

DETERMINAÇÃO DE Cr, Pb E Al EM PEIXES DA REGIÃO AMAZÔNICA E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Felipe L. Soares¹; Michelle S. Lemos^{1*}

¹ Laboratório de Química Analítica e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Belém, PA, Brasil
mslemos@ufpa.br

Palavras-Chave: Elementos tóxicos, bioacumulação, risco toxicológico, segurança alimentar

Introdução

O pescado é amplamente consumido no Brasil, destacando-se por seu elevado valor nutricional, sendo fonte de proteínas de alta qualidade, aminoácidos essenciais, vitaminas (D, B12) e minerais (selênio, iodo)¹. Estudos demonstram que seu consumo está associado a um perfil lipídico mais favorável em adolescentes, com redução de hipertrigliceridemia e a presença de ácidos graxos ômega-3 (EPA e DHA) confere efeitos cardioprotetores, incluindo diminuição do risco de doenças cardiovasculares, inflamação sistêmica e melhora da função cognitiva². Esses benefícios são respaldados por evidências que vinculam o consumo regular de peixe à menor mortalidade por causas cardiometaabólicas e à melhora da qualidade de vida em adultos e idosos³.

O consumo de peixes e frutos do mar no Brasil revela disparidades marcantes, com a região Norte, destacando-se pelo alto consumo *per capita*, podendo atingir 50 kg/ano, superando o valor de 12 kg/ano recomendados pela OMS e também contrastando fortemente com os 4 kg/ano registrados na região Sul^{4,5}. Essa diferença reflete, em grande parte, a riqueza hídrica e a tradição alimentar local, fortemente ligadas à biodiversidade da Amazônia e sua extensa rede de rios. Além disso, fatores socioeconômicos e culturais mostram que a pesca artesanal e a carcinicultura são atividades econômicas essenciais para as comunidades ribeirinhas e costeiras, garantindo não apenas emprego e renda para pescadores e comerciantes, mas também oferta acessível de proteína de qualidade para a população local⁶. Assim, o elevado consumo de pescado na região Norte vai além de um hábito alimentar, sendo considerado um reflexo de sustentabilidade e resiliência econômica.

Apesar de seus benefícios nutricionais, o consumo de peixes também pode representar riscos à saúde devido à bioacumulação de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos. Estudos recentes revelam que espécies como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), amplamente cultivado na Amazônia, podem acumular metais como ferro (Fe), zinco (Zn), magnésio (Mg) e cromo (Cr) em tecidos musculares em concentrações que excedem os limites seguros estabelecidos pela legislação brasileira⁷. Ademais, metais não essenciais, como chumbo (Pb) e alumínio (Al), mesmo em baixas concentrações, apresentam toxicidade cumulativa, podendo afetar sistemas nervoso e renal em humanos⁸. A bioacumulação é agravada pela capacidade do pescado em concentrar metais acima dos níveis ambientais, tornando-o um bioindicador da qualidade do ecossistema. Esses contaminantes têm origem em atividades antropogênicas, como agricultura e descarte industrial, e são incorporados aos peixes e frutos do mar principalmente através de sedimentos aquáticos, tornando-se uma ameaça silenciosa à segurança alimentar⁹.

Considerando a intensa atividade pesqueira regional e as alterações ambientais de origem antrópica, este estudo teve como objetivo determinar as concentrações de Cr, Pb e Al em sete espécies de peixe, como bagre-gurijuba (*Arius parkeri*), dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), pescada-branca (*Plagioscion squamosissimus*), pescada-amarela (*Cynoscion acoupa*), pescada-gó (*Macrodon ancylodon*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*), comercializados na Região Metropolitana de Belém.

Material e Métodos

Três amostras de cada espécie foram adquiridas em feiras locais, com posterior remoção do músculo, liofilização (Liotop, L101, São Carlos, SP, Brasil) e pulverização em moinho analítico (Q298A, Quimis). A digestão foi realizada em forno de micro-ondas com cavidade (START E, Milestone, Sirisole, Itália), com acidez final de 5%, e os analitos foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP OES) (modelo 4100, Agilent Technologies, Melbourne, Austrália). A exatidão foi avaliada com uso das concentrações dos elementos no material de referência certificado DORM-4 (Fish Protein) apresentando recuperações entre 81% a 109%. Os limites de detecção para Cr, Pb e Al foram de 0,14 mg kg⁻¹, 0,41 mg kg⁻¹ e 0,20 mg kg⁻¹, respectivamente.

