, n. 24, 2022.

USEPA. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for carcinogen risk assessment**. **Federal Register**, v. 51, p. 33991-34003, 1986.

VENDRAMINI, ALA. OLIVEIRA, JC. CAMPI, MA. **Segurança Alimentar: conceito, parâmetros e história**. *In*: Congresso Internacional Interdisciplinar em Sociais e Humanidades, 2012, Niterói – RJ. Niterói RJ: ANINTER-SH/ PPGSD-UFF, 2012.

WANG, M. et al. Dietary Lead Exposure and Associated Health Risks in Guangzhou, China. *Int. J. Environ. **International Journal of Environmental Research and Public Health***, v. 24, n. 72, 2019.

VACCHI-SUZZI, C. et al. Is Urinary Cadmium a Biomarker of Long-term Exposure in Humans? A Review. **Current Environmental Health Reports**, v. 3, n. 4, p. 450–458, dez., 2016.

WEI, J; GAO, J; GEN, K. Levels of eight heavy metals and health risk assessment considering food consumption by China's residents based on the 5th China total diet study. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 1141-1148, 2019.

WHO (World Health Organization). **Dietary exposure assessment of chemicals in food (Chapter 6)**. Principles and methods for the risk assessment of chemical in food. Environment criteria 240. FAO/WHO. International Programme on Chemical Safety (IPCS). Geneva: WHO. 2009a.

\_\_\_\_\_. **Infant and young child feeding**. Model chapter for textbooks for medical students and allied health professionals. Geneva: WHO. 2009b.

WÜNSCHE, J; LAMBERT, C; GOLLA, U; BIESALSKI, H.K. Consumption of gluten free products increases heavy metal intake. ***NFS Journal***, v.12, p. 11-15, 2018.

YORIFUJI, T. et al. Neurological and neuropsychological functions in adults with a history of developmental arsenic poisoning from contaminated milk powder. ***Neurotoxicology and Teratology***, v. 53, p. 75-80, 2016.

ZENG, X. et al. E-waste lead exposure and children's health in China. ***Science of the Total Environment***, v. 734, 2020.

ZUKOWSA, J; BIZIUK, M. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. ***Journal of Food Science***, n. 73, p. 21-29, 2008.

## ***Capítulo II***

**Teores de arsênio, cádmio e chumbo na alimentação escolar de municípios da Bahia, Brasil e sua avaliação de risco para população infantil**

## **Teores de arsênio, cádmio e chumbo na alimentação escolar de municípios da Bahia, Brasil e sua avaliação de risco para população infantil**

### **Resumo**

**Introdução:** A ocorrência de metais tóxicos na dieta representa a principal fonte de exposição para a população em geral. Crianças, por diversos fatores, são mais expostas que adultos a estes elementos. A merenda escolar representa um aporte significativo de nutrientes para crianças no Brasil, sobretudo aquelas em condições de vulnerabilidade social. **Objetivo:** O objetivo deste estudo foi avaliar os teores de arsênio (As), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) em refeições servidas em escolas públicas do ensino fundamental em quatro municípios do Estado Bahia, Brasil, e os riscos à saúde dos escolares provenientes do consumo dessas refeições. **Metodologia:** Foram coletadas 96 amostras em 16 escolas por meio de coleta da porção ofertada às crianças, estas foram liofilizadas e passaram por processo de digestão assistida em forno micro-ondas. Os teores de As, Cd e Pb foram determinados por espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (EAA-FG). A avaliação de risco foi baseada no cálculo do quociente de risco (QR) para cada elemento, nos seguintes cenários: educação infantil, ensino médio e a média geral de idade dos escolares atendidos pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). **Resultados:** Os resultados apontaram que nenhuma das amostras atingiu ou ultrapassou os níveis toleráveis para os metais analisados. O Pb foi o que obteve resultado mais expressivo, atingindo níveis máximos de 0.039-0.157 mg.kg<sup>-1</sup>. Os grupos alimentares que mais contribuíram para a exposição ao Pb foram os amiláceos, as frutas e os vegetais, além de leite e derivados. No caso do As, preparações contendo cereais/amiláceos e leite/derivados foram as que mais contribuíram, sendo o único elemento que ultrapassou o PTWI proposto pelo JECFA. O QR para o Pb, que foi o elemento tóxico mais detectado teve seu maior valor nas escolas de Salvador, foi de 0.06 e TQR calculado foi de 0.15, **Conclusão:** O estudo mostrou que as crianças apresentavam uma maior exposição ao Pb em relação aos outros elementos, sendo os principais grupos alimentares responsáveis pelos valores mais elevados, aqueles contendo cereais/amiláceos e leite e derivados. Os valores dos metais tóxicos obtidos estavam abaixo dos níveis permitidos pela legislação do país e não representaram risco de exposição dos escolares via merenda escolar.

**Palavras Chaves:** Metais pesados, Contaminantes inorgânicos, Alimentação escolar, Avaliação de risco, Segurança alimentar.

### **Abstract**

**Introduction:** The occurrence of toxic metals in the diet represents the main source of exposure for the general population. Children, by many factors, are more exposed than adults to these elements. School meals represent a significant supply of nutrients for children in Brazil, especially those in conditions of social vulnerability. **Objective:** The objective of this study was to evaluate the levels of arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) in meals served in public elementary schools in four municipalities in the state of Bahia, Brazil, and the health risks to students arising from consumption of these meals. **Methodology:** 96 samples were collected in 16 schools by collecting the portion offered to children, these samples were lyophilized, went through an assisted digestion process in microwave oven. The contents of As, Cd and Pb were determined by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). The risk assessment was based on the calculation of the risk quotient (RQ) for each element, in the following scenarios: elementary education, high school and the general average age of students assisted by the National School Feeding Program (PNAE). **Results:** The results showed that none of the samples reached or exceeded tolerable levels for the analyzed metals. Pb obtained the most expressive result, reaching maximum levels of 0.039-0.157 mg.kg<sup>-1</sup>. The food groups that contributed the most to exposure to Pb were starchy foods, fruits and vegetables, as well as milk and dairy products. In the case of As, preparations containing cereals/starch and milk/by-products were the ones that contributed the most, being the only element that surpassed the PTWI proposed by JECFA. The RQ to Pb, which was the most detected toxic element, had its highest value in schools of Salvador, it was 0.06 and the calculated TQR was 0.15. **Conclusion:** The study showed that the children had a greater exposure to Pb in relation to the other elements, being the main group foods responsible for the highest values, those containing cereals/starch and milk and derivatives. The values of toxic metals obtained were below the levels allowed by the country's legislation and they did not represent a risk of exposure for students via school meals.

**Key words:** Heavy metals, Inorganic contaminants, School meals, Risk assessment, Food security.

## 1. Introdução

A alimentação foi, e ainda é, motivo de preocupação de cunho individual e coletivo, considerada necessidade básica para garantia da sobrevivência, sendo de responsabilidade individual, da comunidade e dos estados (1).

Tendo em vista essa necessidade, surge na década de 50 no Brasil a Campanha de Merenda Escolar, e após diversos processos de melhoramento em 1979 passou a se chamar Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). O objetivo do PNAE é contribuir para o crescimento e o desenvolvimento biopsicossocial, a aprendizagem, o rendimento escolar e a formação de hábitos alimentares saudáveis. Também promover ações de educação alimentar e nutricional e ofertar refeições que cubram parte das necessidades nutricionais durante o período letivo, atendendo principalmente crianças socialmente vulneráveis e que têm essa oferta como importante fonte de nutrientes e energia (2,3).

A implementação desse programa no país ocorreu concomitantemente ao surgimento do termo Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) no mundo, embora a SAN abranja principalmente a garantia de acesso ao alimento e qualidade nutricional, também engloba sua qualidade biológica e sanitária (4,5). Sabe-se que a maioria dos incidentes relacionados à contaminação de alimentos está associada a riscos biológicos, a contaminação de alimentos por contaminantes inorgânicos tornou-se um problema crescente, principalmente pelo desenvolvimento de novas tecnologias e o descarte inadequado de resíduos tóxicos por grandes indústrias (1,9).

No geral, crianças podem sofrer exposições repetidas a esses elementos tóxicos, pois levam a mão à boca com frequência e mesmo em pequenas quantidades podem desencadear riscos à saúde (6,7). Possuem também fatores fisiológicos que facilitam a intoxicação por esses elementos, pois estão em plena fase de crescimento, assim consomem maiores quantidades de alimentos por quilograma de peso corpóreo quando comparados com indivíduos adultos, a absorção no seu trato gastrointestinal é mais rápida e seu sistema renal ainda é imaturo (6). Assim, metais como Cd e Pb têm afinidade pelos rins e ossos (8), possuindo meia vida longa, 10 – 30 anos, respectivamente, tornam-se um grande risco de exposição para essa população (9).

A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) classificou o arsênio (orgânico e inorgânico) como Carcinógeno Humano do Grupo 1 (10), apesar de ser

um metaloide, é classificado como elemento tóxico independente de sua massa (11). Ainda segundo a IARC, o chumbo é um provável carcinógeno humano (Grupo 2) e o aumento da concentração sanguínea de 0,5 para 5,0 µg/dL pode reduzir em até 8,6 pontos o QI em crianças (12,13,14). Quanto ao Cd, Chandravanshi et. al., (15), em um estudo de revisão sobre os efeitos tóxicos desse contaminante inorgânico, registraram diversos achados para alterações neuropsicológicas em crianças, principalmente nos estágios iniciais da vida, podendo causar disfunções cognitivas, câncer e nefrotoxicidade.

