



**Serviço Público Federal**  
**Universidade Federal do Pará**  
**Campus Universitário de Altamira**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**

**PPGBC**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

Hitalo Christoffer Alamar Melo

**CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS  
TÓXICOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'ÁGUA EM ÁREAS DE  
CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Bittioli Gomes  
Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Cristine Bastos do  
Amarantes

ALTAMIRA - PA

JANEIRO – 2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CAMPUS ALTAMIRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Hitalo Christoffer Alamar Melo

**CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS  
TÓXICOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'ÁGUA EM ÁREAS DE  
CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Bittioli Gomes  
Rodrigues

Coorientadora: Prof. Dr. Cristine Bastos do  
Amarantes

Dissertação a apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

ALTAMIRA - PA

JANEIRO – 2022

## **Dedicatória**

Dedico esta pesquisa aos meus queridos pais Walter e Christiane, e a todos aqueles que me ajudaram ao longo desta caminhada.

## **Agradecimentos**

À Deus, pela minha saúde, por me ajudar a ultrapassar os obstáculos encontrados durante essa minha trajetória.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram e apoiaram durante a realização deste curso.

Aos meus orientadores, Felipe Bittioli e Cristine Bastos, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, juntamente com o corpo docente por toda a estrutura oferecida durante estes anos de curso.

Aos amigos e colegas, em especial, ao Pedro Pantoja e Anderson Botelho pelo apoio, incentivo, contribuição nas coletas de campo e em laboratório.

À FAPESPA, pelo financiamento durante um momento crucial na realização desta pesquisa.

## Sumário

<b>Resumo Geral</b> .....	1
<b>Introdução Geral</b> .....	1
<b>Objetivos Gerais</b> .....	4
<b>Literatura Citada</b> .....	5
<u><a href="#">CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'AGUA EM ÁREAS DE CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL</a></u> .....	13

1 **Resumo Geral**

2 O Brasil lidera o *ranking* dos maiores produtores agropecuários do mundo e no uso de  
3 insumos, fertilizantes e agrotóxicos, sendo considerado o maior consumidor desses  
4 químicos. Apesar dos benefícios do consumo desses produtos, o uso indiscriminado ou  
5 em excesso causam forte impacto ambiental, contaminando o ar, a água e o solo,  
6 podendo afetar a composição da biodiversidade local e de seus entornos, bem como a  
7 interação entre os organismos. Portanto, este estudo tem por objetivo determinar os  
8 teores de magnésio, cálcio, cádmio, crômio, ferro, zinco, manganês, chumbo e cobre em  
9 peixes, no solo e em corpos d'água em áreas de influência agrícola em Cachoeira do  
10 Ararí, no Pará. Os resultados esperados das concentrações para solo, água e peixes serão  
11 comparados com os valores referência disponibilizados pela Resolução CONAMA  
12 420/2009, Resolução N° 357/2005, Resolução RDC n° 42/2013 e pelo Decreto n°  
13 5.971/65. Os valores orientados servirão de base para inferir possíveis contaminações  
14 nos pontos de amostragem. Sendo assim, será possível realizar uma caracterização dos  
15 teores de metais na região, conhecer os possíveis impactos causados pela poluição por  
16 metais, além de fornecer informações que poderão auxiliar em estudos futuros sobre  
17 conservação e preservação ambiental.

18

19 **Palavras-Chave:**

20 Metais; Peixes; Poluição; Conservação; Amazônia; Contaminação.

21

22 **Abstract**

23 Brazil leads the ranking of one of the largest agricultural producers in the world in the  
24 use of inputs, fertilizers, and pesticides, being considered the largest consumer of these  
25 chemicals. Despite the benefits of consuming these products, their indiscriminate or  
26 excessive use causes a robust environmental impact, contaminating the air, water, and  
27 soil, which can affect the composition of local biodiversity and its surroundings, as well  
28 as the interaction between organisms. Therefore, this study aims to determine the levels  
29 of magnesium, calcium, cadmium, chromium, iron, zinc, manganese, lead, and copper  
30 in fish, soil, and water bodies in areas of agricultural influence in Cachoeira do Ararí, in  
31 the state Pará. The expected results for soil, water, and fish concentrations will be

32 compared with the reference values provided by CONAMA Resolution 420/2009,  
33 Resolution No. 357/2005, Resolution RDC No. 42/2013, and Decree No. 5,971/65. The  
34 oriented values will be a basis for inferring possible contamination at the sampling  
35 points. Thus, it will be possible to carry out a characterization of the levels of metals in  
36 the region, to know the possible impacts caused by pollution by metals, in addition to  
37 providing information that may help in future studies on conservation and  
38 environmental preservation.

39

40 **Key words:**

41 Metals; Fish; Pollution; Conservation; Amazon; Contamination.

42

43 **Introdução Geral**

44 O crescimento populacional exige maior demanda de produção de alimentos  
45 forçando a intensificação da agricultura acompanhada de usos complementares de  
46 fertilizantes e pesticidas. Isto se torna um problema cada vez mais proeminente,  
47 considerando que a composição química destes produtos possui metais tóxicos os quais  
48 representam uma ameaça preocupante a segurança alimentar e ao meio ambiente  
49 (GUAN et al., 2019; KHAN et al., 2017). No entanto, a utilização de fertilizantes e  
50 pesticidas tornou-se mais frequente no agronegócio, fornecendo elementos essenciais  
51 para o aumento da produtividade agrícola, e como forma de prevenção e combate as  
52 pragas que prejudicam o cultivo (DELCOUR; SPANOGHE; UYTTENDAELE, 2015;  
53 KHAN et al., 2017).

54 Atualmente, vivemos em um período onde a poluição ambiental é constante e a  
55 introdução de contaminantes químicos, como pesticidas e metais tóxicos é cada vez  
56 mais frequente (BÓKONY et al., 2017). O Brasil lidera o ranking de um dos maiores  
57 produtores agropecuários do mundo e no uso de insumos, fertilizantes e agrotóxicos,  
58 sendo considerado o maior consumidor desses químicos (PIGNATI et al., 2017). Apesar  
59 dos benefícios do consumo desses produtos, o uso indiscriminado ou em excesso  
60 causam forte impacto ambiental, contaminando o ar, a água e o solo, podendo afetar a  
61 composição da biodiversidade local e de seus entornos, bem como a interação entre os

62 organismos (FILHO-MEIRELLES, 2014; PERES; MOREIRA, 2003; RIBEIRO et al.,  
63 2007).

64 Os principais metais tóxicos encontrados em solo e/ou corpos d'água  
65 contaminados são: prata (Ag), crômio (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), cádmio (Cd),  
66 níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn) (COSTA et al., 2021). Sendo assim,  
67 as fontes do acúmulo desses metais no ambiente podem ser provenientes de formas  
68 naturais (intemperismo) ou antrópicas, sendo a aplicação de fertilizantes uma das  
69 principais fontes antropogênicas de contaminação (SHI et al., 2018). Esta, por sua vez,  
70 fornece elementos nutricionais às plantas, dentre eles, destacam-se os elementos  
71 primários, secundários e micronutrientes (OTERO et al., 2005). As plantas dependem  
72 de alguns micronutrientes para seu desenvolvimento, dentre eles, o cobre (Cu), cobalto  
73 (Co), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e o níquel (Ni), todavia, dependendo de  
74 suas concentrações podem ser potencialmente tóxicos. Ainda, outros, como o mercúrio  
75 (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e crômio (Cr), estes são considerados altamente tóxicos  
76 mesmo em concentrações mínimas.

77 A disponibilidade desses elementos no solo está intimamente relacionada com a  
78 absorção de metais através do cultivo, e a transferência de metais tóxicos do solo para as  
79 plantas está correlacionada com as concentrações de metais disponíveis no próprio solo  
80 (WEI et al., 2020). Sendo assim, a saúde humana e de diversos animais podem ser  
81 afetadas por esses elementos, seja diretamente através consumo de produtos agrícolas  
82 contaminados (vegetais e/ou grãos) ou indiretamente ao consumir animais que possam  
83 ter ingerido produtos agrícolas através da cadeia alimentar (ZHANG et al., 2018).

84 Sabe-se que os metais tóxicos podem se acumular facilmente na camada  
85 superficial do solo, principalmente por meios de reações de adsorção com vários  
86 componentes do solo, incluindo matéria orgânica, (hidro) óxidos, metálicos e minerais  
87 de argila (HUANG et al., 2019). Além disso, a mobilidade, solubilidade e a capacidade  
88 de transferência desses elementos são facilmente influenciadas por processos naturais,  
89 como a erosão do solo induzida pelas chuvas, ou até mesmo pelas raízes das plantas,  
90 permitindo a ampliação da área de contaminação (HUANG et al., 2019; NAVEEN;  
91 SUMALATHA; MALIK, 2018).

92           Portanto, o uso indiscriminado e de longo prazo de fertilizantes pode afetar  
93 diretamente e solo e afluentes (KARAOUZAS et al., 2021; KHAN et al., 2017). Alguns  
94 estudos evidenciam as consequências do consumo de produtos contaminados por metais  
95 tóxicos e seu potencial acumulativo, podendo exercer efeitos adversos à saúde humana,  
96 seja pela ingestão, inalação ou via dérmica de exposição (REHMAN et al., 2018).  
97 Ainda, é possível visualizar os efeitos acumulativos dos metais, como mercúrio, cobre,  
98 prata, arsênio, chumbo, cromo e cádmio em microorganismos, causando mudanças  
99 fisiológicas e estruturais (MOHITE; KOLI; PATIL, 2018).