As condições instrumentais utilizadas no MIP OES estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Condições instrumentais para a determinação de Cr, Pb e Al por MIP OES.

Parâmetros	Cr	Pb	Al
Comprimento de Onda	425,433	217	396,152
Pressão-nebulizador (kPa)	140	120	160
Posição de visualização	0	-30	-10
Correção de fundo	Auto	Auto	Auto
Tempo de estabilização (s)	15	15	15
Número de replicadas	3	3	3

Resultados e Discussão

As concentrações médias para as sete espécies de peixe analisadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Concentrações médias de Cr, Pb e Al (mg kg⁻¹) em peixes por MIP OES (média ± desvios padrões).

Espécie	Cr (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Al (mg kg ⁻¹)
<i>A. parkeri</i>	24,41 ± 14,14	<LD	7,77 ± 1,92
<i>B. rousseauxii</i>	11,66 ± 8,65	<LD	11,11 ± 1,92
<i>C. macropomum</i>	73,82 ± 37,84	<LD	5,55 ± 1,92
<i>M. ancylodon</i>	3,33 ± 0,00	<LD	7,22 ± 0,96
<i>C. acoupa</i>	58,11 ± 43,12	7,50 ± 1,18	12,77 ± 8,21
<i>B. vaillantii</i>	18,86 ± 1,92	<LD	6,66 ± 0,01
<i>P. squamosissimus</i>	97,67 ± 107,16	6,66 ± 0,01	9,43 ± 5,84

Para Cr, observa-se que todas as espécies apresentaram valores maiores que 0,1 mg kg⁻¹. Embora não exista um limite máximo tolerado em legislação vigente, estudos alertam os perigos de elevados níveis e o grave risco à saúde humana por sua toxicidade e potencial cancerígeno^{10,14}.

Os teores de Pb excedem o limite máximo de 0,3 mg kg⁻¹, refletindo o impacto de atividades antrópicas na região¹¹. Essa contaminação, amplificada pela bioacumulação, representa risco significativo à saúde humana¹².

Os teores de alumínio variam entre 5,55 a 12,77 mg kg⁻¹. Não há limites máximos toleráveis na legislação para Al. Diante disso, adotaram-se indicadores alternativos de risco à saúde humana. O Índice de Ingestão Semanal Estimada (EWI), apresentado na Equação 1 e na Tabela 3, é uma ferramenta validada que estima a exposição semanal a contaminantes, considerando massas corporais de 70 kg (adultos) e 30 kg (crianças)¹². Assim, comparam-se os resultados a valores de referência internacionalmente aceitos, como a Ingestão Semanal Tolerável Provisória (PTWI), estabelecida pelo Comitê FAO/WHO (JECFA), conforme Equação 2 e índices da Tabela 4.

$$EWI = \frac{C_{ce} \times IR}{BW} \quad (1)$$

Onde: C_{ce} – concentração do elemento (mg kg⁻¹), IR – a taxa de consumo (25g/dia) e BW – peso corporal humano (kg)¹².

$$Razão\ de\ Risco = \frac{EWI}{PTWI} \quad (2)$$

A Razão de Risco calcula a exposição a um suposto contaminante, sendo valores dessa razão (>1) podendo indicar um risco potencial à saúde.

O PTWI representa a quantidade máxima semanal de um contaminante que pode ser consumida sem riscos significativos à saúde (Cr: 200 µg kg⁻¹ Pb: 25 µg kg⁻¹, Al: 2000 µg kg⁻¹^{12,13}.

