

Macroelementos em peixes de rios da Amazônia Oriental: estudo de caso na Região de Integração de Carajás

Macroelements in river fish in the eastern Amazon: a case study in the Carajás Integration Region

Pedro Emmanuel Santos Sousa¹
Mônia Maria Carvalho da Silva ²
Deimid Rodrigues da Silva¹
Maria Carolina Sarto Fernandes Rodrigues ¹
João Elias Lopes Fernandes Rodrigues ³
Mauricio Willians de Lima ^{1*}

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, PA, Brasil

² Instituto Evandro Chagas (IEC), Belém, PA, Brasil

³ Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil

* **Correspondência:** mauricio_willians@hotmail.com

Submetido: 16 set 2021 | **Aprovado:** 18 abr 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/acad.2022.20005>

Rev. Acad. Ciênc. Anim. 2022;20:e20005

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar as concentrações de cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) na água e em peixes de rios da Região de Integração de Carajás, Amazônia Oriental. As coletas foram realizadas entre maio e junho de 2015, nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá, no estado do Pará. Foram selecionadas 14 áreas para a obtenção de amostras de água e exemplares de peixes, totalizando 53 exemplares. A quantificação dos teores de Ca, K, Mg e Na foi obtida por espectrometria de emissão óptica de plasma acoplada indutivamente (ICP-OES). As correlações de Spearman foram calculadas entre o conjunto de macroelementos presentes nas águas superficiais e

no músculo das espécies de peixe. Houve grande variabilidade nas concentrações dos macroelementos das águas superficiais das áreas analisadas. Nos peixes, as concentrações médias de Ca (mg kg^{-1}) foram: piau (4498,77) > curimatã (3281,17) > tambaqui (2826,74) > acará (2405,15) > piranha (2385,65). As concentrações de K (mg kg^{-1}) foram: piranha (15953,6) > piau (15239,6) > curimatã (13393,3) > tambaqui (13069,2) > acará (11593,9). O Mg (mg kg^{-1}) foi de: piau (1256,96) > piranha (1109,59) > acará (1102,58) > curimatã (1036,87) > tambaqui (1007,07). O Na (mg kg^{-1}) foi de: piau (2998,06) > tambaqui (2820,95) > piranha (2747,43) > acará (2711,95) > curimatã (2125,17). O rio Parauapebas possui concentrações mais elevadas de Ca, K, Mg e Na comparadas àquelas encontradas nos rios Igarapé Gelado e Tapirapé. Os peixes analisados absorveram níveis diferentes de macroelementos, na ordem de $\text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ para todas as espécies analisadas. Sob mesma condição de habitat, o piau apresentou maior capacidade de absorver Ca, K, Na e Mg da água comparado ao curimatã. As concentrações de Ca no músculo dos peixes são influenciadas significativamente pelas concentrações de Ca na água dos rios.

Palavras-chave: Bioacumulação. Elementos-traço. Íons na água. Sudeste do Pará.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the levels of calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) and magnesium (Mg) in the water and fish from rivers in the Carajás Integration Region, in the Eastern Amazon. The collections were carried out from May to June 2015, in the municipalities of Parauapebas, Canaã dos Carajás and Marabá, state of Pará. Fourteen areas were selected to obtain water samples and fish specimens, totaling 53 specimens. The quantification of Ca, K, Mg and Na contents were obtained using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Spearman correlations were calculated between the set of macro-elements in surface waters waters in the analyzed areas. Mean levels of Ca (mg kg⁻¹) were: piaus (4498,77) > curimatã (3281,17) > tambaqui (2826,74) > acará (2405,15) > piranha (2385,65). K levels (mg kg⁻¹) were observed in the following order: piranhas (15953,6) > piaus (15239,6) > curimatã (13393,3) > tambaqui (13069,2) > acará (11593,9). Mg levels (mg kg⁻¹) were: piaus (1256,96) > piranhas (1109,59) > acará (1102,58) > curimatã (1036,87) > tambaqui (1007,07). Na levels (mg kg⁻¹) were: piaus (2998,06) > tambaqui (2820,95) > piranha (2747,43) > acará (2711,95) > curimatã (2125,17). The Parauapebas river showed higher concentrations of Ca, K, Mg and Na in comparison to the Igarapé Gelado and Tapirapé rivers. The analyzed fish absorbed different levels of macro-elements in the order of K > Ca > Na > Mg for all analyzed species. In the same habitat conditions, piau showed greater capacity to absorb Ca, K, Na and Mg from the water in comparison to curimatã. Levels of Ca in fish muscle are significantly influenced by the levels of Ca in river water.