Diversos estudos realizados no Brasil e no mundo demonstraram a presença de metais tóxicos como As, Cd e Pb em alimentos consumidos pela população geral e alimentos para consumo infantil, principalmente em arroz, produtos derivados do arroz, cereais, peixes e crustáceos (16,17).

Poucos estudos, no entanto, quantificaram a presença de metais tóxicos em refeições servidas a escolares. Bastías et. al., (18) encontraram valores de As abaixo da Ingestão Tolerável Provisória, estabelecida pela FAO, em refeições de 65 escolas no Chile. No Brasil, Maihara et. al., (19) realizaram um estudo com refeições ofertadas a pré-escolares, e os resultados indicaram não haver concentrações de As e Cd que pudessem, na época, causar danos às crianças. Leroux et. al., (20) analisaram a presença de As, Cd e Pb em amostras de refeições em creches do estado de São Paulo, onde anteriormente já havia sido encontrado níveis elevados de Pb sanguíneo em crianças dessas instituições. Também nesse estudo não foram encontrados valores superiores aos estipulados pela União Europeia.

Portanto, é necessário que pesquisas sejam realizadas para entender e gerar dados sobre o estado (ou se há) de contaminação química por metais tóxicos nas refeições servidas a escolares. Diante do exposto, este estudo teve por objetivos avaliar os teores de metais tóxicos (As, Cd e Pb) na alimentação escolar, oferecida em municípios do Estado na Bahia, Brasil, e risco da exposição a esses metais, decorrente do consumo da alimentação escolar.

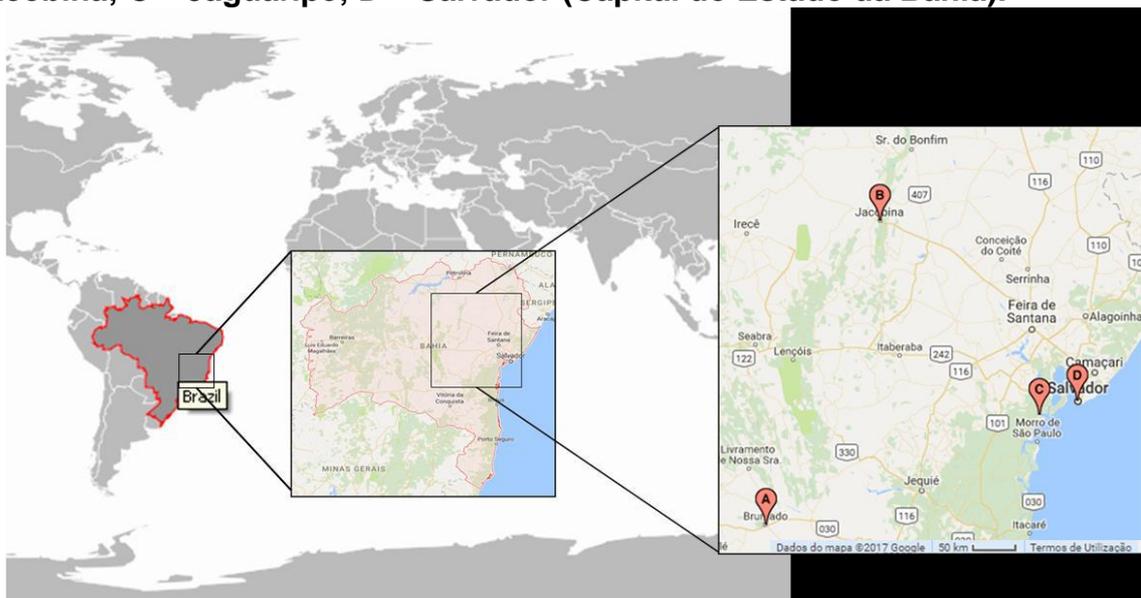
## 2. Materiais e Métodos

Foi realizado um estudo descritivo, com abordagem quantitativa, levantamento de dados e coleta de amostras da alimentação escolar junto às instituições públicas de ensino básico, em 16 escolas de quatro municípios no estado da Bahia, Brasil.

### 2.2. Local do Estudo

Em seu artigo França et al., (21) investigaram a composição de elementos essenciais das alimentações escolares nos municípios de Jaguaripe, Brumado e Jacobina (Figura 1). Nesses municípios, os autores coletaram 72 amostras das refeições servidas em quatro escolas de cada um dos municípios nos dois semestres letivos de 2016. As amostras mineralizadas permaneceram armazenadas a temperatura ambiente no Laboratório de Toxicologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Com o intuito de avaliar o possível impacto em comunidades com maior propensão de vulnerabilidade social, foi obtida junto à Secretaria de Educação do Município de Salvador, a lista de escolas do ensino básico de bairros periféricos. Assim, foram selecionadas quatro escolas localizadas no Subúrbio Ferroviário da cidade de Salvador, o critério de inclusão foram as escolas com maior número de alunos matriculados naquele ano.

**Figura 1. Localização geográfica dos municípios de estudo. A – Brumado; B – Jacobina; C – Jaguaripe; D – Salvador (Capital do Estado da Bahia).**



Fonte: FRANÇA, et., al. 2018.

Dados do censo escolar em 2015 registram que o município de Brumado possuía 84% das crianças em idade escolar matriculados em escolas municipais atendidas pelo

PNAE, Jacobina por sua vez, possuía 71% e Jaguaripe um total de 95% (21), Salvador, apresenta 60,7% das crianças matriculadas em instituições municipais de ensino (22). Sendo assim, há uma grande representatividade de crianças atendidas pelo PNAE e que são potencialmente expostas a todo e qualquer contaminante presente nas refeições servidas nas escolas municipais. No Quadro 1 pode-se verificar mais detalhadamente a caracterização dos municípios estudados.

**Quadro 1. Caracterização dos municípios de estudo.**

| Municípios    | IDEB <sup>1</sup><br>(2017) | IDH <sup>2</sup><br>(2010) | Localização<br>geográfica | População<br>(2019) | Renda per<br>capita <sup>3</sup> | Nº de<br>matrículas<br>(E. F.) <sup>4</sup> |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------------|---|
| Brumad<br>o   | 6,1                         | 0,656                      | Sudoeste<br>Baiano        | 67.195              | R\$ 403,00                       | 15.128                                      |
| Jacobin<br>a  | 4,9                         | 0,649                      | Chapada<br>Diamantina     | 80.518              | R\$ 417,00                       | 20.205                                      |
| Jaguarip<br>e | 4,3                         | 0,556                      | Recôncavo<br>Baiano       | 18.788              | R\$ 247,00                       | 4.332                                       |
| Salvador      | 5,3                         | 0,759                      | Leste/litoral             | 2.872.347           | R\$ 973,00                       | 519.719                                     |

<sup>1</sup> Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (INEP, 2017) <sup>2</sup> Índice de Desenvolvimento Humano <sup>3</sup>Rendimento per capita médio para população acima de 10 anos que trabalha sem levar em consideração o sexo no último censo de 2010 (IBGE, 2019); <sup>4</sup>Nº de alunos matriculados no ensino fundamental no ano de 2019, conforme dados do censo escolar (IBGE, 2019).

**2.3. Planejamento Amostral e Técnica de Coleta**

Para a avaliação da ingestão diária dos alunos, foi utilizada a mesma técnica empregada por França et al. (21) em seu trabalho, em que foi coletada uma porção idêntica, de comidas e bebidas, servidas à população do estudo durante três dias alternados no primeiro e segundo semestre de 2019 em quatro escolas do município de Salvador, capital do estado da Bahia, Brasil, totalizando 24 amostras (3 dias de amostragem×4 escolas×2 semestres) (23, 24). Somadas às amostras coletadas por França et al. (21) às desse estudo corrente foram obtidas 96 amostras no total.

As visitas ocorreram sem agendamento prévio, permitindo uma coleta fidedigna às condições reais das escolas. As amostras foram coletadas e acondicionadas em caixa térmica e transportadas ao Laboratório de Toxicologia, onde foram pesadas em balança analítica (CP2245 Sartorius®, Alemanha) e homogeneizadas em liquidificador industrial (independentemente de sua consistência). Foram então, acondicionadas em tubos de polipropileno descontaminados previamente com HNO<sub>3</sub>

a 10%, e refrigeradas em ultra freezer (Quimis, Q315U-33, São Paulo, Brasil) a  $-33^{\circ}\text{C}$  até o momento do processamento por mineralização.