Tabela 3 – Valores de Ingestão Semanal Estimada (EWI) de Cr, Pb e Al em diferentes espécies de peixes, por faixa etária

Espécie	Cr		Pb		Al	
	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança
<i>A. parkeri</i>	61,03	142,41	-	-	19,43	45,33
<i>B. rousseauxii</i>	29,15	68,02	-	-	27,78	64,81
<i>C. macropomum</i>	184,56	430,64	-	-	13,88	32,38
<i>M. aenylodon</i>	8,33	19,43	-	-	18,05	42,12
<i>C. acoupa</i>	145,28	338,98	18,74	43,72	31,92	74,47
<i>B. vaillantii</i>	47,14	110,00	-	-	16,64	38,83
<i>P. squamosissimus</i>	244,18	569,74	16,64	38,82	23,58	55,01

Tabela 4 – Valores de Ingestão Semanal Estimada Provisória (PTWI) de Cr, Pb e Al em diferentes espécies de peixes, por faixa etária

Espécie	Cr		Pb		Al	
	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança
<i>A. parkeri</i>	0,31	0,71	-	-	0,01	0,02
<i>B. rousseauxii</i>	0,15	0,34	-	-	0,01	0,03
<i>C. macropomum</i>	0,92	2,15	-	-	0,01	0,02
<i>M. aenylodon</i>	0,04	0,10	-	-	0,01	0,02
<i>C. acoupa</i>	0,73	1,69	0,75	1,75	0,02	0,04
<i>B. vaillantii</i>	0,24	0,55	-	-	0,01	0,02
<i>P. squamosissimus</i>	1,22	2,85	0,67	1,55	0,01	0,03

Para o Cr, verificou-se que a maioria das espécies apresentou razões inferiores ao limiar de risco, com exceção de *C. macropomum*, que indicou potencial risco para adultos e valores acima do limite tolerável para crianças. Além disso, *P. squamosissimus* excedeu o PTWI em ambas as faixas etárias. De acordo com Ferreira *et al.* (2024), exposições acima de 1% do PTWI já podem indicar a presença de Cr(VI)¹².

Apesar que adultos não ultrapassam o PTWI para Pb, crianças obtêm razões > 1, o que significa que a ingestão semanal estimada excede o limite provisório tolerável, sendo um sinal de potencial risco.

Para Al, observa-se que todas as espécies apresentam valores abaixo da razão de risco, indicando que, nas condições avaliadas, o consumo regular dessas espécies não representa risco significativo à saúde humana em relação ao PTWI estabelecida pelo JECFA.

Além do EWI/PTWI, outros índices auxiliam na avaliação de riscos alimentares. O Quociente de Perigo Alvo (THQ) estima o risco não carcinogênico associado à exposição crônica a contaminantes via ingestão. Esse índice compara a dose diária estimada à dose de referência (RD) considerada segura, indicando que valores ≥ 1 sugerem possibilidade de efeitos adversos e valores < 1 indicam risco não significativo para a população avaliada (Equação 4; Tabela 5)¹².

$$THQ = \frac{EF \times ED \times IR \times C}{AT \times BW \times RD} \times 10 \times 10^{-3} \quad (4)$$

Onde: EF – frequência de exposição (dias/ano), ED – duração da exposição (anos), IR – taxa de ingestão do alimento (g/dia), C – concentração do contaminante no alimento (mg kg^{-1}), RD – dose de referência oral do elemento ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), BW – peso corporal humano (kg) e AT – tempo médio de exposição (ED x dias).

Em RD, é especificado a dose oral para Cr, Pb e Al, sendo 1,5, 0,0004 e 0,0004 em mg kg^{-1} de peso corporal por dia¹².

Tabela 5 – Quociente de Perigo Alvo (THQ) para Cr, Pb e Al em espécies de peixes da Amazônia, por faixa etária (adultos e crianças)

Espécie	Cr		Pb		Al	
	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança
<i>A. parkeri</i>	0,0058	0,0136	-	-	6,9375	16,1875
<i>B. rousseauxii</i>	0,0028	0,0065	-	-	9,9196	23,1458
<i>C. macropomum</i>	0,0176	0,0410	-	-	4,9554	11,5625
<i>M. aencylodon</i>	0,0008	0,0019	-	-	6,4464	15,0417
<i>C. acoupa</i>	0,0138	0,0323	6,6920	15,6146	11,3988	26,5972
<i>B. vaillantii</i>	0,0045	0,0105	-	-	5,9435	13,8681
<i>P. squamosissimus</i>	0,0233	0,0543	5,9420	13,8646	8,4196	19,6458

Em todos os parâmetros, os THQs de Cr são sempre inferiores a 1, o que indica que, sob os pressupostos adotados, não há indicação de risco não-carcinogênico proveniente do consumo do pescado avaliado.