100           Alguns estudos relatam o impacto do acúmulo de metais em peixes e o estudo  
101 destes como biomonitores, sejam em cativeiro ou em condições naturais (LIMA et al.,  
102 2015; ŁUCZYŃSKA; PASZCZYK; ŁUCZYŃSKI, 2018; YILMAZ, 2020). Além  
103 disso, estudos apontam o acúmulo de metais nos diversos tecidos do organismo, bem  
104 como seus efeitos tóxicos, como alterações fisiológicas e morfológicas, influenciando  
105 na taxa de sobrevivência, desenvolvimento e crescimento (AFSHAN et al., 2014;  
106 JAVED; USMANI, 2019).

107           Nesse sentido, uma análise de especiação elementar permite obter um  
108 conhecimento mais amplo, além de compreender a mobilidade e a biodisponibilidade  
109 das frações de metais e, portanto, fundamentar uma decisão mais racional sobre  
110 determinados produtos para fins agrícolas, formas de manejo, conservação e  
111 preservação da fauna e flora local. Além disso, uma visão aprofundada e abrangente  
112 sobre as consequências ecológicas do uso de fertilizantes e/ou pesticidas para o  
113 aprimoramento da produção agrícola requer estudos básicos e experimentais, que irão  
114 gerar dados para o desenvolvimento do uso racional e seguro de tais produtos, e a  
115 promover bases para gerar políticas consistentes no combate ao uso indiscriminado  
116 destes, e da poluição ambiental.

## 117 **Objetivos Gerais**

118           Determinar os teores de magnésio (Mg), cálcio (Ca), cádmio (Cd), crômio (Cr),  
119 ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb) e cobre (Cu) em peixes, no solo e  
120 em corpos d'água em áreas de influência agrícola em Cachoeira do Arará, localizado na  
121 Ilha do Marajó, Pará

## 122 **Objetivos Específicos Artigo 1**

- 123 • Examinar a variabilidade das concentrações de metais em diferentes locais sob
- 124 diferentes proximidades com os campos de cultivo;
- 125 • Determinar os níveis de contaminação;
- 126 • Expor os riscos potenciais da exposição à contaminação por metais.

## 127 **Resultados Esperados**

128 Os resultados esperados das concentrações para solo, água e peixes serão

129 comparados com os valores referência disponibilizados pela Resolução CONAMA

130 420/2009, Resolução N° 357/2005, Resolução RDC nº 42/2013 e pelo Decreto nº

131 5.971/65, respectivamente. Os valores orientados servirão de base para inferir possíveis

132 contaminações nos pontos de amostragem. Abaixo pode-se observar a tabela 1 com os

133 valores orientados.

134 **Tabela 1.** Valores orientados para solo (mg/Kg), água (mg/mL) e peixes (mg/Kg).

Amostra	Elementos								
	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
Solo	-	-	3	150	-	450	-	180	200
Água	-	-	0,005	0,05	0,3	0,09	0,1	0,01	0,005
Peixe		-	0,05	0,1	-	50	-	0,3	30

135

136 Após, a realização das determinações das concentrações dos metais, será

137 possível comparar com os valores orientados, com o intuito de estipular a situação da

138 área de estudo. Se as concentrações detectadas superarem os valores referência

139 demonstrados indicará que possivelmente haverá contaminação no local, mas se estes

140 valores forem inferiores aos amostrados indicará que não há contaminação. Sendo

141 assim, será possível realizar uma caracterização dos teores de metais na região,

142 conhecer os possíveis impactos causados pela poluição por metais, além de fornecer

143 informações que poderão auxiliar em estudos futuros sobre conservação e preservação

144 ambiental.

145 **Literatura Citada**

- 146 AFSHAN, S. et al. Effect of different heavy metal pollution on fish. **Research Journal**  
147 **of Chemical and Environmental Sciences**, v. 2, n. December, p. 74–79, 2014.
- 148 BÓKONY, V. et al. Chronic exposure to a glyphosate-based herbicide makes toad  
149 larvae more toxic. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n.  
150 1858, p. 1–7, 2017.
- 151 COSTA, S. et al. Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers.  
152 **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, 2021.
- 153 DELCOUR, I.; SPANOGHE, P.; UYTTENDAELE, M. Literature review: Impact of  
154 climate change on pesticide use. **Food Research International**, v. 68, n. October, p. 7–  
155 15, 2015.
- 156 GUAN, Q. et al. Source apportionment of heavy metals in farmland soil of Wuwei,  
157 China: Comparison of three receptor models. **Journal of Cleaner Production**, v. 237,  
158 p. 117792, 2019.
- 159 HUANG, B. et al. Loss characteristics of Cd in soil aggregates under simulated rainfall  
160 conditions. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 313–320, 2019.
- 161 JAVED, M.; USMANI, N. An Overview of the Adverse Effects of Heavy Metal  
162 Contamination on Fish Health. **Proceedings of the National Academy of Sciences**  
163 **India Section B - Biological Sciences**, v. 89, n. 2, p. 389–403, 2019.
- 164 KARAOUZAS, I. et al. Heavy metal contamination status in Greek surface waters: A  
165 review with application and evaluation of pollution indices. **Chemosphere**, v. 263, p.  
166 128192, 2021.
- 167 KHAN, M. N. et al. **Fertilizers and their contaminants in soils, surface and**  
168 **groundwater**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. v. 1–5
- 169 LIMA, D. P. DE et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do  
170 rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 4, p. 405–414, dez.  
171 2015.

172 ŁUCZYŃSKA, J.; PASZCZYK, B.; ŁUCZYŃSKI, M. J. Fish as a bioindicator of  
173 heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk  
174 assessment for consumer's health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 153,  
175 n. November 2017, p. 60–67, maio 2018.

176 MOHITE, B. V.; KOLI, S. H.; PATIL, S. V. Heavy Metal Stress and Its Consequences  
177 on Exopolysaccharide (EPS)-Producing *Pantoea agglomerans*. **Applied Biochemistry  
178 and Biotechnology**, v. 186, n. 1, p. 199–216, 2018.

179 NAVEEN, B. P.; SUMALATHA, J.; MALIK, R. K. A study on contamination of  
180 ground and surface water bodies by leachate leakage from a landfill in Bangalore, India.  
181 **International Journal of Geo-Engineering**, v. 9, n. 1, 2018.

182 OTERO, N. et al. Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements.  
183 **Applied Geochemistry**, v. 20, n. 8, p. 1473–1488, 2005.

184 PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: Uma  
185 ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281–  
186 3293, 2017.

187 REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health  
188 consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157–184, 2018.

189 SHI, T. et al. Inventories of heavy metal inputs and outputs to and from agricultural  
190 soils: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, n. August, p. 118–  
191 124, 2018.

192 WEI, B. et al. The availability and accumulation of heavy metals in greenhouse soils  
193 associated with intensive fertilizer application. **International Journal of  
194 Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 15, p. 1–13, 2020.

195 YILMAZ, M. Effect of cage culture environment on farmed fish in terms of metal  
196 accumulation. **Aquaculture Research**, v. 51, n. 7, p. 3025–3036, 2020.

197 ZHANG, J. et al. Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland  
198 soils: A case study in the Pearl River Delta, South China. **Environmental Pollution**, v.  
199 235, p. 710–719, 2018.

Este capítulo está formatado nas normas da revista Environmental Pollution, disponível em: <<https://www.elsevier.com/journals/environmental-pollution/0269-7491/guide-for-authors>>.

201

Artigo 1

202           CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS TÓXICOS EM  
203           PEIXES, SOLO E CORPOS D'AGUA EM ÁREAS DE CULTIVO DE ARROZ NA  
204           ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217 **RESUMO**

218 A poluição por metais tóxicos tem aumentado consideravelmente devido diversas  
219 atividades de produção, incluindo a atividade agrícola. Altas concentrações de metais  
220 podem afetar diversos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos. Sendo assim, a  
221 caracterização de metais em amostras de solo, água e em diferentes organismos vivos  
222 são essenciais no monitoramento da poluição ambiental. Nesse estudo, objetivou-se  
223 determinar os teores de magnésio, cálcio, cádmio, crômio, ferro, zinco, manganês,  
224 chumbo e cobre em peixes, solo e em corpos d'água em áreas de influência agrícola em  
225 Cachoeira do Ararí, no Pará. As amostras de solo, água e os peixes foram coletados em  
226 dez locais distintos. As amostras de solo foram secas em sala climatizada por 24 horas,  
227 maceradas, peneiradas e digeridas a partir da solução extrativa de Mehlich 1 e KCL 1,9  
228 mol L<sup>-1</sup>. As amostras de água foram tratadas com ácido nítrico concentrado e filtradas  
229 em papel filtro quantitativo 80g/m<sup>2</sup>. As amostras de peixes foram liofilizadas, pesadas,  
230 maceradas, digeridas à 1 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, aquecidas em bloco digestor,  
231 diluídas em 25 mL de água deionizada, e filtradas em papel quantitativo 80 g/m<sup>2</sup>. A  
232 determinação dos metais foi realizada utilizando-se um espectrômetro de absorção  
233 atômica, marca Thermo, modelo ICE3000. Os resultados revelaram concentrações de  
234 metais para água e peixes acima dos valores referência em alguns pontos amostrados,  
235 enquanto para solo as concentrações estavam dentro dos parâmetros permitidos. As  
236 análises da correlação de Spearman e de Cluster, revelaram alta correlação nos pontos  
237 amostrais, além de que pontos amostrais mais próximos da rizicultura compartilham  
238 maior similaridade comparado a pontos mais distantes. Com isso, tende-se a concluir  
239 que, devido à sua similaridade, não se pode afirmar que esteja havendo uma  
240 contaminação, mas os resultados encontrados fornecem valores cruciais de teores de  
241 diferentes metais para esta região, servindo de base no monitoramento das condições  
242 ambientais.