#### **2.4. Mineralização Assistida por Micro-ondas**

As amostras, após retiradas do ultra freezer, foram liofilizadas (Liofilizador L101 Liotop, São Paulo, Brasil) e o material seco foi triturado em almofariz com o auxílio de um pistilo de porcelana até a obtenção de um pó homogêneo, retornando em seguida para recipientes estéreis. A umidade das amostras foi obtida pela metodologia do Instituto Adolf Lutz (IAL) (25). Após liofilizadas, as amostras homogeneizadas foram pesadas em balança analítica (CP2245 Sartorius®, Alemanha) diretamente nos tubos de Teflon® do forno digestor. Cerca de 0,2500 g de cada amostra foi pesado e registrado até a quarta casa decimal. Em seguida, foram adicionados 4,0 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro (J.T. Baker®, Philipsburg, EUA) e 1,0 mL de peróxido de hidrogênio (Grau Suprapur, Merck®, Darmstadt, Alemanha). Após 15 min à temperatura ambiente, os tubos de Teflon® foram lacrados e acondicionados no forno digestor assistido por micro-ondas (CEM, Mars 6®, Matthews, EUA), utilizando o programa padrão para digestão de alimentos, cujas especificações foram: potência 900-1800W, temperatura:  $210^{\circ}\text{C}$ , pressão (psi): 800, tempo de rampa: 20 – 25 minutos, tempo de digestão: 15 minutos e resfriamento de 15 min.

Após resfriar a temperatura ambiente, as amostras mineralizadas, incluindo os brancos do reagente e os materiais de referência certificados (MRC) usados para fins de controle de qualidade, foram volumetricamente transferidas para tubos graduados de polipropileno e avolumados para 10 mL com água ultrapura (Merck-Millipore®, Billerica, EUA).

#### **2.5. Determinação dos Elementos Tóxicos**

Para a determinação dos contaminantes inorgânicos foi utilizada a espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (EAA-FG), usando espectrômetro Varian (Spectra AA 240FGZ, Mulgrave Victoria, Austrália). Para Pb foi utilizada uma curva de calibração nas concentrações de 0,2; 0,4; 10; 16 e 20  $\mu\text{g/L}$ , no comprimento de onda 283,3 nm e corrente de lâmpada de 10 mA. Para o Cd foi utilizada uma curva nas concentrações de 0,05; 1,0; 2,0 e 4,0  $\mu\text{g/L}$ , no comprimento de onda 228,8 nm e corrente de lâmpada de 4 mA. Para a calibração do As, o equipamento foi programado para realizar a adição de padrão em dois pontos (30  $\mu\text{g/L}$  e 60  $\mu\text{g/L}$ ) a partir de uma solução padrão de uso de 100  $\mu\text{g/L}$ , no comprimento de onda 193,7 nm e corrente de lâmpada de 10 mA. Os resultados da concentração em massa/volume, após subtrair

a concentração média dos metais no branco de reagente, foram então expressos em massa/massa, multiplicando-se a concentração em  $\mu\text{g/L}$  pelo volume final do mineralizado (0,01 L) e dividindo pela massa seca pesada da amostra ( $\sim 0,250$  g). Após essa etapa, a concentração dos metais foi corrigida pelo teor de umidade das amostras e então expressas em massa úmida ( $\text{mg.kg}^{-1}$  peso úmido). Todas as amostras de alimentos foram analisadas em duplicata e em seguida calculada a média dos valores encontrados.

Para a avaliação da contribuição dos diferentes tipos de grupos alimentares na exposição a elementos tóxicos da alimentação servida aos escolares, foi utilizada a mediana de cada semestre letivo. Após a análise dos cardápios enviados pelas nutricionistas responsáveis pelas escolas os alimentos foram divididos em cinco grupos distintos: leites e derivados, frutas e vegetais, amiláceos e carne branca, amiláceos e carne vermelha, e apenas amiláceos. No momento da coleta foi coletada informações sobre os alimentos utilizados no preparo das refeições pelas coqueiras, assim pode-se avaliar a quais desses grupos alimentares a preparação poderia ser encaixada.

## **2.6. Garantia de qualidade analítica**

Para assegurar a qualidade analítica foram utilizados dois materiais de referência certificados (MRC): Folhas de Maçã (Apple Leaves NIST – 1515), e Folhas de Espinafre (Spinach Leaves NIST – 1570a) (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, Gaithersburg, Maryland, EUA). A precisão do método foi calculada com base no coeficiente de variação de oito replicatas (sendo realizadas quatro em uma semana e quatro na semana seguinte), analisadas no mesmo aparelho pelo mesmo analista. A exatidão (Erro relativo – ER) foi calculada pela diferença entre o valor obtido do MCR e o valor certificado, e em seguida dividido pelo valor certificado do MRC. Por fim, o resultado é expresso em percentual, após ser multiplicado por 100. Os brancos dos reagentes foram analisados em oito replicatas, para o cálculo do limite de quantificação (LQ) e de detecção (LD), que foram calculados considerando a concentração média do branco mais 10 vezes o desvio padrão (DP) para o LQ e a concentração média do branco mais 3 vezes o DP para o LD, assim como realizado por França et al. (21) que seguiram diretrizes de garantia qualidade nacional e internacional (26,27).

## 2.7. Avaliação de risco do consumo de merenda escolar

A avaliação da exposição deste estudo é baseada em possíveis efeitos adversos à saúde humana (não carcinogênicos), devido à exposição ao As, Cd e Pb resultante do consumo da alimentação servida, baseado no cálculo do quociente de risco (QR) (28,29,16), a partir da Equação 1:

**Equação 1. Quociente de risco (não carcinogênico) associado ao consumo de alimentos.**

$$QR = \frac{Ef \times ED \times C \times FIR}{EfD \times Wab \times TA} \times 10^{-3}$$

Onde, Ef é a frequência da exposição (dias/ano); ED é duração da exposição (anos); FIR é a ingestão média diária por pessoa (g/dia); C é a concentração do elemento tóxico na merenda escolar (mg.kg<sup>-1</sup>); Wab é o peso corporal (kg); TA é o tempo médio de exposição a substâncias não carcinogênicas (365 x Idade); RfD (ou EfD) é a dose de referência oral (mg.kg<sup>-1</sup>/dia) (Cd = 1,0 x 10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup>/dia, Pb = 4,0 x 10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup>/dia e As = 0,3 x 10<sup>-3</sup> µg g<sup>-1</sup>/dia). (USEPA, 2009).

Para este cálculo, consideraram-se os dados obtidos por este estudo e pela Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) mais recente (30) em três cenários distintos, descritos na Tabela 1, C1, C2 e C3 que correspondem, respectivamente, alunos do ensino fundamental (período que dura 9 anos), alunos do ensino médio (período que dura 3 anos) e a média geral de idade dos escolares atendidos pelo PNAE permanecem na escola (12 anos) conforme a Lei n.º 9.394 de 1996 (51). Nestes cenários, a duração da exposição (ED) correspondeu ao tempo mínimo que os alunos devem permanecer na escola a ingestão diária média (FIR) correspondeu à mediana do peso da alimentação obtida nas escolas nos dois semestres letivos, a frequência de exposição (Ef) considerou o número de dias letivos durante o ano de 2019 (202 dias) e o peso corporal (Wab) utilizado foi a mediana do relatado na POF (2008-2009) (31). Não há uma dose de referência (limite máximo aceitável) oral para Pb, para tanto foi adotado o valor de 4 x 10<sup>-3</sup> mg.kg<sup>-1</sup> como seguido em outros estudos (29, 16).

**Tabela 1. Parâmetros utilizados para a estimativa da dose de exposição ao As, Cd e Pb proveniente do consumo de merenda escolar.**

| Parâmetros         | C1<br>(Ensino<br>fundamental) | C2<br>(Ensino médio) | C3<br>(Média geral) |
|--------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| Idade (anos)       | 9                             | 3                    | 12                  |
| Peso corporal (Kg) | 25,4                          | 51,8                 | 41,2                |

|   |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|
| <b>Frequência de exposição (dias/ano)</b> | 202 | 202 | 202 |
|---|-----|-----|-----|

## 2.8. Análise Estatística

Para a construção do banco de dados e cálculo do teor de umidade foi utilizado o software Microsoft Excel®. Para a análise estatística foi utilizado o software estatístico SPSS, versão 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Os resultados da análise da concentração de elementos tóxicos das amostras de alimentos foram descritos com mediana, valores mínimo e máximos, e intervalo interquartil (IIQ) por cada município e nos dois períodos de amostragem. Para avaliar as diferenças das medianas de concentração dos metais tóxicos entre os municípios e entre os grupos alimentares foi utilizada a análise de variância não paramétrica teste de Shapiro-Wilk e o teste de Wilcoxon foi utilizado para identificação de possíveis diferenças estatísticas entre os períodos de coleta com um nível de confiança de 95%.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Garantia da Qualidade Analítica

Os parâmetros utilizados na metodologia deste trabalho que garantiram a qualidade analítica encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2. Parâmetros de garantia de qualidade para análise de metais pesados em refeições escolares.**

|           | <b>MRC</b>         | <b>Valor certificado (mg.kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>Valor obtido (mg.kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>LD (%) (mg.kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>LQ (%) (mg.kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>Precisão (DP REL%)</b> | <b>Exatidão (ER %)</b> |
|-----------|--------------------|---|--|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>As</b> | Folha de espinafre | 0,068 ± 0,012                                 | 0,067                                    | 0,008                              | 0,012                              | 7,73                      | 1,47                   |
| <b>Cd</b> | Folha de maçã      | 0,013 ± 0,002                                 | 0,012                                    | 0,009                              | 0,024                              | 6,80                      | 9,09                   |
| <b>Pb</b> | Folha de maçã      | 0,470 ± 0,024                                 | 0,471                                    | 0,005                              | 0,013                              | 1,61                      | 0,15                   |

A precisão e exatidão da metodologia encontram-se de acordo com as normais vigentes, tanto pelo preconizado pela Comissão Europeia (2002) (32), ficando os valores obtidos abaixo dos 10%. Ainda segundo a legislação vigente no país, os parâmetros estão de acordo, em que a diferença do valor esperado para os MRCs e

o obtido nas análises ficou bem abaixo do limite aceitável  $\leq 20\%$  (26). A sensibilidade do método foi também satisfatória, estando o LD e LQ suficientemente baixos e dentro dos padrões preconizados para análise de metais traços. Portanto, a validação do método está de acordo com os padrões analíticos para todos os elementos analisados.