Keywords: Bioaccumulation. Trace elements. Ions in water. Southeast Pará.

Introdução

Nas últimas décadas, com o desenvolvimento tecnológico e industrial, aumento do crescimento demográfico e, por conseguinte, da demanda por recursos naturais pela sociedade, as mudanças ambientais se agravaram, ocasionando diversas alterações de segunda natureza no meio ambiente (Rodrigues et al., 2021).

No caso da Amazônia, as condições climáticas, incluindo chuvas torrenciais e altas temperaturas, favorecem o transporte, deposição e acúmulo de elementos metálicos (Souza et al., 2017; Teixeira et al., 2019; Pereira et al., 2020). Uma vez transportados e lançados nos cursos d'água, o tempo de permanência desses elementos pode ser mais ou menos prolongado conforme o balanço entre as forças de adsorção e dessorção (Yacoub et al., 2014). Desta forma, podem acumular-se na água de rios, em sedimentos, solo e cadeias alimentares aquáticas (Ventura-Lima et al., 2011).

Em ecossistemas aquáticos, os peixes ocupam o nível mais alto da cadeia alimentar. Devido ao processo de bioacumulação e biomagnificação durante o seu ciclo de vida, é possível que os teores de elementos nos tecidos sejam muito maiores do que os encontrados no ambiente (Liu et al., 2018). De acordo com Cruz et al. (2015), organismos aquáticos possuem alta capacidade de acumular elementos-traço através de seu metabolismo, principalmente pelo consumo de água, comida e sedimento.

Apesar da importância para funções biológicas e nutricionais, estudos avaliando as concentrações de macroelementos como cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) em águas e peixes ainda são pouco difundidos, principalmente na região amazônica. Por outro lado, estudos voltados para esses grupos de elementos são importantes para marcação (*background*) de uma condição "natural", principalmente para compreender a distribuição e magnitude de absorção de macroelementos por diferentes espécies de peixes em regiões ferruginosas. A determinação das concentrações de macrominerais na água e em peixes na região amazônica pode auxiliar na elucidação da dinâmica desses elementos no meio aquático e sua interação com os organismos que habitam esses ambientes, sendo esta uma área de difícil acesso e condições geológicas diferentes de outras regiões do Brasil.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar as concentrações de Ca, K, Na e Mg na água e nos peixes de rios da Região de Integração de Carajás, Amazônia Oriental. O estudo é importante para compreender-se a interação entre esses elementos na biota e ambiente de regiões ferruginosas, pois são locais que apresentam características geológicas e dinâmica geoquímica peculiares quando comparados a outras regiões. Além disso, os resultados podem

ser importantes para ações de monitoramento futuro e criação de um banco de dados para as espécies analisadas.

Material e métodos

A área de estudo está localizada na Região de Integração de Carajás, sudeste do estado do Pará. A região é marcada por terrenos montanhosos, com área de aproximadamente 120 mil km² (Paradella e Cheng, 2013) e clima caracterizado como tropical quente e úmido, tipo Aw, definido por Köppen (Alvares et al., 2013). Possui alta precipitação anual e um período claramente definido de seca, com precipitação de 2,03 mm e temperaturas mensais entre 25,1 e 26,3 °C (Viana et al., 2016).

Os principais cursos hídricos que banham os municípios de Canaã dos Carajás, Parauapebas e Marabá são as bacias dos rios Parauapebas e Itacaiúnas, além de outros rios de menor expressividade em termos de extensão, como o Igarapé Gelado e Tapirapé (Lima, 2019). Oriundo da região montanhosa de Carajás, o Igarapé Gelado é um afluente do rio Parauapebas, muito utilizado para recreação e pesca. De acordo com Lima (2019), este rio está inserido em sua maior parte na Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, criada pelo Decreto 97.718, de 5 de maio de 1989 (Brasil, 1989), com o objetivo de promover "a salvaguarda da biota nativa, para garantia das espécies, proteção dos habitats das espécies raras, endêmicas, em perigo e ameaçadas de extinção".