243

244 **PALAVRAS-CHAVE**

245 Metais; Peixe; Poluição; Conservação; Amazônia; Contaminação.

246

247

248

249 **ABSTRACT**

250 Pollution by heavy metals has increased considerably due to various production  
251 activities, including agricultural activity. High concentrations of metals can affect many  
252 ecosystems, whether terrestrial or aquatic. Therefore, the characterization of metals in  
253 soil and water samples and different living organisms is essential in monitoring  
254 environmental pollution. In this study, the objective was to determine the levels of  
255 magnesium, calcium, cadmium, chromium, iron, zinc, manganese, lead, and copper in  
256 fish, soil, and water bodies in areas of agricultural influence in Cachoeira do Ararí, Pará.  
257 Soil, water, and fish samples were collected in ten different locations. Soil samples were  
258 dried in an acclimatized room for 24 hours, macerated, sieved, and digested using  
259 Mehlich 1 extractive solution and  $1.9 \text{ mol L}^{-1}$  KCL. The water samples were treated  
260 with concentrated nitric acid and filtered through  $80\text{g/m}^2$  quantitative filter paper. The  
261 fish samples were freeze-dried, weighed, macerated, digested with 1 mL of concentrated  
262  $\text{HNO}_3$ , heated in a digester block, diluted in 25 mL of deionized water, and filtered  
263 through  $80 \text{ g/m}^2$  quantitative paper. The determination of metals was performed using  
264 an atomic absorption spectrometer, Thermo, model ICE3000. The results revealed  
265 concentrations of metals for water and fish above the reference values in some sampled  
266 points, while for soil the concentrations were within the allowed parameters. The  
267 Spearman and Cluster correlation analyses revealed a high correlation in the sampling  
268 points, in addition to the fact that sampling points closer to rice cultivation share greater  
269 similarity compared to more distant points. With this, one tends to conclude that, due to  
270 their similarity, it cannot be said that there is a contamination, but the results found  
271 provide crucial values of levels of different metals for this region, serving as a basis for  
272 monitoring environmental conditions.

273

274 **KEY WORDS**

275 Metals; Fish; Pollution; Conservation; Amazon; Contamination.

276

277

278

279

280

## 281 **INTRODUÇÃO**

282 A poluição por metais tóxicos tem aumentado consideravelmente devido as  
283 indústrias manufatureiras, descarte de resíduos industriais, atividades de mineração, uso  
284 contínuo de fertilizantes, pesticidas e herbicidas nas atividades agrícolas atuais, além de  
285 outras atividades que exigem uma atenção específica sobre o uso destes por  
286 representarem uma ameaça global ao ambiente (Milam et al., 2015; Ogunfowokan et al.,  
287 2019). Atualmente, concorda-se que, a concentração de metais tóxicos no solo, devido a  
288 insumos agrícolas, desenvolvimento de tecnologia agrícola moderna e a rápida  
289 industrialização estão entre os fatores mais importantes para a poluição ambiental, e isso  
290 é refletido em grandes potências, como a China (Milam et al., 2015; Shifaw, 2018).

291 As altas concentrações de metais podem afetar diversos ecossistemas, sejam eles  
292 terrestres ou aquáticos, podendo ocasionar solos inférteis, declínio de populações  
293 aquáticas, interferência na comunicação dos animais, deformações morfológicas de  
294 peixes e anfíbios, interferindo na sua sobrevivência, taxas de crescimento, bem-estar e  
295 morfologia externa (Ali et al., 2019). Além disso, a contaminação por metais representa  
296 uma ameaça devido à sua toxicidade; bioacumulação e biomagnificações na cadeia  
297 alimentar (Milam et al., 2015).

298 A caracterização de metais em amostras de solo, água e em diferentes  
299 organismos vivos é essencial no monitoramento da poluição ambiental (Łuczyńska et  
300 al., 2018; Zhou et al., 1997), entretanto, é válido ressaltar que diferentes metais  
301 representam diferentes funções biológicas e ecossistêmicas. Existem metais que  
302 apresentam alta densidade molecular e são capazes de induzir toxicidade mesmo em  
303 baixas concentrações, dentre eles podemos citar, o cádmio (Cd), cromo (Cr) e o chumbo  
304 (Pb) (Hejna et al., 2018; Tüzen, 2003; Zoroddu et al., 2019). Outro grupo de metais que  
305 são essenciais para manter várias funções bioquímicas e fisiológicas em humanos,  
306 animais e plantas, são os micronutrientes como o magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro  
307 (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu), porém, quando presentes em  
308 concentrações elevadas podem representar uma potencial fonte de contaminação (Hejna  
309 et al., 2018; Tüzen, 2003; Zoroddu et al., 2019).

310 A exemplo, os efeitos da exposição ao Cd em humanos, consistem em danos nos  
311 rins, fígado, sistema esquelético, sistema cardiovascular (Genchi et al., 2020; Ju et al.,  
312 2017); nos anfíbios causa danos morfológicos e fisiológicos, reduzindo o

313 desenvolvimento larval e a capacidade de locomoção (Hu et al., 2019; Lu et al., 2021).  
314 A contaminação por Cr está associada a câncer no trato respiratório e gástrico, além de  
315 causar danos ao DNA e encurtar a sobrevivência de espécies de peixes (Coetzee et al.,  
316 2020; Prasad et al., 2021). O Pb pode apresentar efeitos negativos no desenvolvimento  
317 de ovos de aves e na motilidade de espermatozoides, existem estudos onde o Pb altera a  
318 composição microbiana do solo (Hou et al., 2021; Pain et al., 2019).

319 Embora, o Mg seja um metal essencial para o desenvolvimento de determinados  
320 organismos, exposição à altas concentrações podem impactar o crescimento de algumas  
321 plantas (Canham et al., 2020). Ainda, existem estudos que relacionam concentrações  
322 elevadas de Mg e Ca com a mortalidade por doenças cardiovasculares por consumo  
323 constante de água contaminada (Rosborg et al., 2015; Rubenowitz et al., 2000). A alta  
324 disponibilidade de Fe no solo pode danificar estruturas celulares de plantas, reduzindo o  
325 crescimento e causando danos foliares (Zaitsev et al., 2020). O excesso de Cu e Zn  
326 podem levar à alterações nas trocas gasosas, e a redução da eficiência fotoquímica de  
327 umas espécies de plantas (Tiecher et al., 2018). Por fim, em um estudo experimental  
328 com roedores, a elevada concentração de Mn afetou a reprodução e o comportamento  
329 dos indivíduos (Sachse et al., 2019).

330 A região amazônica é território fértil para a atuação de pesquisadores focados  
331 em questões ambientais. Nesse contexto, Cachoeira do Ararí, município pertencente ao  
332 Arquipélago do Marajó, é um exemplo de área onde a realidade socioeconômica gera  
333 preocupação, principalmente no que diz respeito às atividades produtivas desenvolvidas  
334 e seus impactos no ambiente natural. Segundo o IBGE, até o ano de 2021, o município  
335 apresentava uma população estimada de 24.355 habitantes, distribuídos em 3.100,261  
336 km<sup>2</sup> de extensão territorial, sua economia baseia-se principalmente na agropecuária,  
337 com foco na criação de bubalinos e bovinos, e na plantação de arroz. A expansão da  
338 rizicultura nesta região trouxe algumas discussões em relação aos possíveis impactos  
339 sociais e/ou ambientais, desde ao uso indiscriminado de grandes extensões de terra para  
340 o cultivo do arroz, como também, desvios de rios, relatos da redução de pescados  
341 atribuída a utilização irregular de fertilizantes, além do despejo da água utilizada na  
342 irrigação, nos rios; e a ausência de monitoramento e estudos prévios de avaliação  
343 ambiental. (Gomes et al., 2018; Huffner and Meirelles, 2016). Nesse sentido,  
344 considerando o uso de fertilizantes, pesticidas, inseticidas e outros produtos químicos  
345 que auxiliam no desenvolvimento da produção, e que possuem metais em sua

346 constituição, enfatizamos que o uso excessivo desses produtos químicos pode afetar  
347 negativamente na qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas. Além disso,  
348 à medida que os metais entram e acumulam no solo e posteriormente são absorvidos  
349 pelas plantas, entrando no ciclo ecossistêmico, podem aumentar os riscos de  
350 contaminação por metais nos diferentes níveis das cadeias tróficas.

351 Sendo assim, um estudo do status de contaminação por metais em solo, água e  
352 organismos (peixes) em locais de uso agrícola, fornecerá informações valiosas que  
353 poderão demonstrar os possíveis impactos causado pela rizicultura, além de auxiliar em  
354 outros estudos ambientais, haja vista a escassez de informações com esta especificidade.  
355 Portanto, objetivou-se neste estudo determinar os teores biodisponíveis de magnésio  
356 (Mg), cálcio (Ca), cádmio (Cd), crômio (Cr), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn),  
357 chumbo (Pb) e cobre (Cu) em peixes, no solo e em corpos d'água em áreas de influência  
358 agrícola em Cachoeira do Ararí, localizado na Ilha do Marajó, Pará. Ainda, em  
359 específico, objetivou-se examinar a variabilidade das concentrações de metais em  
360 diferentes locais sob diferentes proximidades com os campos de cultivo, e determinar os  
361 níveis de contaminação, além da exposição à contaminação por metais.