### 3.2 Teores dos Metais Tóxicos na Alimentação Escolar

As medianas, intervalo interquartil (IQ) e valores máximos e mínimos calculados para os três elementos (As, Cd e Pb) estão descritos nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

#### 3.2.1 Arsênio

Das medianas calculadas para o As, a mais elevada foi observada nas escolas de Jacobina  $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$ , no segundo semestre, e de Salvador  $0,004 \text{ mg.kg}^{-1}$ , para primeiro e segundo semestre, respectivamente (Tabela 1). As refeições neste estudo foram analisadas em sua totalidade, no Brasil a legislação existente (33) engloba apenas limites para alimentos e não para dieta total. Estudo realizado por Maihara et al. (19) em escolas do município de São Paulo, SP, Brasil, também encontrou concentrações abaixo do permitido pela legislação no qual obteve-se valores de ingestão diária de arsênio com mediana de  $0,0647 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

**Tabela 3. Teores de As ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.**

| Municípios       | Semestre | Mediana | IIQ <sup>1</sup> | Min   | Max   |
|------------------|----------|---------|------------------|-------|-------|
| <b>Brumado</b>   | 1º Sem   | 0,002   | 0,001            | <LD   | 0,008 |
|                  | 2º Sem   | 0,003   | 0,004            | 0,002 | 0,008 |
| <b>Jacobina</b>  | 1º Sem   | 0,001   | <LD              | 0,001 | 0,003 |
|                  | 2º Sem   | 0,005   | 0,003            | 0,003 | 0,011 |
| <b>Jaguaripe</b> | 1º Sem   | 0,002   | 0,001            | 0,001 | 0,006 |
|                  | 2º Sem   | 0,004   | 0,003            | 0,002 | 0,010 |
| <b>Salvador</b>  | 1º Sem   | 0,004   | 0,005            | >LD   | 0,01  |
|                  | 2º Sem   | 0,004   | 0,003            | 0,002 | 0,010 |

<sup>1</sup>IIQ: intervalo interquartil

Em geral, segundo a European Food Safety Authority (EFSA) estima-se que a exposição dietética ao As inorgânico para crianças é em torno de 2 a 3 vezes maior que em adultos (9), por diversos fatores, desde levar a mão à boca mais vezes até

consumirem maior quantidade de alimentos por kg p.c./dia em relação à população adulta.

O risco de efeitos tóxicos pelo consumo alimentar de arsênio aumenta principalmente quando a população consome maior quantidade de alimentos à base de amiláceos, principalmente o arroz ou ainda frutos do mar, o que se observa no município de Jacobina onde no primeiro semestre foi encontrado valor de  $0,001 \text{ mg.kg}^{-1}$  e no segundo semestre  $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Essa diferença pode ser justificada pois no segundo semestre a oferta de preparações ricas em amido foi superior ao primeiro, principalmente aquelas contendo arroz (34,35).

Nenhuma das preparações obtidas nesse estudo continham peixes ou frutos do mar, o que justifica os valores de As total abaixo da maioria dos estudos encontrados na literatura que analisaram a presença de metais tóxicos em alimentação servidas a crianças, como no trabalho realizado por De Roma et al., (36) na Itália, e Bastías et al., (18) no Chile, onde os teores de As total foram mais elevados (37).

O JECFA não tem um valor seguro de PTWI para exposição de arsênio, em sua última reunião ficou estabelecido o valor de  $0,015 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de peso corporal, o valor máximo de As encontrado nesse estudo foi de  $0,010 \text{ mg.kg}^{-1}$  (ou  $10 \mu\text{g./kg}^{-1}$ ) no segundo semestre de Salvador e Jaguaripe, o valor estipulado de peso para população C1 foi de 25,4 kg e C2 51,8 kg, o valor de exposição ficaria  $0,3937 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e  $0,1930 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para C1 e C2, respectivamente, assim, nesse hipótese o valor de exposição ultrapassaria o PTWI proposto pelo JECFA.

### 3.2.2 Cádmiio

Os valores encontrados para Cd constam na Tabela 4. Sendo os valores para segundo semestre de Jacobina, Jaguaripe e Salvador os maiores encontrados,  $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $0,004$  e  $0,004 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente.

**Tabela 4. Teores de Cd ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.**

| Municípios | Semestre | Mediana | IIQ <sup>1</sup> | Min   | Max   |
|------------|----------|---------|------------------|-------|-------|
| Brumado    | 1º Sem   | 0,002   | 0,002            | 0,001 | 0,004 |
|            | 2º Sem   | 0,003   | 0,004            | 0,002 | 0,008 |
| Jacobina   | 1º Sem   | 0,001   | <LD              | 0,001 | 0,003 |

|                  |        |       |       |       |       |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 2º Sem | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,011 |
| <b>Jaguaripe</b> | 1º Sem | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,006 |
|                  | 2º Sem | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,01  |
| <b>Salvador</b>  | 1º Sem | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,006 |
|                  | 2º Sem | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,01  |

<sup>1</sup>IIQ: intervalo interquartil

Assim como o As, o Cd tem o arroz juntamente com o trigo, como um dos principais alimentos veiculadores orais de contaminação na dieta humana (13). Grande número das amostras coletadas nas escolas para realização deste estudo continha arroz em sua composição (arroz doce, arroz com carne ou frango). O arroz em conjunto com outros cereais e as leguminosas, além de produtos cárneos, é a base da refeição dos brasileiros e um dos principais meios de exposição ao Cd (38,13,9).

Corroborando mais uma vez com a literatura já citada, a diferença de valores entre primeiro e segundo semestres em Jacobina, deve-se ao fato de no segundo semestre as amostras coletadas possuírem maior quantidade de amiláceos e produtos cárneos em sua composição. Apesar dos valores baixos encontrados para Cd, é importante ressaltar que esse elemento tóxico possui uma meia vida longa e diversos autores relataram os efeitos nocivos à saúde de crianças, principalmente efeitos cognitivos e comportamentais, demonstrando relação inversamente proporcional entre níveis de Cd e QI, além de associações significativas entre os níveis de Cd e transtornos de aprendizagem em crianças de 6 a 15 anos (39,40,41).

### 3.2.3 Chumbo

Dos elementos analisados nesse estudo, o que obteve os maiores teores mensurados na alimentação escolar foi o Pb (Tabela 5). Sendo o segundo semestre de Brumado e Jacobina os com maiores teores desse contaminante inorgânico, 0,042 mg.kg<sup>-1</sup> e 0,038 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 5. Teores de Pb (mg.kg<sup>-1</sup>) em peso úmido nas amostras da alimentação escolar, por município, em dois semestres letivos.**

| Municípios      | Semestre | Mediana | IIQ <sup>1</sup> | Min   | Max   |
|-----------------|----------|---------|------------------|-------|-------|
| <b>Brumado</b>  | 1º Sem   | 0,007   | 0,009            | 0,001 | 0,043 |
|                 | 2º Sem   | 0,042   | 0,040            | 0,011 | 0,096 |
| <b>Jacobina</b> | 1º Sem   | 0,025   | 0,022            | 0,001 | 0,058 |
|                 | 2º Sem   | 0,038   | 0,055            | 0,011 | 0,101 |

|                  |        |       |       |       |       |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Jaguaripe</b> | 1º Sem | 0,003 | 0,008 | 0,002 | 0,157 |
|                  | 2º Sem | 0,012 | 0,074 | 0,004 | 0,137 |
| <b>Salvador</b>  | 1º Sem | 0,003 | 0,008 | 0,002 | 0,039 |
|                  | 2º Sem | 0,012 | 0,074 | 0,004 | 0,137 |

<sup>1</sup>IIQ: intervalo interquartil

Os nossos resultados para o Pb foram maiores que os valores reportados na literatura que analisaram refeições servidas em escolas, divergindo para o fato desses trabalhos resultarem em maiores concentrações de As e Cd (36,42). Para De Roma et al., a exposição ao chumbo medida na dieta foi  $<0,007 \text{ mg.kg}^{-1}$ , enquanto Nacano (42), avaliando refeições servidas a escolares de São Paulo, obteve valores entre 0,001 e  $0,033 \text{ mg.kg}^{-1}$ . A análise desse elemento tóxico em alimentos, principalmente os oferecidos às crianças, é importante, pois mesmo pequenas quantidades podem desencadear diversos efeitos na saúde desde a fala, audição, hiperatividade, redução de QI, distúrbios de crescimento e desenvolvimento, entre outros (43,44).