Os teores revelam achados relevantes do ponto de vista toxicológico para Pb. A maior vulnerabilidade infantil exige atenção imediata, considerando os efeitos neurotóxicos documentados do Pb no desenvolvimento cognitivo².

Para o Al, os resultados obtidos nas espécies avaliadas foram consistentemente superiores a 1 em ambas as faixas etárias, indicando potencial risco não-carcinogênico associado.

Após as avaliações anteriores, estimou-se a Quantidade Máxima Segura de Consumo (MSCQ) para cada espécie e elemento. Esse parâmetro expressa a massa máxima semanal de pescado que pode ser consumida sem ultrapassar a dose de referência ou o limite provisório tolerável do contaminante (Equação 5; Tabela 6)¹². O MSCQ fornece orientação direta de consumo para recomendações de saúde pública.

$$MSCQ = \frac{BW \times RD}{C_{CE}} \times 10 \times 10^{-3} \quad (5)$$

Onde: BW – peso corporal humano (kg), RD – dose de referência oral do elemento (mg kg^{-1} dia $^{-1}$) e C – concentração do contaminante no alimento (mg kg^{-1}).

Quando a massa de alimento obtida pelo índice MSCQ ultrapassar a taxa de ingestão diária, o alimento não representa risco à saúde humana.

Tabela 6 – Quantidade Máxima Segura de Consumo (MSCQ) para Cr, Pb e Al em espécies de peixes da Amazônia, por faixa etária (adultos e crianças)

Espécie	Cr		Pb		Al	
	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança
<i>A. parkeri</i>	$4,30 \times 10^{-3}$	$1,84 \times 10^{-3}$	-	-	$3,60 \times 10^{-6}$	$1,54 \times 10^{-6}$
<i>B. rousseauxii</i>	$9,01 \times 10^{-3}$	$3,86 \times 10^{-3}$	-	-	$2,52 \times 10^{-6}$	$1,08 \times 10^{-6}$
<i>C. macropomum</i>	$1,42 \times 10^{-3}$	$6,10 \times 10^{-4}$	-	-	$5,05 \times 10^{-6}$	$2,16 \times 10^{-6}$
<i>M. aenylodon</i>	$3,15 \times 10^{-2}$	$1,35 \times 10^{-2}$	-	-	$3,88 \times 10^{-6}$	$1,66 \times 10^{-6}$
<i>C. acoupa</i>	$1,81 \times 10^{-3}$	$7,74 \times 10^{-4}$	$3,74 \times 10^{-6}$	$1,60 \times 10^{-6}$	$2,19 \times 10^{-6}$	$9,40 \times 10^{-7}$
<i>B. vaillantii</i>	$5,57 \times 10^{-3}$	$2,39 \times 10^{-3}$	-	-	$4,21 \times 10^{-6}$	$1,80 \times 10^{-6}$
<i>P. squamosissimus</i>	$1,08 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-4}$	$4,21 \times 10^{-6}$	$1,80 \times 10^{-6}$	$2,97 \times 10^{-6}$	$1,27 \times 10^{-6}$

Todos os MSCQs de Cr são muito inferiores à IR, indicando que a massa de alimento segura para não exceder a dose de referência é bastante menor que a porção consumida habitualmente.

Para Pb, mostrou-se que as espécies apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção. Portanto, as massas seguras estimadas não atingem a porção consumida habitualmente, indicando risco potencialmente baixo.

Assim como os outros elementos, o alumínio obteve MSCQs equivalentes à carga semanal tolerável, sendo inferiores à taxa de ingestão diária adotada em todas as espécies estudadas.