362

## 363 **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 364 **Coleta e preparo das amostras**

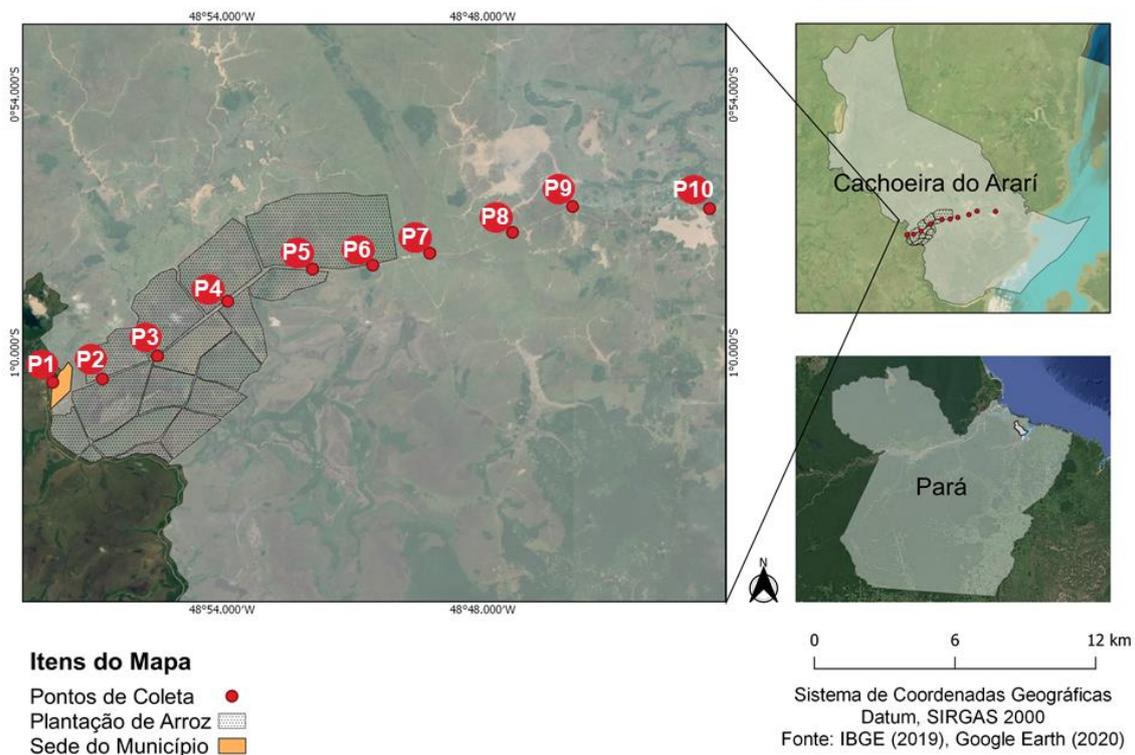
365 As amostras de solo, água utilizados neste estudo foram coletados em dez pontos  
366 distintos, quanto aos peixes, estes, foram coletados somente em sete pontos, de acordo  
367 com a proximidade da rizicultura, no município de Cachoeira do Ararí, que se encontra  
368 localizado no estado do Pará, a 1°0'16" de latitude Sul e 48°57'27" de longitude a oeste  
369 (Figura 1) (Freitas et al., 2022), abrangendo cerca de vinte e oito quilômetros em linha  
370 reta ao longo da área de influência direta dos campos de arroz.

371 Para a obtenção das amostras de solo, os critérios estabelecidos foram em razão  
372 do tempo de uso de fertilizantes no local (< 10 anos), sendo necessário coletar amostras  
373 de aproximadamente quinhentas gramas, entre 0-10 cm de profundidade (EMBRAPA,  
374 2006). Após a coleta, as amostras de solo foram secas em sala climatizada por 24 horas,  
375 maceradas e peneiradas (peneira de 1 mm) para retirada de resíduos fibrosos, após esses  
376 procedimentos iniciou-se o processo de digestão química.

377 Para as amostras de água, foram obtidos 500 mL a 20 cm de profundidade da  
378 superfície das poças d'água e rios de locais distintos para a triplicata, em cada ponto  
379 amostral (EMBRAPA, 2006). Posteriormente, foi adicionado 2,5 mL de ácido nítrico  
380 (5mL de HNO<sub>3</sub>, p.a., para 1L de água) para a digestão dos materiais orgânicos e  
381 preservação das amostras, posteriormente, estas foram filtradas em papel filtro  
382 quantitativo 80g/m<sup>2</sup>, e por fim, foi realizado a leitura por espectrômetro de absorção  
383 atômica (EMBRAPA, 2006).

384 Os peixes amostrados pertencem às famílias Rivulidae (*Rivulus spp.*),  
385 Characidae (*Moenkhausia spp.*) e Cichlidae (*Apistogramma spp.*), todos de hábitos  
386 alimentares semelhantes, foram capturados em somente sete pontos amostrais, sendo  
387 eles: P3, P4, P5, P6, P8, P9, P10 (Figura 1). Para a coleta foi utilizado uma peneira,  
388 passada por todo o perímetro das poças, e após a captura os animais identificados e  
389 separados por famílias e/ou gênero, em seguida, foram armazenados em gelo até o  
390 início do processo de digestão química.

391 **Figura 1.** Mapa de localização dos pontos de coleta.



392

393 **Digestão das amostras de solo**

394 Para a determinação dos teores de Cd, Cr, Fe, Zn, Mn, Pb e Cu em solo, foi  
395 realizada a digestão com a solução extrativa de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
396 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), e para os teores de Ca e Mg, a digestão foi realizada com a solução  
397 extrativa KCl 1,9 mol.L<sup>-1</sup> (Teixeira et al., 2017). Inicialmente, foi pesado 5mg do solo  
398 peneirado, transferido para um Erlenmeyer de 125 mL, adicionado 50 mL da solução  
399 extrativa, e colocado por 5 min no agitador horizontal. Em seguida, as amostras foram  
400 deixadas em repouso por 12 horas para decantar o precipitado, e então foi realizada a  
401 filtragem em papel quantitativo 80g/m<sup>2</sup>, por fim, a determinação dos metais foi  
402 realizada a partir da solução resultante. A digestão foi realizada em quadruplicata e  
403 branco analítico foi preparado pelo mesmo método sem adição da amostra.

#### 404 **Digestão das amostras de tecido animal**

405 O preparo das amostras dos peixes ocorreu conforme o método utilizado por  
406 Tüzen (2003), com algumas adaptações. As amostras foram liofilizadas por 24 horas,  
407 em seguida, maceradas em almofariz até obtenção da textura de pó, e então pesado 1g  
408 de cada amostra, transferido para tubos de ensaio e adicionado 1 mL de HNO<sub>3</sub>  
409 concentrado. Por fim, as amostras foram aquecidas em bloco digestor à 130 °C por 90  
410 min, posteriormente foram diluídas em 25 mL de água deionizada, filtradas em papel  
411 quantitativo 80 g/m<sup>2</sup> e mantidas em tubos de Falcon até a momento da leitura do teor  
412 total de metais.

#### 413 **Determinação dos metais**

414 A determinação dos metais foi realizada no Laboratório de Análises Químicas  
415 do *Campus* Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi utilizando-se um espectrômetro  
416 de absorção atômica com chama ar/acetileno, marca Thermo, modelo ICE3000. Os  
417 parâmetros instrumentais para a determinação dos elementos estão apresentados na  
418 tabela 1.

419 **Tabela 1.** Parâmetros instrumentais utilizados para a determinação de Mg, Ca, Cd, Cr,  
420 Fe, Zn, Mn, Pb e Cu.

<b>Elemento</b>	<b>Comprimento de Onda (nm)</b>	<b>Corrente da Lâmpada (%)</b>	<b>Resolução Espectral (nm)</b>
Mg	285,2	75	0,5
Ca	422,7	100	0,5
Cd	228,8	50	0,5
Cr	357,9	100	0,5

Fe	248,3	75	0,2
Zn	213,9	75	0,2
Mn	279,5	75	0,2
Pb	217	75	0,5
Cu	324,8	75	0,5

## 421 **Análise Estatística**

422 A quantificação dos elementos no solo e na água foram medidos por  
423 Espectrometria de Absorção com Chama, e realizou-se a média de três determinações, a  
424 partir das quais calculou-se seus respectivos desvios padrão. A validação estatística  
425 considerou o limite de detecção (LOD) e o limite de quantificação (LOQ) o qual foram  
426 determinados a partir do desvio padrão de dez medidas consecutivas do branco  
427 analítico, e ainda, considerou-se a inclinação da respectiva curva de calibração,  
428 conferindo um nível de confiança de 99,6%.

429 Posteriormente as análises, os valores foram convertidos para a determinação  
430 das concentrações dos metais totais nas amostras originais. Os resultados foram  
431 expressos em mg/Kg para solo e tecido animal e mg/mL para as amostras de água. Em  
432 seguida, os dados obtidos foram submetidos estatisticamente, por meio do RStudio. As  
433 concentrações de metais detectadas em cada ponto amostral foram avaliadas pelo teste  
434 de Spearman com o intuito de medir a intensidade da relação entre os pontos amostrais.  
435 O coeficiente da correlação de Spearman é uma medida não-paramétrica utilizada para  
436 dados com distribuição não normais (Akoglu, 2018). Um valor de p abaixo de 0,05 foi  
437 considerado estatisticamente significativo.

438 Ainda, foi desenvolvida a Análise Hierárquica de Cluster que é usada para  
439 reconhecer padrões de similaridades nas amostras a partir de um conjunto de dados  
440 obtidos, sendo representado por dendrogramas, que pode ser interpretado analisando as  
441 distâncias entre os pontos, quanto menor for a distância entre estes, maior a semelhança  
442 entre as amostras (Assis et al., 2017; Carmo et al., 2011; Santana and Barroncas, 2007).

443

## 444 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

445 Para a determinação das concentrações dos elementos analisados, primeiramente  
446 realizamos a leitura das soluções padrões de cada elemento, levando em consideração as

447 faixas de calibração demonstradas na tabela 2. Para que uma curva de calibração seja  
448 considerada confiável, é necessário que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) seja no  
449 mínimo 0,9800.

450 **Tabela 2.** Coeficientes de determinação das curvas de calibração.

Coeficiente de Determinação									
	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9997	0,9996	0,9978	0,9970	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9998

451 De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido, observou-se boa  
452 linearidade com curvas confiáveis, permitindo a determinação das concentrações dos  
453 elementos presentes nas amostras deste estudo.