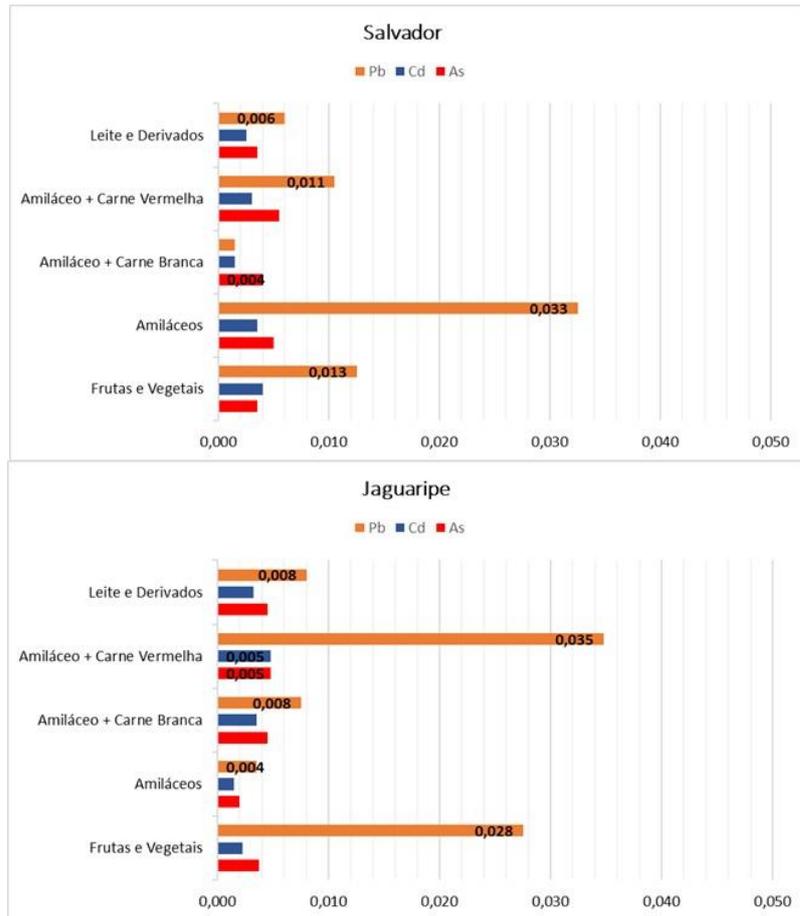
Todos os municípios apresentaram concentrações maiores de Pb no segundo semestre letivo. Uma possibilidade destacada pode ser a diferenciação dos alimentos servidos. Em Brumado, onde o valor do segundo semestre aumentou em seis vezes, as refeições servidas continham mais frutas e vegetais, amiláceos em sua composição, similar às observações dos estudos anteriores realizados no Brasil. Vasconcelos-Neto et al. (45) reportam valores que variaram de 0,02 a  $0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo os maiores valores encontrados nas refeições contendo frutas e hortaliças, igualmente Nacano (42), descrevem que um dos maiores valores de Pb foi encontrado no grupo de verduras e hortaliças.

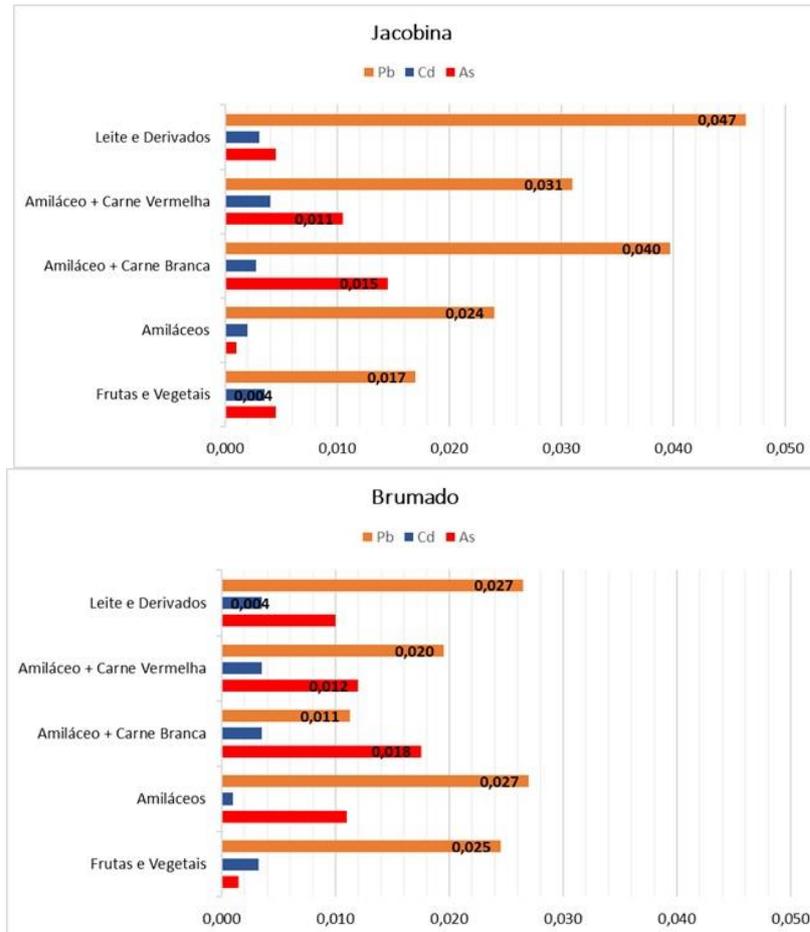
Não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre a maioria das medianas das coletas realizadas nos dois semestres ( $p > 0,05$ ), exceto Cd que houve diferença ( $p < 0,05$ ) nos municípios de Salvador ( $p = 0,011$ ), Brumado ( $p = 0,025$ ), Jacobina ( $p = 0,03$ ) e Jaguaripe ( $p = 0,011$ ), onde no município de Jacobina houve os maiores teores para este contaminante inorgânico. Brumado também apresentou diferença entre as medianas dos dois semestres para Pb ( $p = 0,03$ ), onde no segundo semestre a concentração da mediana para este elemento tóxico aumentou em sete vezes. Isso pode ter ocorrido pela diferença entre os cardápios de um semestre para outro, diferença de marcas de produtos utilizados e maior oferta de grupos alimentares que contribuem com maior percentual de contaminação desses elementos.

### 3.3 Metais tóxicos na Merenda Escolar por grupos alimentares

A distribuição dos metais nos alimentos, por municípios nos dois semestres dos anos que as amostras foram coletadas encontra-se na Figura 2.

**Figura 2. Teores de As, Cd e Pb (mg.kg<sup>-1</sup>) por grupos alimentares nos quatro municípios do estado da Bahia, 2016 e 2019.**





Fonte: autoria própria

Nota-se que o Pb, As e Cd aparecem nessa ordem decrescente em todos os municípios avaliados. Quanto à avaliação por município separadamente, as amostras coletadas em Jacobina e Brumado apresentaram as maiores concentrações, principalmente por Pb, notadamente para as amostras das escolas que apresentavam maior quantidade de cereais e hortaliças nas refeições ofertadas, sobretudo o arroz, como já mencionado. Jacobina e Brumado, entre os municípios avaliados, possuem exploração de minério em seus territórios, o que poderia ter contribuído para que os dois estivessem com maiores porcentagens de contaminação em todos os grupos alimentares avaliados, visto que parte dos alimentos servidos nas escolas vêm de produção local, onde a contaminação do solos e aquíferos contribui para níveis mais elevados dos elementos tóxicos nos alimentos (46,47, 52).

O valor máximo de As foi encontrado no grupo de amiláceos com carne branca, no município de Brumado, com 0,018 mg.kg<sup>-1</sup>. Nos outros municípios concentrações detectáveis desse elemento também estiveram mais presentes quando em

associação de amiláceos com produtos cárneos. Valores similares foram encontrados por Bastías et al. (18), em refeições escolares servidas no Chile, em que os valores mínimos e máximos variaram entre 0,007 mg.kg<sup>-1</sup> e 0,086 mg.kg<sup>-1</sup>, e por De Roma et al., (36), na Itália, com valores entre 0,015 e 1,55 mg.kg<sup>-1</sup>. Estes resultados corroboram com relatórios da EFSA (9), segundo o qual os maiores contribuintes alimentares para ingestão de As total na dieta eram os peixes e frutos do mar além dos cereais e leguminosas. Neste estudo, nenhuma das refeições coletadas continha pescado em sua composição.

Nesse estudo, Cd foi o elemento que foi detectado e quantificado em menores concentrações. O maior valor foi encontrado no grupo de amiláceos com carne vermelha, no município de Jaguaribe (0,005 mg.kg<sup>-1</sup>). Em todos os outros grupos alimentares nos municípios, a concentração ficou abaixo do encontrado em Jaguaribe. Este resultado corrobora com achados literatura, que relatam que peixes e frutos do mar possuem maiores concentrações de Cd, e cereais tendem a ser uma grande fonte de exposição para este elemento em populações que têm o hábito de consumo, na maioria das refeições (48, 13).

O Pb foi o elemento mais presente neste estudo em todos os grupos alimentares, principalmente amiláceos, e frutas e vegetais. Ainda assim, em nenhum desses grupos o valor encontrado foi superior ao estabelecido pela legislação do país (33). As escolas no município de Salvador obtiveram o maior valor de Pb para o grupo de amiláceos (0,033 mg.kg<sup>-1</sup>), o que pode ser justificado pois foi o município que durante os dois semestres de coleta ofertou maior quantidade de refeições que se encaixasse nesse grupo.