Conclusões

Este estudo avaliou a presença de Cr, Pb e Al em sete espécies de peixes comercializadas na Região Metropolitana de Belém e estimou o risco toxicológico por meio de índices complementares (EWI/PTWI, THQ e MSCQ). Os resultados evidenciam concentrações elevadas de Cr em todas as espécies, com razões EWI/PTWI consistentemente >1, indicando exposição semanal superior ao limite provisório tolerável. Para chumbo, *Colossoma acoupa* e *Plagioscion squamosissimus* apresentaram teores detectáveis associadas a THQ claramente superiores a 1, sobretudo em crianças, o que configura risco não-carcinogênico de relevância clínica. O alumínio mostrou excedências generalizadas nos índices (EWI/PTWI e THQ), e os MSCQs calculados demonstraram que quantidades muito inferiores à porção habitual seriam necessárias para atingir a carga tolerável, reafirmando potencial de risco crônico.

Em virtude da gravidade dos achados e da maior vulnerabilidade infantil, recomenda-se confirmação analítica, especiação (Cr(III)/Cr(VI)) e avaliação de bioacessibilidade do Al. Além disso a ampliação espacial, temporal e por tamanho/idade das amostras e investigação de fontes pontuais são necessários para verificar o biomonitoramento em grupos vulneráveis e comunicação pública com orientações provisórias de consumo. Estas medidas são prioritárias para orientar políticas de vigilância e mitigação no contexto amazônico.

Agradecimentos

Ao Grupo de Espectrometria Analítica Aplicada (GEAAp/UFPA) pelo apoio estrutural.

Referências

- [1] TAKEY, M.; GIANNINI, D. T.; KUSCHNIR, M. C. C. ERICA: prevalence of fish consumption and its association with cardiovascular risk factors and healthy behavior in Brazilian adolescents. **Jornal de Pediatria**, 98, 599-606, 2022.
- [2] VIEIRA, A. D. S.; DA SILVEIRA, G. R. M. Effectiveness of n-3 fatty acids in the treatment of hypertriglyceridemia in HIV/AIDS patients: a meta-analysis. **Ciência & Saúde Coletiva**, 22, 2659-2669, 2017.
- [3] RODRIGUES, M *et al.* Omega-3 fatty acids from fish by-products: Innovative extraction and application in food and feed. **Food and Bioproducts Processing**, v. 145, p. 32-41, 2024.
- [4] PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Panorama da Aquicultura no Estado do Paraná: Ano base 2018. 1. ed. Curitiba: SEAB, 2019.
- [5] BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Temos que aumentar o consumo de pescado no Brasil, diz André de Paula. Brasília: Governo Federal, 2023.
- [6] ARAÚJO, J. G *et al.* Multidimensional Evaluation of Brown Shrimp Trawling Fisheries on the Amazon Continental Shelf. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 1-13, 2022.
- [7] PORTO, E. L *et al.* Trace metal biomonitoring in the farming of tambaqui (*Colossoma macropomum*), an Amazonian neotropical fish. **Environmental Science and Pollution Research**, 31, 7664-7679, 2024.
- [8] WAICHMAN, A. V *et al.* Human health risks associated to trace elements and metals in commercial fish from the Brazilian Amazon. **Journal of Environmental Sciences**, 148, 230-242, 2025.
- [9] CAPPARELLI, M. V *et al.* An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. **Science of the Total Environment**. 709, 2020.
- [10] MORGANO, M. A *et al.* Avaliação de contaminantes inorgânicos (As, Cd, Cr, Hg e Pb) em espécies de peixes. **Rev Ins Adolfo Lutz**, 70, 4, 535-542, 2011.
- [11] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 2013.

[12] FERREIRA, S. L. C *et al.* Application of human health risk indices in assessing contamination from chemical elements in food samples. **Trends in Analytical Chemistry**, 167, 117281, 2023.

[13] OUAHB, S *et al.* Human health risks assessment related to heavy metal bioaccumulation in the muscle tissues of Cyprinus carpio, Sander lucioperca and Oreochromis niloticus from Moroccan continental waters, **Journal of Ecological Engineering**, 26, 5, 170-180, 2025.

[14] UNITED STATES. EPA. Integrated Risk Information System (IRIS): Chromium (VI). 2024.