454 Os teores médios de Mg, Ca, Cd, Cr, Fe, Zn, Mn, Pb e Cu encontrados nas  
455 amostras de solo, água e peixes, incluindo os valores referências, estão apresentados na  
456 Tabela 3.

457 De modo geral, os teores de metais nas amostras de solo encontram-se abaixo  
458 dos parâmetros considerados aceitáveis para solos que possuem influência de atividade  
459 agrícola, segundo os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009, a qual  
460 define os padrões nacionais de qualidade do solo (Brasil, 2009), com exceção do Cd e  
461 Cr que ficaram abaixo do limite de detecção. As concentrações para magnésio, cálcio,  
462 ferro, zinco, manganês, chumbo e cobre variam espacialmente em todos os pontos  
463 amostrais, sendo magnésio, cálcio e ferro os mais abundantes dentre os parâmetros de  
464 quantificação nas amostras de solo. Essa variação de concentrações pode ser explicada  
465 por diferentes fatores como a erosão, propriedades do solo, uso do solo, e trocas de  
466 matéria e energia entre solo e água (Bai et al., 2009; Wang et al., 2017). Ainda, as  
467 características geográficas da região podem contribuir para essa variação, pois a região  
468 apresenta relevo característico de planície, apresentando baixas elevações o que  
469 possibilita a inundação de várias áreas em períodos chuvosos, e o rápido escoamento ou  
470 drenagem dos metais para os corpos d'água de drenagem de microbacia (Teles et al.,  
471 2018).

472 **Tabela 3.** Níveis médios de magnésio e outros metais nas dez áreas de amostragem em  
473 Cachoeira do Arará. Unidades de concentração: mg/Kg para solo e peixes; mg/mL para  
474 água \*VR: Valor Referência. \*n.d: Não Detectado.

Local	Amostra	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
<b>P1</b>	Solo	269,90	445,10	n.d	n.d	82,50	1,00	6,40	n.d	0,60
	Água	2,39	1,69	n.d	n.d	<b>5,09</b>	n.d	0,09	n.d	n.d
<b>P2</b>	Solo	166,00	106,40	n.d	n.d	324,50	0,70	0,70	0,70	0,40
	Água	1,65	1,48	n.d	n.d	<b>2,86</b>	n.d	0,06	n.d	n.d
<b>P3</b>	Solo	210,30	147,50	n.d	n.d	24,50	0,50	6,80	0,20	0,10
	Água	0,79	1,39	<b>0,03</b>	n.d	<b>2,79</b>	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	3154,21	59958,47	<b>13,40</b>	n.d	1371,44	<b>413,58</b>	140,05	n.d	0,16
<b>P4</b>	Solo	182,00	77,90	n.d	n.d	4,50	0,40	0,70	0,10	0,10
	Água	1,93	3,02	n.d	n.d	<b>1,31</b>	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Rivulidae</i>	1703,00	32569,00	<b>13,00</b>	n.d	367,00	<b>119,00</b>	180,00	n.d	n.d
<b>P5</b>	Solo	1111,60	396,90	n.d	n.d	99,60	0,90	4,80	n.d	0,60
	Água	1,44	2,61	n.d	n.d	<b>2,75</b>	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	1419,97	32840,80	<b>12,82</b>	n.d	252,67	<b>256,08</b>	183,42	n.d	n.d
<b>P6</b>	Solo	423,40	289,60	n.d	n.d	n.d	2,70	20,10	n.d	0,50
	Água	1,23	0,46	<b>0,03</b>	n.d	<b>1,85</b>	n.d	0,04	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	1648,36	39283,20	<b>20,50</b>	n.d	688,46	<b>327,11</b>	130,77	n.d	n.d
<b>P7</b>	Solo	1618,50	704,90	n.d	n.d	66,70	1,50	72,60	n.d	0,20
	Água	14,33	4,88	0,00	n.d	<b>1,33</b>	n.d	<b>0,60</b>	n.d	n.d
<b>P8</b>	Solo	1033,70	345,50	n.d	n.d	664,60	6,70	206,50	n.d	1,10
	Água	6,24	1,61	0,02	n.d	<b>4,64</b>	n.d	<b>0,20</b>	n.d	n.d
	<i>Moenkhausia</i>	847,69	10807,89	3,03	n.d	127,84	<b>88,84</b>	35,14	n.d	n.d
<b>P9</b>	Solo	901,40	269,90	n.d	n.d	91,00	0,90	10,20	n.d	0,40
	Água	3,96	3,62	<b>0,02</b>	n.d	n.d	n.d	0,13	n.d	n.d
	<i>Moenkhausia</i>	1863,20	29449,99	n.d	n.d	458,39	<b>276,87</b>	55,09	n.d	n.d
<b>P10</b>	Solo	356,80	231,40	n.d	n.d	2,30	2,00	4,00	n.d	0,10
	Água	2,70	2,92	n.d	n.d	<b>3,56</b>	n.d	0,04	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	12001,77	323423,85	<b>348,77</b>	n.d	6416,40	<b>1613,75</b>	1088,11	n.d	n.d
<b>VR Solo</b>		-	-	<b>3</b>	<b>150</b>	-	<b>450</b>	-	<b>180</b>	<b>200</b>
<b>VR Água</b>		-	-	<b>0,005</b>	<b>0,05</b>	<b>0,3</b>	<b>0,09</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>0,005</b>
<b>VR Peixe</b>		-	-	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	-	<b>50,00</b>	-	<b>0,30</b>	<b>30,00</b>

475 Nas amostras de água nota-se (em negrito) que algumas concentrações estão  
476 acima dos valores referência estabelecidos pela Resolução N° 357/2005 do Conselho  
477 Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005). Os resultados revelam concentrações de  
478 cádmio, ferro e manganês acima dos valores referência (VR) em diferentes pontos  
479 amostrais. Porém, para cromo, zinco, chumbo e cobre, bem como em alguns pontos  
480 amostrais para cádmio, os valores estavam abaixo do limite de detecção. Os metais em  
481 água podem sofrer influência do pH, matéria orgânica, lixiviação, e ainda reagirem com  
482 outros metais se presente no ambiente gerando novas formas de íons, e isso pode  
483 influenciar nos resultados de detecção, além disso, o sistema de irrigação da plantaço  
484 por inundação facilita a mobilidade desses elementos podendo se acumular em diversas  
485 áreas com diferentes concentrações (Gomes et al., 2021; Reis et al., 2020) .

486 Os teores de magnésio e cálcio estão associados a capacidade de fertilidade e  
487 acidez do solo, concentrações baixas de Mg e Ca o solo tende a ser mais ácido, e teores  
488 elevados o solo tende a ser mais fértil (Prezotti, 2013). A presença destes está  
489 relacionada a fatores, como localização geográfica, tipo de rocha, pH, natureza da água  
490 de drenagem, teor de argila, capacidade de troca de cátions, intemperismo, condições  
491 climáticas, tipo de planta cultivada, processo de fertilização do solo e ao fenômeno de  
492 lixiviação (Guarda et al., 2021; Jodral-Segado et al., 2006; Mortvedt and Cox, 1985).  
493 Para este estudo, as concentrações determinadas de Mg e Ca apresentaram variações  
494 para cada ponto amostral, tanto para amostras de solo quanto para amostras de água e  
495 peixes e isto pode estar relacionado com alguns dos fatores citados acima, no entanto,  
496 esses dados não puderam ser comparados com valores referências devido à escassez  
497 destas informações. Ainda, as coletas das amostras foram realizadas somente em um  
498 período do ano, o chuvoso, não sendo possível comparar com dados desta região para  
499 períodos secos (menos chuvoso).

500 Para as amostras de peixes, coletados apenas nos pontos P3, P4, P5, P6, P8, P9 e  
501 P10, pode-se inferir que os teores de cádmio e zinco estavam acima do permitido  
502 segundo a Resolução RDC n° 42/2013 e do Decreto n° 5.971/65, enquanto os demais  
503 metais como magnésio, cálcio, ferro e manganês não puderam ser comparados com  
504 valores referência. Para cromo e chumbo não foi possível detectar valores mínimos em  
505 todos os pontos, como também para cobre com exceção do ponto P3, e o teor detectado  
506 estava dentro dos limites estabelecidos (Brasil, 2013, 1965)

507 A contaminação por cádmio em solo provocou alterações no  
508 metabolismo de plantas, reduzindo a homeostase celular e o crescimento do vegetal no  
509 estudo de Sharma and Kumar (2020). No estudo de Lu et al., (2021), a exposição de  
510 girinos de *R. zhenhaiensis* a determinadas concentrações de cádmio demonstrou  
511 alterações na taxa de sobrevivência e desenvolvimento, bioacumulação hepática,  
512 estresse oxidativo e dano genotóxico. Em nosso estudo, não foram detectados teores de  
513 cádmio em solo, somente para amostras de água nos pontos P3, P6, P8, P9, estas, por  
514 sua vez, estavam acima do valor referência, como também para algumas amostras de  
515 peixes. No estudo de Luo et al., (2020), o qual investigou a contaminação por cádmio  
516 em sistema de cocultura de peixes em ambiente de cultivo de arroz, foi detectada altas  
517 concentrações de cádmio em peixes da espécie *Cyprinus carpio* estando correlacionado  
518 com teores de cádmio também detectados em solo.

519 Apesar de não ter sido detectada em nosso estudo, o cromo é uma ameaça  
520 ambiental significativa quando presente no ambiente, sejam aquáticos ou terrestres.  
521 Prasad et al. (2021) descreve em seu estudo de revisão diversas consequências em razão  
522 da contaminação por Cr, como, efeitos acumulativos nos tecidos humanos e animais,  
523 sendo tóxicos e prejudiciais à saúde, como também, afeta negativamente as atividades  
524 metabólicas das plantas, prejudicando o crescimento e o rendimento das culturas.