Jacobina obteve as maiores concentrações de Pb na maioria dos grupos alimentares avaliados, principalmente os de leite e derivados (0,047 mg.kg<sup>-1</sup>). Esse valor apenas ultrapassaria a legislação se a refeição servida fosse leite líquido puro e derivados lácteos sem outras adições, que propõe o valor máximo tolerável para Pb de 0,02 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo o valor máximo detectado duas vezes maior que o estipulado na legislação. Este trabalho apresentou valores maiores que os de Nacano (42), que avaliou a presença de metais tóxicos em almoços servidos em escolas municipais de Ribeirão Preto, sendo os maiores valores encontrados para os seguintes grupos: verduras (0,007-0,015 mg.kg<sup>-1</sup>), carne vermelha (0,004-0,018 mg.kg<sup>-1</sup>) e arroz

(0,0002-0,0012 mg.kg<sup>-1</sup>). Outros estudos demonstraram que esses grupos são os maiores contribuintes para exposição ao chumbo (45, 36).

### 3.4 Avaliação de Risco

Todos os resultados encontrados nas análises de metais estavam abaixo dos limites toleráveis para a metodologia empregada (33,49). Na Tabela 6 são apresentados os quocientes de risco (QR) da população de estudo nos três cenários propostos.

**Tabela 6. Quociente de risco não carcinogênico associado ao consumo de merenda escolar para cada cenário, C1 crianças, C2 adolescentes e C3 média geral da população.**

| Municípios    | Cenários   | Brumado |      |      | Jacobina |      |      | Jaguaripe |      |      | Salvador |      |      |
|---------------|------------|---------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
|               |            | C1      | C2   | C3   | C1       | C2   | C3   | C1        | C2   | C3   | C1       | C2   | C3   |
| <b>Metais</b> |            |         |      |      |          |      |      |           |      |      |          |      |      |
|               | <b>As</b>  | 0,05    | 0,02 | 0,05 | 0,06     | 0,03 | 0,04 | 0,05      | 0,03 | 0,03 | 0,08     | 0,04 | 0,05 |
|               | <b>Cd</b>  | 0,02    | 0,01 | 0,01 | 0,02     | 0,01 | 0,01 | 0,02      | 0,01 | 0,01 | 0,01     | 0,01 | 0,01 |
|               | <b>Pb</b>  | 0,02    | 0,01 | 0,01 | 0,03     | 0,01 | 0,02 | 0,01      | 0,0  | 0,0  | 0,06     | 0,03 | 0,04 |
|               | <b>TQR</b> | 0,09    | 0,04 | 0,07 | 0,11     | 0,05 | 0,07 | 0,08      | 0,04 | 0,04 | 0,15     | 0,08 | 0,10 |

A média do peso das porções servidas aos alunos em Brumado foi 166,92 g/dia, variando de 150 a 235 g/dia; 163,96 g/dia, variando de 133 a 260 g/dia em Jacobina; 175,65 g/dia, variando de 185 a 255 g/dia em Jaguaripe e 177,14g/dia, esses valores de mediana foram utilizados para o cálculo dos quocientes de risco.

Para todos os cenários estudados o QR não ultrapassou o valor limite de 1 (QR<1), que é a razão entre dose de referência (RfD) e a ingestão diária do agente tóxico avaliado. Como todos os valores, incluindo TQR, estão bem abaixo desse parâmetro, o risco pode ser classificado como negligenciável (50). Comparativamente, para todos os metais o C1 apresenta o maior risco não carcinogênico relacionado à ingestão de merenda escolar, por se tratar de crianças de menor idade e menor peso. Neste caso, a alimentação servida nas escolas de Salvador apresentou os maiores QR e, conseqüentemente, os maiores TQR encontrados, o que pode ser justificado pelo valor médio (em gramas) das refeições servidas ter sido maior nesse município. Cada um desses metais tóxicos representa um risco em potencial para as populações em

estudo, por ser uma população mais vulnerável, dado que mesmo pequenas exposições podem causar efeitos deletérios em longo prazo.

Uma das limitações do estudo foi o fato de não ser possível avaliar quais alimentos específicos contribuíam com o maior percentual dos contaminantes estudados nas refeições ofertadas. Ademais, pontua-se a não possibilidade, pela demanda de tempo e mais recursos, de avaliar o peso dos alunos, para obter um valor mais fidedigno para o cálculo dos QR.

Por sua vez, o fato das amostras terem sido coletadas em cidades que pertenciam a áreas diferentes do estado torna esse estudo geograficamente mais abrangente e fidedigno às distintas realidades dos alunos assistidos pelo PNAE. Deste modo, possibilita diferenciar as áreas com maior ou menor exposição e promover o debate sobre a importância de uma alimentação livre de contaminantes, sinalizando a necessidade de novos estudos.

Considerando-se ainda que, apesar de não representar risco é preciso atenção, visto que a faixa etária e de peso corporal das crianças contempladas pelas refeições escolares no Brasil é variável, em que para as mais novas, a exposição por meio da merenda escolar, associada com os alimentos consumidos fora da escola, pode ultrapassar os valores considerados seguros pelas legislações vigentes.

#### **4. Conclusão**

No Brasil não existe um valor limite de exposição para refeições servidas em escolas, existe uma Instrução Normativa (N.. REF) para limites máximos em alimentos específicos. No entanto, os valores de As em algumas amostras ultrapassaram o valor de PTWI estabelecido pela JECFA. O estudo mostrou que as crianças estavam expostas a maior contaminação por Pb em relação aos outros elementos, sendo os principais grupos alimentares responsáveis pelos valores mais altos aqueles contendo amiláceos, frutas e vegetais.

O QR calculado para os cenários propostos sugere que o risco de exposição a metais tóxicos é negligenciável. Apesar dos valores considerados negligenciáveis é de suma importância que estudos como esse possam ser realizados, dado que atualmente nem

a OMS nem a EFSA têm parâmetros considerados seguros para a ingestão destes metais tóxicos e não existem níveis seguros para a exposição aos mesmos.

Em função desta lacuna e levando-se em consideração que a população infantil é mais facilmente exposta, e conseqüentemente, mais susceptível aos efeitos deletérios, recomendamos novos estudos utilizando a temática em escolas.

**Conformidade com os padrões éticos:** Não aplicável.

**Consentimento para publicação:** Não aplicável.

**Interesses financeiros:** Os autores não têm interesses financeiros ou não financeiros com este trabalho.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

**Agradecimentos:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo incentivo financeiro que tornou possível este trabalho. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de mestrado concedida e que possibilitou esse estudo.

## 5. Referências

- [1] C.O. Silva, Segurança Alimentar e Nutricional. Editora Rubio, Rio de Janeiro-RJ, 2015.
- [2] J.T. Cesar, E.A. Valentim, C.C.B. Almeida, M.E.M. Schieferdecker, S.T. Schmidt, Alimentação escolar no Brasil e nos Estados Unidos: uma revisão integrativa. Ciênc Saúde Colet.. 23 (3), 991-1007, (2018).
- [3] P.M. Horta, A.S.D. Carmo, E.V. Junior, L.C.D. Santos, . Consuming school meals improves Brazilian children's diets according to their social vulnerability risk, Public Health Nutri. 22(14), 2714-2719, (2019).
- [4] T.M.S Soares, O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) no município de Santo Antônio da Patrulha – RS. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí – RS, 2018.
- [5] J.F. Sobrinho, Avaliação da qualidade dos cardápios ofertados para pré-escolares de uma escola privada no Distrito Federal. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília – DF, 2017.

- [6] Gao,X. Li,J. Dong,Y. Cao,T. Li,H.W. Mielke HW. Snack foods and lead ingestion risks for school aged children: A comparative evaluation of potentially toxic metals and children's exposure response of blood lead, copper and zinc levels, *Chemosphere*. 261, (2020).
- [7] J. Rahmani, Y. Fakhri, A. Shahsavani, Z. Bahmani, M.A. Urbina, S. Chirumbolo, H. Keramati, B. Moradi, A. Bay, G. Bjørklund, A systematic review and meta-analysis of metal concentrations in canned tuna fish in Iran and human health risk assessment, *Food Chem Toxicol*. 18, 753-765, (2018).
- [8] E. Amaya, F. Gil, C. Freire, P. Olmedo, M. Fernández-Rodríguez, M. F. Fernández, & N. Olea, Placental concentration of heavy metals in a mother-child cohort. *Environ Res*. 120, 63-70, (2013).
- [9] EFSA, European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal*, 8 (4), 1–147, (2010).
- [10] IARC, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2012. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100C.)
- [11] J.H. Duffs, Heavy metals a meaningless term?. *Pure and Applied Chemistry*, 793-807, (2002).
- [12] J.A.Menezes-Filho, C.F. Carvalho, J.L.G. Rodrigues, C.F.S. Araújo, N.R. Dos Santos, C.S. Lima, M.J. Bandeira, B.L.S. Marques, A.L.S Anjos, H.A.F. Bah, N. Abreu, A. Philibert, D. Mergler, Environmental Co-Exposure to Lead and Manganese and Intellectual Deficit in School-Aged Children, *Int J Environ Res Public Health*.15 (11) ( 2018).
- [13] EFSA, European Food Safety Authority. Scientific opinion of the panel on contaminants in the food-chain. Cadmium dietary exposure in the European population. European Food Safety Authority, 2012.
- [14] IARC. Inorganic and organic lead compounds. IARC. Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.87 (24) (2006). Ten Chemicals of Major Public Health Concern. [https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/chemicals\\_phc/en/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en/) (accessed 14 July 2020).
- [15] L. Chandravanshi. K. Shiv. S. Kumar. Developmental toxicity of cadmium in infants and children: a review. *EAHT*, 36(1) (2021).
- [16] C.F. Silva da Araújo, M.V. Lopes, M.R. Vaz Ribeiro, T.S. Porcino, A.S. Vaz Ribeiro, J.L. Rodrigues, S.S do Prado Oliveira, & J.A. Menezes-Filho, Cadmium and lead in seafood from the Aratu Bay, Brazil and the human health risk assessment. *Environ Monit Assess*. 188 (259) (2016).
- [17] L.S. Kato, E.A.N. Fernandes, A. Raab, M.A. Bacchi, J. Feldmann, Arsenic and cadmium contents in Brazilian rice from different origins can vary more than two orders of magnitude. *Food Chem*. 286, 644–650, (2019).

- [18] J. M. Bastías, M. Bermúdez, J. Carrasco, O. Espinoza, M. Muñoz, M.J. Galotto, & O. Muñoz, Determination of dietary intake of total arsenic, inorganic arsenic and total mercury in the Chilean school meal program. *Food Sci Technol Int.* 16(5), 443-450, (2010).
- [19] V.A. Maihara, M.B. Vasconcellos, M.B. Cordeiro, S.M. Cozzolino, Estimate of toxic element intake in diets of pre-school children and elderly collected by duplicate portion sampling, *Food Addit Contam.* (15) (7), 782-788, (1998).
- [20] I.N. Leroux, A.P.S.D.S. Ferreira, F.P. Paniz, T. Pedron, F.J. Salles, F.F. da Silva, H.F. Maltez, B.L. Batista, K.P.K. Olympio, Lead, Cadmium, and Arsenic Bioaccessibility of 24 h Duplicate Diet Ingested by Preschool Children Attending Day Care Centers in Brazil, *International Journal of Environ Res Public Health.* 15 (1778), (2018).
- [21] F.C.O. França, I.S. Andrade, M.V.S. Lopes, M.S. Lordêlo, R.G. Costa, J.A. Menezes-Filho. School meals' centesimal and mineral composition and their nutritional value for Brazilian children. *J Trace Elem Med Biol.* 48, 97–104, (2018).
- [22] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Censo escolar da educação básica.* (2016). Disponível em: < <http://ces.ibge.gov.br/base-dados/metadados/inep/educacao-basica> > (acesso em julho 2020).
- [23] J. Zukowska, M. Biziuk, Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake, *J Food Sci.* 73 (2), 21-29 (2008).
- [24] M. L. Weber. T. B. Moraes. Nutritional composition, assessed by chemical analyses, of prepared foods available for primary-school children: a comparison of public and private schools. **Public Health Nutrition**, 13 (11), 1855-1862, (2010).
- [25] Instituto Adolfo Lutz, *Physico-chemical Methods for Food Analysis*, Instituto Adolfo Lutz (IAL), São Paulo BR, 2008.
- [26] Brasil. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Guia para validação de métodos analíticos. RDC Nº 166, 24/07/2017, 2017.
- [27] IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry. *Chemistry Compendium of Chemical Terminology*, (2), (1997).
- [28] M.M. Rahman, M. Alauddin, S.T. Alauddin, A.B. Siddique, M.R. Islam, G. Agosta, D. Mondal, R. Naidu, Bioaccessibility and speciation of arsenic in children's diets and health risk assessment of an endemic area in Bangladesh, *J Hazard Mater.* 403 (2021).
- [29] E.A. Gomes-Junior, H.A.F. Bah, Y.J.M. Rodrigues, M.J. Bandeira, N.R. Santos, J.A. Menezes-Filho. et al. Lead in soil and vegetables in a glazed ceramic production area: A risk assessment. *Environ Nanotechnol Monit Manag*, 14 (2020).
- [30] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018 – POF.* Rio de Janeiro (2020)
- [31] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Aquisição alimentar domiciliar per capita.* Rio de Janeiro (2010).

- [32] European Commission. Commission decision 657/2002: implementing council directive 96/23/EC concerning performance of analytical methods and the interpretation of result. *Official Journal of the European Communities*, 221, 8–36, (2002) .
- [33] BRASIL, Instrução Normativa – IN nº 88, de 26 de março de 2021, Estabelece os limites máximos tolerados (LTM) de contaminantes de alimentos (2021).
- [34] H.L. Chen, C.C. Lee, W.J. Huang, H.T. Huang, Y.C. Wu, Y.C. Hsu, Y.T. Kao Arsenic speciation in rice and risk assessment of inorganic arsenic in Taiwan population. *Environ Sci Pollut Res Int.* 23, 4481-4488, (2016).
- [35] T. Shibata, C. Meng, J. Umoren, H. West, Risk Assessment of Arsenic in Rice Cereal and Other Dietary Sources for Infants and Toddlers in the U.S, *Int J Environ Res Public Health.* 13 (4), (2016).
- [36] A. De Roma, M. Esposito, E. Chiaravalle, O. Miedico, S.P. De Filippis, G. Brambilla, Occurrence of cadmium, lead, mercury, and arsenic in prepared meals in Italy: Potential relevance for intake assessment. *J Food Compo. Anal.* 63, 28–33, (2017).
- [37] IARC, A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts/ IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. World Health Organization and International Agency for Research on Cancer, Lyon-France, (2009).
- [38] K. Kim, M.M. Melough, T.M. Vance, H. Noh, S.I. Koo, O.K. Chun, Dietary Cadmium Intake and Sources in the US, *Nutrients.* 11 (2) (2019).
- [39] K.S. Jeong, H. Park, E. Ha, Y.C. Hong, M. Ha, H. Park, B.N. Kim, B.E. Lee, S.J. Lee, K.Y. Lee, J.H. Kim, Y. Kim,, Performance IQ in children is associated with blood cadmium concentration in early pregnancy, *J Trace Elem Med Biol.* 30, 107–11, (2015).
- [40] M. Kippler, F. Tofail, J.D. Hamadani, R.M. Gardner, S.M. Grantham-McGregor, M. Bottai, M. Vahter, Early-life cadmium exposure and child development in 5-year-old girls and boys: a cohort study in rural Bangladesh, *Environ Health Perspect.* 120 (10) (2012).
- [41] T. Ciesielski, J. Weuve, D.C. Bellinger, J. Schwartz, B. Lanphear, R.O. Wright, Cadmium exposure and neurodevelopmental outcomes in U.S. *Environ Health Perspect.* 120 (5), 758-63 (2012).
- [42] L. R. Nacano. Freitas, R. Barbosa Jr, F. Evaluation of Seasonal Dietary Exposure to Arsenic, Cadmium and Lead in Schoolchildren Through the Analysis of Meals Served by Public Schools of Ribeirão Preto, Brazil. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Part A, 77 (7) , 367-374, (2014).
- [43] A.E. Charkiewicz, J.R. Backstrand, Lead Toxicity and Pollution in Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 17 (12) (2020).
- [44] A.L. Wani, A. Ara, J.A. Usmani, Lead toxicity: A review. *Interdiscip Toxicol.* 8 (2) 55–64, (2015).

- [45] M. Vasconcelos Neto, A.P.N. Quintal, L.B.G. Pôrto, S.V.C. Souza, Lead in Brazilian food: Exposure assessment and risk characterization, *Food Addit Contam - Part A*. 38 (2), 315-325, (2021).
- [46] J.F.G. Rêgo. Expansão territorial do capital minerador estrangeiro: conflitos, resistências e enfrentamentos em Jacobina-BA (Tese de doutorado), Faculdade de Economia – Universidade Federal da Bahia (2018)
- [47] C.V. Leite. Avaliação sazonal das características físico-químicas e elementos traços no Rio do Antônio, no município de Brumado-BA (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2012).
- [48] A.A. Pastorelli. M. Baldini. P. Stacchini. G. Baldini. S. Morelli. E. Sagratella. S. Zaza. S. Ciardullo. Human exposure to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption in Italy: a pilot evaluation. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 29(12), 1913-21, (2012).
- [49] European Union. Commission Regulation (EC) setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 1881 (2006) 12.
- [50] M.M. Storelli, Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs), *Food Chem Toxicol*. 46 2782–2788, (2008).
- [51] BRASIL, Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. < [L9394 \(planalto.gov.br\)](http://planalto.gov.br)> (acesso 20 dezembro 2022).
- [52] M.V.S. Santos. Geochemical evaluation of potentially toxic elements determined in surface sediment collected in an area under the influence of gold mining. *Marine Pollution Bulletin*, 158, (2020).