525 O ferro apesar de ter sua importância na manutenção dos sistemas biológicos, o  
526 excesso deste metal provocou danos fisiológicos, disfunção respiratória, peroxidação  
527 lipídica e redução de varredores de radicais em espécimes de *Labeo rohita* em um  
528 estudo realizado por Singh et al., (2019). Nas amostras de solo deste estudo o teor de  
529 ferro se manteve variável para cada ponto amostral, no entanto, não pode ser comparado  
530 com valores referência para solo desta região, porém, para as amostras de água foi o que  
531 mais se destacou, apresentando concentrações superiores aos dos demais metais, e  
532 acima do valor referência. Esses resultados corroboram com os encontrados por Guarda  
533 et al. (2020) e Suster et al. (2020). Nas amostras de peixes os valores de ferro variaram  
534 entre 6416,40-127,84 (mg/Kg), seguindo uma abundância de: Apistogramma>  
535 Characidae>Rivulidae. O acúmulo de Fe em peixes pode ser atribuído a grandes  
536 quantidades presentes na água, dependendo da forma existente de íon pode haver reação  
537 produzindo hidróxido férrico que torna o corpo d'água deficiente em oxigênio como  
538 resultado de sua acidez, gerando condição anaeróbica resultando em morte de peixes  
539 como destaca Hikal (2020).

540 Laurent et al. (2020) associa a disponibilidade de zinco em solo à fertilização  
541 orgânica contínua em regiões agrícolas. Bhatti et al. (2018) identificaram níveis  
542 excessivos de Zn com grande potencial genotóxico em áreas de uso agrícola. A presença  
543 de concentrações elevadas de zinco no solo pode provocar a redução da diversidade  
544 bacteriana no solo, como descrito por Moffett et al. (2003). Em nosso estudo os teores  
545 de zinco para as amostras de solo estavam de acordo com o permitido, estando dentro  
546 dos parâmetros de qualidade para solo, e para água não foi possível detectar  
547 concentrações mínimas. Por outro lado, para amostras de peixes, em todos os pontos  
548 amostrais, os teores detectados de zinco ultrapassaram os valores referência, e isso pode  
549 estar relacionado a ocorrência natural ou às atividades econômicas predominantes na  
550 região, como a pecuária e agricultura, e nesta, há a aplicação de fertilizantes que são  
551 levados até os rios pela água das chuvas.

552 O teor de manganês no solo variou em todos os pontos amostrais, concentrando  
553 maiores médias em pontos distantes da plantação de arroz, semelhante aos teores  
554 quantificados nas amostras de água, o qual apresentou maiores concentrações nos  
555 pontos P7, P8 e P9, estes, por sua vez, estavam no limite máximo permitido quando  
556 comparado ao valor referência, com exceção do P7 que estava acima do limite desejado.  
557 O teor médio de manganês em peixes variou entre 1088,11-35,14 (mg/Kg) que de  
558 acordo com Olmedo et al. (2013) são aceitáveis para consumo, a ingestão desses  
559 produtos não excederia os valores de referência de toxicidade internacional. Em um  
560 estudo realizado em *Oreochromis niloticus* por exposição a determinadas concentrações  
561 de Mn, Coppo et al. (2018) observaram bioacumulação no tecido animal, além de danos  
562 significativos ao material genético e anormalidades nucleares.

563 Metais tóxicos podem ter efeitos acumulativos em diversos organismos,  
564 podendo impactar a cadeia alimentar, servindo de ponte de contaminação entre animais  
565 e seres humanos (Ćwieląg-Drabek et al., 2020; Okoye et al., 2021; Sonone et al., 2020).  
566 O chumbo, por exemplo, pode interferir na resposta imune de peixes, além de  
567 interromper ações de neurotransmissores como descreve Lee et al. (2019). Na revisão de  
568 Boskabady et al. (2018) a exposição de seres humanos ao chumbo pode causar doenças  
569 respiratórias, neurológicas, digestivas, cardiovasculares e urinárias. Nossos dados  
570 demonstram a presença de chumbo somente em amostras de solo nos pontos P2, P3, e  
571 P4, dentro da área da rizicultura, e tais concentrações estavam dentro dos limites

572 permitidos, enquanto em amostras de água e peixes não foi possível detectar  
573 concentrações mínimas.

574 Por fim, concentrações de cobre foram detectadas somente em amostras de solo,  
575 e no ponto P3 em uma amostra de peixe, todas estavam dentro dos parâmetros  
576 adequados quando comparado ao valor referência. Segundo Chao et al. (2021), a  
577 exposição a concentrações elevadas de cobre causou eclosão retardada, batimentos  
578 cardíacos anormais e deformação de embrião de *Danio rerio*.

579 Os peixes coletados nesse estudo possuem hábitos alimentares semelhantes, e  
580 estão presentes em regiões com características de ambiente hostil. As espécies do  
581 gênero *Rivulus* exibem habilidades notáveis para sobreviver fora da água por longos  
582 períodos (Furness et al., 2018). A família Characidae é a mais diversa dentre os peixes  
583 de água doce, o gênero *Moenkhausia* possui espécies de hábitos generalistas que  
584 permitem a sobrevivência em ambientes efêmeros (Oliveira et al., 2021). O gênero  
585 *Apistogramma* (Cichlidae) é amplamente distribuído, comumente utilizado como peixe  
586 ornamental, é facilmente encontrado e de fácil reprodução, sendo muito utilizado em  
587 estudos ambientais, além disso, a presença destes pode ser um indicativo de ambiente  
588 poluído (Agorku et al., 2009; Baroiller and D’Cotta, 2001; Caroline Mendes et al.,  
589 2021; Gonzalez et al., 2002; Rana, 2021).

590 Os valores de rho de Spearman correlacionando os pontos amostrais são  
591 representados na Figura 2. Diante dessa análise, observou-se alta correlação em quase  
592 todos os pontos amostrais, isso pode estar relacionada às características do solo, clima  
593 da região e a escolha dos pontos amostrais. Os solos são em grande parte distróficos,  
594 além disso, a região é composta por campos com poucas manchas de florestas, áreas de  
595 uso agrícola e para agropecuária. No período chuvoso (dezembro a junho) ocorre o  
596 alagamento dos campos facilitando a mobilidade dos metais para outros locais. Ainda, o  
597 limite entre cada ponto amostral foi de aproximadamente 2 Km, o que influencia na alta  
598 correlação entre os pontos de coleta devido à proximidade.



606 No dendrograma é possível observar a formação de dois principais grupos. O  
607 grupo 1 contendo P5, P7, P8 e P9, cujo pontos encontram-se mais distantes do epicentro  
608 da rizicultura, região de maior intensidade agrícola. E o grupo 2, contendo os pontos  
609 P1, P2, P3, P4, P6 e P10, estes, por sua vez, encontram-se dentro da área de maior  
610 intensidade agrícola, com exceção do P10. O ponto amostral P2 apresentou 48% de  
611 similaridade com os pontos P1, P3, P4, P6 e P10, bem como P1 apresentou 27% de  
612 similaridade para P6 e P10, e P3 e P4 apresentaram 19% de similaridade entre si.

613 No grupo 2, observou-se que o ponto P7 apresentou 31% de similaridade com os  
614 pontos P5, P8 e P9, posteriormente P8 apresentou 26% de similaridade com P5 e P9, e  
615 por fim P5 e P9 apresentaram 12% de similaridade entre si. Os parâmetros que levaram  
616 a formação desses agrupamentos foram as concentrações de todos os metais analisados  
617 neste estudo que apresentaram valores aproximados em suas médias. Com isso, tende-se  
618 a concluir que, devido à sua similaridade, não se pode afirmar que esteja havendo uma  
619 contaminação. A princípio, leva-se a crer que as concentrações encontradas são de  
620 ocorrência natural. Para que o estudo seja aprofundado, é necessário realizar coletas de  
621 amostras de arroz e outros alimentos cultivados na região, assim como, amostras de  
622 cabelo dos habitantes, e por fim, a determinação de metais a partir do fracionamento das  
623 amostras de peixes.

624 Portanto, conclui-se que todos os locais onde foram coletadas as amostras  
625 compartilham alguma semelhança em sua composição química com base nas  
626 concentrações dos metais analisados. Os pontos amostrais mais próximos da rizicultura  
627 compartilham maior similaridade comparado a pontos amostrais mais distantes,  
628 indicando uma possível influência da atividade agrícola, bem como evidenciam a  
629 importâncias das características geomorfológicas nos processos de acumulação ou  
630 escoamento dos metais.

631 A partir dos resultados obtidos neste estudo, não foi possível detectar a  
632 existência de contaminação por metais na área de estudo, sendo sugerido o  
633 monitoramento contínuo, em diferentes épocas do ano e outros organismos. Os dados  
634 encontrados nesta pesquisa servirão de ponto inicial para monitoramentos futuros, e  
635 auxiliarão próximas investigações sobre a influência de áreas com atividade agrícola na  
636 contaminação por metais, e nos fornece valores cruciais de teores de diferentes metais  
637 para esta região, servindo de base no monitoramento das condições ambientais, além  
638 auxiliar outros estudos nessa vertente.

639 **REFERÊNCIAS**

- 640 Agorku, E.S., Voegborlo, R.B., Adimado, A.A., 2009. Total mercury levels in nine species of  
641 freshwater fish from two hydroelectric reservoirs and a crater lake in Ghana. *Environ.*  
642 *Monit. Assess.* 153, 383–389. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0365-8>
- 643 Akoglu, H., 2018. User's guide to correlation coefficients. *Turkish J. Emerg. Med.* 18, 91–93.  
644 <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- 645 Ali, H., Khan, E., Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous  
646 heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.* 2019.  
647 <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- 648 Assis, D.M.S., Lima, A.B., Silva, E.R.M., Silva, A.S., Barbosa, I.C.C., 2017. Evaluation of the  
649 Physical and Chemical Parameters of the Water Supply in Different Neighborhoods of the  
650 Municipality of Salvaterra (Marajó Archipelago, PA). *Rev. Virtual Química* 9, 1825–1839.  
651 <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170107>
- 652 Bai, J., Cui, B., Xu, X., Ding, Q., Gao, H., 2009. Heavy Metal Contamination in Riverine Soils  
653 Upstream and Downstream of a Hydroelectric Dam on the Lancang River, China. *Environ.*  
654 *Eng. Sci.* 26, 941–946. <https://doi.org/10.1089/ees.2008.0136>
- 655 Baroiller, J.F., D'Cotta, H., 2001. Environment and sex determination in farmed fish. *Comp.*  
656 *Biochem. Physiol. - C Toxicol. Pharmacol.* 130, 399–409. [https://doi.org/10.1016/S1532-](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00267-8)  
657 [0456\(01\)00267-8](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00267-8)
- 658 Bhatti, S.S., Sambyal, V., Nagpal, A.K., 2018. Analysis of Genotoxicity of Agricultural Soils  
659 and Metal (Fe, Mn, and Zn) Accumulation in Crops. *Int. J. Environ. Res.* 12, 439–449.  
660 <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0103-1>
- 661 Boskabady, M., Marefati, N., Farkhondeh, T., Shakeri, F., Farshbaf, A., Boskabady, M.H.,  
662 2018. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of  
663 inflammatory mechanisms, a review. *Environ. Int.* 120, 404–420.  
664 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>
- 665 Brasil, 2013. Resolução - RDC N° 42, de 29 de agosto de 2013. Agência de Vigilância Sanitária  
666 1–11.
- 667 Brasil, 2009. Resolução N°420, de 28 de Dezembro De 2009 - Dispõe sobre critérios e valores  
668 orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. *Cons. Nac.*  
669 *do Meio Ambient.* 16. <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>
- 670 Brasil, 2005. Resolução CONAMA N° 357, De 17 De Março De 2005\* (Retificada). *Cons.*

671 Nac. do Meio Ambient. 36.

672 Brasil, 1965. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Diário Of. da União.

673 Canham, C.A., Cavalieri, O.Y., Setterfield, S.A., Freestone, F.L., Hutley, L.B., 2020. Effect of  
674 elevated magnesium sulfate on two riparian tree species potentially impacted by mine site  
675 contamination. *Sci. Rep.* 10, 2880. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59390-9>

676 Carmo, C.A., Abessa, D.M. de S., Neto, J.G.M., 2011. Metais em águas, sedimentos e peixes  
677 coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. *O Mundo da Saúde* 35, 64–70.  
678 <https://doi.org/10.15343/0104-7809.20113516470>

679 Caroline Mendes, G., Samuel Ricioli, L., Guillermo-Ferreira, R., 2021. Behavioral repertoire of  
680 biparental care in *Apistogramma trifasciata* (Pisces: Cichlidae). *J. Appl. Ichthyol.* 37, 957–  
681 962. <https://doi.org/10.1111/jai.14226>

682 Chao, S.J., Huang, C.P., Lam, C.C., Hua, L.C., Chang, S.H., Huang, C., 2021. Transformation  
683 of copper oxide nanoparticles as affected by ionic strength and its effects on the toxicity  
684 and bioaccumulation of copper in zebrafish embryo. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 225,  
685 112759. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112759>

686 Coetzee, J.J., Bansal, N., Chirwa, E.M.N., 2020. Chromium in Environment, Its Toxic Effect  
687 from Chromite-Mining and Ferrochrome Industries, and Its Possible Bioremediation.  
688 *Expo. Heal.* 12, 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0284-z>

689 Coppo, G.C., Passos, L.S., Lopes, T.O.M., Pereira, T.M., Merçon, J., Cabral, D.S., Barbosa,  
690 B.V., Caetano, L.S., Kampke, E.H., Chippari-Gomes, A.R., 2018. Genotoxic, biochemical  
691 and bioconcentration effects of manganese on *Oreochromis niloticus* (Cichlidae).  
692 *Ecotoxicology* 27, 1150–1160. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1970-0>

693 Ćwieląg-Drabek, M., Piekut, A., Gut, K., Grabowski, M., 2020. Risk of cadmium, lead and zinc  
694 exposure from consumption of vegetables produced in areas with mining and smelting  
695 past. *Sci. Rep.* 10, 3363. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60386-8>

696 EMBRAPA, 2006. Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para  
697 Análise da Qualidade Ambiental : Solo , Água e Sedimentos Coleta de Amostras em Áreas  
698 Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental : Solo , Água e Sedimentos, 1st ed.  
699 Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna.

700 Freitas, E.P.B. de, Craveiro, R.S., Assunção, J.M.B. de, Lopes, Y.M. dos S., Modesto Junior,  
701 E.N., Souza, R.F. de, 2022. Caracterização físico-química em méis de abelhas produzidos  
702 no município de Cachoeira do Arari – Ilha de Marajó, Pará. *Res. Soc. Dev.* 11,  
703 e34811326532. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26532>

- 704 Furness, A.I., Reznick, D.N., Tatarenkov, A., Avise, J.C., 2018. The evolution of diapause in  
705 *Rivulus* (Laimosemion). *Zool. J. Linn. Soc.* 184, 773–790.  
706 <https://doi.org/10.5061/dryad.8p8t27d>
- 707 Genchi, G., Sinicropi, M.S., Lauria, G., Carocci, A., Catalano, A., 2020. The effects of  
708 cadmium toxicity. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1–24.  
709 <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- 710 Gomes, D.L., As, W.S., Cruz, N.D., Araújo, R. de O., Otaviano, J.J.S., Oliveira, J.D. de, 2021.  
711 Influência dos resíduos sólidos urbanos na distribuição, mobilidade e biodisponibilidade  
712 de metais potencialmente tóxicos no solo do lixão de Imperatriz-MA / Influence of urban  
713 solid waste in the distribution, mobility, and bioavailability of potentially. *Brazilian J.*  
714 *Dev.* 7, 48065–48088. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-282>
- 715 Gomes, D.L., Cruz, B.E.V. da, Calvi, M., Reis, C.C. dos, 2018. EXPANSÃO DO  
716 AGRONEGÓCIO E CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS NA AMAZÔNIA  
717 MARAJÓARA/Expansion of agribusiness and socio-environmental conflicts in the  
718 Brazilian Amazon. *Rev. NERA* 21, 135–161. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i42.5690>
- 719 Gonzalez, R.J., Wilson, R.W., Wood, C.M., Patrick, M.L., Val, A.L., 2002. Diverse strategies  
720 for ion regulation in fish collected from the ion-poor, acidic Rio Negro. *Physiol. Biochem.*  
721 *Zool.* 75, 37–47. <https://doi.org/10.1086/339216>
- 722 Guarda, P.M., Gualberto, L. da S., Mendes, D.B., Guarda, E.A., da Silva, J.E.C., 2020. Analysis  
723 of triazines, triazoles, and benzimidazoles used as pesticides in different environmental  
724 compartments of the Formoso River and their influence on biodiversity in Tocantins. *J.*  
725 *Environ. Sci. Heal. Part B* 55, 783–793. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1784667>
- 726 Guarda, P.M., Rambo, M.K.D., Jaconi, A., Guarda, E.A., Silva, J.E.C. da, 2021. Concentrações  
727 de metais tóxicos em água, solo e sedimento do rio Formoso, TO. *Res. Soc. Dev.* 10,  
728 e177101421897. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21897>
- 729 Hejna, M., Gottardo, D., Baldi, A., Dell’Orto, V., Cheli, F., Zaninelli, M., Rossi, L., 2018.  
730 Review: Nutritional ecology of heavy metals. *Animal* 12, 2156–2170.  
731 <https://doi.org/10.1017/S175173111700355X>
- 732 Hikal, W., 2020. Determination of Iron in some Fish Species from the Red Sea , Duba Coast ,  
733 Tabuk , Saudi Arabia.
- 734 Hou, X., Han, H., Tigabu, M., Li, Q., Li, Z., Zhu, C., Huang, S., Cai, L., Liu, A., 2021. Lead  
735 contamination alters enzyme activities and microbial composition in the rhizosphere soil  
736 of the hyperaccumulator *Pogonatherum crinitum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 207, 111308.

- 737 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111308>
- 738 Hu, Y.C., Tang, Y., Chen, Z.Q., Chen, J.Y., Ding, G.H., 2019. Evaluation of the sensitivity of  
739 *Microhyla fissipes* tadpoles to aqueous cadmium. *Ecotoxicology* 28, 1150–1159.  
740 <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02117-y>
- 741 Huffner, J.G.P., Meirelles, R.S., 2016. Os Reflexos Socioeconômicos e Ambientais do Avanço  
742 da Rizicultura no Município de Cachoeira do Arari - PA. *Geografares* 113–127.  
743 <https://doi.org/10.7147/geo21.11644>
- 744 Jodral-Segado, A.M., Navarro-Alarcón, M., De La Serrana, H.L.-G., López-Martínez, M.C.,  
745 2006. Calcium and Magnesium Levels in Agricultural Soil and Sewage Sludge in an  
746 Industrial Area from Southeastern Spain: Relationship with Plant (*Saccharum officinarum*  
747 ) Disposition. *Soil Sediment Contam. An Int. J.* 15, 367–377.  
748 <https://doi.org/10.1080/15320380600751736>
- 749 Ju, H., Arumugam, P., Lee, J., Song, J.M., 2017. Impact of Environmental Pollutant Cadmium  
750 on the Establishment of a Cancer Stem Cell Population in Breast and Hepatic Cancer. *ACS*  
751 *Omega* 2, 563–572. <https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00181>
- 752 Laurent, C., Bravin, M.N., Crouzet, O., Pelosi, C., Tillard, E., Lecomte, P., Lamy, I., 2020.  
753 Increased soil pH and dissolved organic matter after a decade of organic fertilizer  
754 application mitigates copper and zinc availability despite contamination. *Sci. Total*  
755 *Environ.* 709, 135927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135927>
- 756 Lee, J.W., Choi, H., Hwang, U.K., Kang, J.C., Kang, Y.J., Kim, K. Il, Kim, J.H., 2019. Toxic  
757 effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune  
758 responses in fish: A review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 68, 101–108.  
759 <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>
- 760 Lu, H., Hu, Y., Kang, C., Meng, Q., Lin, Z., 2021. Cadmium-induced toxicity to amphibian  
761 tadpoles might be exacerbated by alkaline not acidic pH level. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*  
762 218, 112288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112288>
- 763 Łuczyńska, J., Paszczyk, B., Łuczyński, M.J., 2018. Fish as a bioindicator of heavy metals  
764 pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for  
765 consumer's health. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 153, 60–67.  
766 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.057>
- 767 Luo, W., Wang, D., Xu, Z., Liao, G., Chen, D., Huang, X., Wang, Y., Yang, S., Zhao, L.,  
768 Huang, H., Li, Y., Wei, W., Long, Y., Du, Z., 2020. Effects of cadmium pollution on the  
769 safety of rice and fish in a rice-fish coculture system. *Environ. Int.* 143, 105898.