## APÊNDICE I I: DADOS DOS METAIS EM BASE SECA

| AMOSTRA | MUNICÍPIO | SEMESTRE | PORÇÃO (g) | ARSENIO (µg/g) | CÁDMIO (µg/g) | CHUMBO (µg/g) |
|---------|-----------|----------|------------|----------------|---------------|---------------|
| B11V    | Brumado   | 1        | 220        | 0,014          | 0,006         | 0,021         |
| B12M    | Brumado   | 1        | 260        | 0,011          | 0,007         | 0,188         |
| B13M    | Brumado   | 1        | 251        | 0,011          | 0,019         | 0,049         |
| B21V    | Brumado   | 1        | 280        | 0,011          | 0,008         | 0,008         |
| B22V    | Brumado   | 1        | 256        | 0,011          | 0,014         | 0,032         |
| B22M    | Brumado   | 1        | 238        | 0,013          | 0,018         | 0,063         |
| B31V    | Brumado   | 1        | 165        | 0,008          | 0,011         | 0,037         |
| B33V    | Brumado   | 1        | 208        | 0,025          | 0,009         | 0,018         |
| B32V    | Brumado   | 1        | 243        | 0,004          | 0,013         | 0,013         |
| B41V    | Brumado   | 1        | 222        | 0,004          | 0,006         | 0,061         |
| B42V    | Brumado   | 1        | 212        | 0,012          | 0,005         | 0,050         |
| B43V    | Brumado   | 1        | 256        | 0,016          | 0,005         | 0,005         |
| A31M    | Brumado   | 2        | 205        | 0,028          | 0,013         | 0,094         |
| A33M    | Brumado   | 2        | 217        | 0,002          | 0,008         | 0,088         |
| A41M    | Brumado   | 2        | 233        | 0,006          | 0,005         | 0,178         |
| A31V    | Brumado   | 2        | 250        | 0,018          | 0,018         | 0,074         |
| A42M    | Brumado   | 2        | 251        | 0,010          | 0,007         | 0,210         |
| A32V    | Brumado   | 2        | 268        | 0,016          | 0,016         | 0,042         |
| A33V    | Brumado   | 2        | 214        | 0,002          | 0,009         | 0,129         |
| A42V    | Brumado   | 2        | 102        | 0,009          | 0,007         | 0,215         |
| A43M    | Brumado   | 2        | 215        | 0,014          | 0,012         | 0,042         |
| A41V    | Brumado   | 2        | 247        | 0,046          | 0,007         | 0,234         |
| A43V    | Brumado   | 2        | 235        | 0,021          | 0,007         | 0,028         |
| A32M    | Brumado   | 2        | 242        | 0,016          | 0,018         | 0,061         |
| B54V    | Jacobina  | 1        | 259        | 0,184          | 0,004         | 0,004         |
| B56M    | Jacobina  | 1        | 108        | 0,001          | 0,006         | 0,143         |
| B55M    | Jacobina  | 1        | 270        | 0,008          | 0,004         | 0,176         |
| B53M    | Jacobina  | 1        | 247        | 0,031          | 0,004         | 0,045         |
| B54M    | Jacobina  | 1        | 265        | 0,020          | 0,008         | 0,008         |
| B56V    | Jacobina  | 1        | 260        | 0,011          | 0,005         | 0,216         |
| B51M    | Jacobina  | 1        | 213        | 0,002          | 0,004         | 0,072         |
| B52M    | Jacobina  | 1        | 235        | 0,035          | 0,004         | 0,087         |
| B51V    | Jacobina  | 1        | 260        | 0,002          | 0,004         | 0,142         |
| B52V    | Jacobina  | 1        | 268        | 0,009          | 0,005         | 0,129         |
| B53V    | Jacobina  | 1        | 242        | 0,056          | 0,007         | 0,045         |
| B55V    | Jacobina  | 1        | 258        | 0,014          | 0,003         | 0,094         |
| A51M    | Jacobina  | 2        | 188        | 0,086          | 0,014         | 0,091         |
| A52V    | Jacobina  | 2        | 259        | 0,000          | 0,013         | 0,176         |
| A63M    | Jacobina  | 2        | 247        | 0,066          | 0,010         | 0,190         |
| A51V    | Jacobina  | 2        | 210        | 0,019          | 0,018         | 0,066         |
| A61M    | Jacobina  | 2        | 242        | 0,015          | 0,017         | 0,030         |
| A62V    | Jacobina  | 2        | 260        | 0,041          | 0,012         | 0,175         |
| A53V    | Jacobina  | 2        | 258        | 0,014          | 0,013         | 0,255         |
| A53M    | Jacobina  | 2        | 210        | 0,013          | 0,018         | 0,212         |
| A52M    | Jacobina  | 2        | 192        | 0,047          | 0,031         | 0,031         |

|      |           |   |     |       |       |       |
|------|-----------|---|-----|-------|-------|-------|
| A61V | Jacobina  | 2 | 250 | 0,016 | 0,007 | 0,045 |
| A63V | Jacobina  | 2 | 104 | 0,000 | 0,008 | 0,045 |
| A62M | Jacobina  | 2 | 256 | 0,045 | 0,012 | 0,288 |
| B11M | Jaguaripe | 1 | 205 | 0,020 | 0,025 | 0,012 |
| B12V | Jaguaripe | 1 | 213 | 0,011 | 0,011 | 0,044 |
| B13V | Jaguaripe | 1 | 237 | 0,013 | 0,009 | 0,157 |
| B21M | Jaguaripe | 1 | 251 | 0,045 | 0,016 | 0,016 |
| B23M | Jaguaripe | 1 | 256 | 0,031 | 0,017 | 0,015 |
| B23V | Jaguaripe | 1 | 265 | 0,014 | 0,014 | 0,017 |
| B31M | Jaguaripe | 1 | 221 | 0,002 | 0,009 | 0,057 |
| B32M | Jaguaripe | 1 | 216 | 0,022 | 0,007 | 0,007 |
| B33M | Jaguaripe | 1 | 239 | 0,011 | 0,005 | 0,028 |
| B41M | Jaguaripe | 1 | 210 | 0,026 | 0,005 | 0,065 |
| B42M | Jaguaripe | 1 | 238 | 0,020 | 0,014 | 0,021 |
| B43M | Jaguaripe | 2 | 253 | 0,003 | 0,015 | 0,055 |
| A11M | Jaguaripe | 2 | 245 | 0,017 | 0,013 | 0,035 |
| A13V | Jaguaripe | 2 | 265 | 0,003 | 0,009 | 0,033 |
| A22V | Jaguaripe | 2 | 241 | 0,009 | 0,013 | 0,208 |
| A12V | Jaguaripe | 2 | 300 | 0,004 | 0,019 | 0,024 |
| A11V | Jaguaripe | 2 | 243 | 0,003 | 0,007 | 0,027 |
| A22M | Jaguaripe | 2 | 237 | 0,038 | 0,023 | 0,335 |
| A12M | Jaguaripe | 2 | 256 | 0,017 | 0,016 | 0,019 |
| A13M | Jaguaripe | 2 | 250 | 0,021 | 0,008 | 0,222 |
| A23M | Jaguaripe | 2 | 261 | 0,014 | 0,011 | 0,024 |
| A21M | Jaguaripe | 2 | 300 | 0,015 | 0,007 | 0,018 |
| A21V | Jaguaripe | 2 | 250 | 0,013 | 0,014 | 0,229 |
| A23V | Jaguaripe | 2 | 250 | 0,003 | 0,015 | 0,055 |
| C11M | Salvador  | 1 | 296 | 0,038 | 0,013 | 0,259 |
| C12M | Salvador  | 1 | 237 | 0,023 | 0,014 | 0,215 |
| C13M | Salvador  | 1 | 195 | 0,021 | 0,015 | 0,161 |
| C21M | Salvador  | 1 | 262 | 0,088 | 0,010 | 0,202 |
| C22M | Salvador  | 1 | 279 | 0,135 | 0,007 | 0,112 |
| C23M | Salvador  | 1 | 230 | 0,062 | 0,010 | 0,384 |
| C31M | Salvador  | 1 | 243 | 0,038 | 0,010 | 0,267 |
| C32M | Salvador  | 1 | 225 | 0,004 | 0,013 | 0,011 |
| C33M | Salvador  | 1 | 346 | 0,002 | 0,009 | 0,436 |
| C41M | Salvador  | 1 | 219 | 0,013 | 0,010 | 0,323 |
| C42M | Salvador  | 1 | 97  | 0,014 | 0,008 | 0,462 |
| C43M | Salvador  | 1 | 303 | 0,009 | 0,006 | 0,389 |
| C11V | Salvador  | 2 | 246 | 0,010 | 0,007 | 0,213 |
| C12V | Salvador  | 2 | 488 | 0,010 | 0,024 | 0,210 |
| C13V | Salvador  | 2 | 386 | 0,005 | 0,013 | 0,040 |
| C21V | Salvador  | 2 | 104 | 0,014 | 0,007 | 0,353 |
| C22V | Salvador  | 2 | 432 | 0,016 | 0,012 | 0,250 |
| C23V | Salvador  | 2 | 222 | 0,006 | 0,005 | 0,262 |
| C31V | Salvador  | 2 | 57  | 0,033 | 0,010 | 0,025 |
| C32V | Salvador  | 2 | 278 | 0,028 | 0,013 | 0,048 |
| C33V | Salvador  | 2 | 264 | 0,046 | 0,005 | 0,241 |

|      |          |   |     |       |       |       |
|------|----------|---|-----|-------|-------|-------|
| C41V | Salvador | 2 | 225 | 0,025 | 0,016 | 0,311 |
| C42V | Salvador | 2 | 287 | 0,036 | 0,007 | 0,172 |
| C43V | Salvador | 2 | 237 | 0,049 | 0,006 | 0,345 |