770 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105898>

771 Milam, C., Dimas, B., Jang, A., Eneche, J., 2015. Determination of Some Heavy Metals in Vital  
772 Organs of Cows and Bulls at Jimeta Abattoir, Yola, Adamawa State, Nigeria. *Am. Chem.*  
773 *Sci. J.* 8, 1–7. <https://doi.org/10.9734/acsj/2015/17012>

774 Moffett, B.F., Nicholson, F.A., Uwakwe, N.C., Chambers, B.J., Harris, J., Hill, T.C.J., 2003.  
775 Zinc contamination decreases the bacterial diversity of agricultural soil. *FEMS Microbiol.*  
776 *Ecol.* 43, 13–19. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(02\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(02)00448-8)

777 Mortvedt, J.J., Cox, F.R., 1985. Production, Marketing, and Use of Calcium, Magnesium, and  
778 Micronutrient Fertilizers, in: *Fertilizer Technology and Use*. Soil Science Society of  
779 America, Madison, WI, USA, pp. 455–481.  
780 <https://doi.org/10.2136/1985.fertilizertechnology.c12>

781 Ogunfowokan, A.O., Adekunle, A.S., Oyebode, B.A., Oyekunle, J.A.O., Komolafe, A.O.,  
782 Omoniyi-Esan, G.O., 2019. Determination of Heavy Metals in Urine of Patients and  
783 Tissue of Corpses by Atomic Absorption Spectroscopy. *Chem. Africa* 2, 699–712.  
784 <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00073-y>

785 Okoye, E.A., Bocca, B., Ruggieri, F., Ezejiolor, A.N., Nwaogazie, I.L., Domingo, J.L., Rovira,  
786 J., Frazzoli, C., Orisakwe, O.E., 2021. Metal pollution of soil, plants, feed and food in the  
787 Niger Delta, Nigeria: Health risk assessment through meat and fish consumption. *Environ.*  
788 *Res.* 198, 111273. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111273>

789 Oliveira, E., Ignácio, A.R.A., Lázaro, W.L., Muniz, C.C., Campos, D.V.S., Costa, J.V.M.,  
790 Ribeiro, T., Santos-Filho, M., 2021. Feeding aspects of *knodus heteresthes* (Eigenmann,  
791 1908) and *moenkhausia lepidura* (kner, 1858) (characiformes, characidae) in the teles pires  
792 and juruena rivers, southern amazon. *Brazilian J. Biol.* 81, 343–350.  
793 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.226136>

794 Olmedo, P., Hernández, A.F., Pla, A., Femia, P., Navas-Acien, A., Gil, F., 2013. Determination  
795 of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples.  
796 Risk and nutritional assessment and mercury-selenium balance. *Food Chem. Toxicol.* 62,  
797 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.076>

798 Pain, D.J., Mateo, R., Green, R.E., 2019. Effects of lead from ammunition on birds and other  
799 wildlife: A review and update. *Ambio* 48, 935–953. [https://doi.org/10.1007/s13280-019-](https://doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0)  
800 [01159-0](https://doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0)

801 Prasad, S., Yadav, K.K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M.M.S., Rezania, S., Radwan, N.,  
802 Alam, J., 2021. Chromium contamination and effect on environmental health and its

803 remediation: A sustainable approaches. *J. Environ. Manage.* 285, 112174.  
804 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174>

805 Prezotti, L.C., 2013. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Incaper, Vitória, ES.

806 Rana, S., 2021. Review Article Toxicity Induced by Engineered Nanoparticles in Fresh Water.  
807 *EC Pharmacol. Toxicol.* 1–22.

808 Reis, M.M., Santos, L.D.T., Silva, A.J. da, Pinho, G.P. de, Rocha, L.M., 2020. Heavy metals in  
809 soils and forage grasses irrigated with Vieira River water, Montes Claros, Brazil,  
810 contaminated with sewage wastewater. *Ambient. e Agua - An Interdiscip. J. Appl. Sci.* 15,  
811 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2440>

812 Rosborg, I., Kozisek, F., Precautions, S., 2015. Drinking Water Minerals and Mineral Balance,  
813 Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Springer International Publishing, Cham.  
814 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09593-6>

815 Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, G., Rylander, R., 2000. Magnesium in drinking water in  
816 relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology* 11,  
817 416–421. <https://doi.org/10.1097/00001648-200007000-00009>

818 Sachse, B., Kolbaum, A.E., Ziegenhagen, R., Andres, S., Berg, K., Dusemund, B., Hirsch-Ernst,  
819 K.I., Kappenstein, O., Müller, F., Röhl, C., Lindtner, O., Lampen, A., Schäfer, B., 2019.  
820 Dietary Manganese Exposure in the Adult Population in Germany—What Does it Mean in  
821 Relation to Health Risks? *Mol. Nutr. Food Res.* 63, 1–29.  
822 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900065>

823 Santana, G.P., Barroncas, P.S.R., 2007. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e  
824 Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amaz.* 37, 111–118.  
825 <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100013>

826 Sharma, M., Kumar, P., 2020. Biochemical alteration of mustard grown under tin contaminated  
827 soil. *Plant Arch.* 20, 3487–3492.

828 Shifaw, E., 2018. Review of heavy metals pollution in China in agricultural and urban soils. *J.*  
829 *Heal. Pollut.* 8. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.18.180607>

830 Singh, M., Barman, A.S., Devi, A.L., Devi, A.G., Pandey, P.K., 2019. Iron mediated  
831 hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*.  
832 *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 170, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.129>

833 Sonone, S.S., Jadhav, S. V, Sankhla, M.S., Kumar, R., 2020. Water Contamination by Heavy  
834 Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain.

835 Lett. Appl. NanoBioScience 10, 2148–2166.  
836 <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>

837 Suster, D., Michal, Michael, Huang, H., Ronen, S., Springborn, S., Debiec-Rychter, M.,  
838 Billings, S.D., Goldblum, J.R., Rubin, B.P., Michal, Michal, Suster, S., Mackinnon, A.C.,  
839 2020. Myxoinflammatory fibroblastic sarcoma: an immunohistochemical and molecular  
840 genetic study of 73 cases. *Mod. Pathol.* 33, 2520–2533. [https://doi.org/10.1038/s41379-](https://doi.org/10.1038/s41379-020-0580-6)  
841 [020-0580-6](https://doi.org/10.1038/s41379-020-0580-6)

842 Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de métodos de  
843 análise de solo, 3rd ed. Embrapa, Brasília.

844 Teles, E., Marin, R.A., Guimarães, U.S., 2018. Dinâmica da Paisagem no Território Quilombola  
845 entre Rio Arari e Rio Gurupá, Ilha de Marajó, PA. *União Geomorfolgia Bras. - Lsle* 7, 1–  
846 12.

847 Tiecher, T.L., Soriani, H.H., Tiecher, T., Ceretta, C.A., Nicoloso, F.T., Tarouco, C.P., Clasen,  
848 B.E., De Conti, L., Tassinari, A., Melo, G.W.B., Brunetto, G., 2018. The interaction of  
849 high copper and zinc doses in acid soil changes the physiological state and development of  
850 the root system in young grapevines (*Vitis vinifera*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 148, 985–  
851 994. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.074>

852 Tüzen, M., 2003. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic  
853 absorption spectrometry. *Microchem. J.* 74, 289–297. [https://doi.org/10.1016/S0026-](https://doi.org/10.1016/S0026-265X(03)00035-3)  
854 [265X\(03\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0026-265X(03)00035-3)

855 Wang, Y., Wen, A., Guo, J., Shi, Z., Yan, D., 2017. Spatial distribution, sources and ecological  
856 risk assessment of heavy metals in Shenjia River watershed of the Three Gorges Reservoir  
857 Area. *J. Mt. Sci.* 14, 325–335. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-3838-1>

858 Zaitsev, G.A., Dubrovina, O.A., Shainurov, R.I., 2020. Iron and manganese migration in “soil–  
859 plant” system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant’s  
860 emissions. *Sci. Rep.* 10, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68114-y>

861 Zhou, C.Y., Wong, M.K., Koh, L.L., Wee, Y.C., 1997. Soil lead and other metal levels in  
862 industrial, residential and nature reserve areas in Singapore. *Environ. Monit. Assess.*  
863 <https://doi.org/10.1023/A:1005712519751>

864 Zoroddu, M.A., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M., Nurchi, V.M., 2019. The  
865 essential metals for humans: a brief overview. *J. Inorg. Biochem.* 195, 120–129.  
866 <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013>