O Parauapebas é outro afluente importante do Itacaiúnas. Além de servir como fonte de recreação e pesca (Lima, 2019), o fornecimento de água para a cidade de Parauapebas, com uma população de aproximadamente 202.882 habitantes (IBGE, 2018), ocorre quase que totalmente pelo abastecimento deste rio. A microbacia do Tapirapé também é um tributário do rio Itacaiúnas e encontra-se a oeste deste, margeando a Reserva Biológica do Tapirapé (ReBio), no município de Marabá. Segundo Lima (2019), esta unidade de conservação possui restrições de uso em decorrência de sua utilização estar reservada para a proteção da fauna e flora amazônica.

As coletas foram realizadas entre maio e junho de 2015, nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá. Foram selecionadas 14 áreas (Figura 1) para a obtenção de amostras de água e

exemplares de peixes, totalizando 53 exemplares. Por se localizarem em unidades de conservação, as coletas foram previamente autorizadas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão responsável pela gestão local.

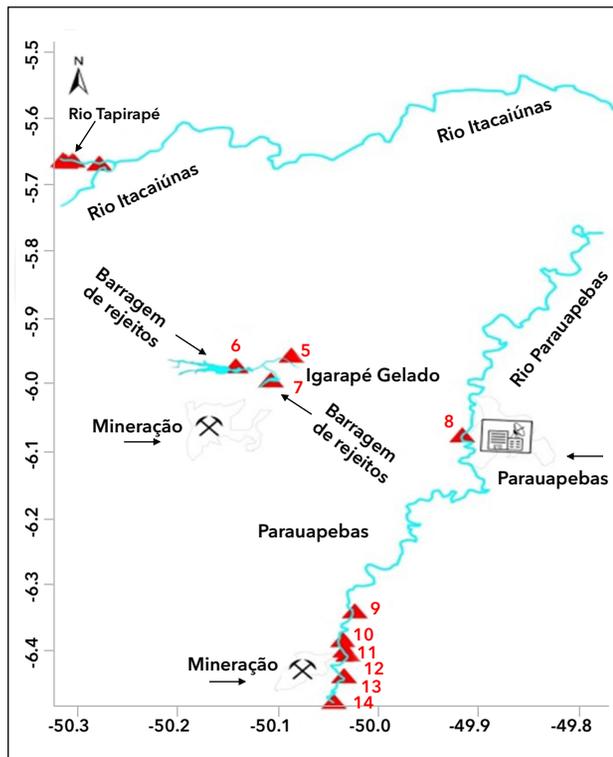


Figura 1 - Mapa de localização das coletas dos peixes e da água na Província Mineral de Carajás.

A captura dos peixes foi realizada por meio de artes de pesca, tais como redes de emalhe, linha e anzol. Foram selecionadas cinco espécies de peixes (Tabela 1), sendo: *Geophagus* sp., no rio Igarapé Gelado (pontos: 6 - 7); *Colossoma macropomum*, de um cultivo artificial que era abastecido pela água do Igarapé Gelado (ponto: 5); *Megaleporinus trifasciatus* e *Curimata cyprinoides*, do rio Parauapebas (pontos: 8 - 14); *Serrasalmus eigenmanni*, da microbacia do rio Tapirapé (pontos: 1 - 4).

Após a captura dos peixes, variáveis biométricas (peso e comprimento) foram obtidas com o uso de paquímetro. Em seguida, os peixes foram armazenados individualmente em sacos de polietileno esterilizados. Os exemplares foram separados conforme a espécie, hábito alimentar e área de coleta, e acondicionados em gelo.

Tabela 1 - Taxonomia das espécies de peixes, número de indivíduos (Nº) capturados, local de captura e hábito alimentar

Família/Nome científico	Nome comum	Local de coleta	Nº	Nível trófico
Anostomidae/ <i>Megaleporinus trifasciatus</i>	Piau	Rio Parauapebas	10	Onívoro e planctófago ¹
Cichlidae/ <i>Geophagus</i> sp.	Acará	Rio Igarapé Gelado	13	Detritívoro, onívoro, iliófago e bentófago ²
Curimatidae/ <i>Curimata cyprinoidea</i>	Curimatá	Rio Parauapebas	13	Onívoro e planctófago ³
Serrasalmidae/ <i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	Área de cultivo	12	Onívoro e planctófago ⁴
Serrasalmidae/ <i>Serrasalmus eigenmanni</i>	Piranha	Rio Tapirapé	5	Carnívoro ⁵

Nota: ¹Santos (1982); ²Nunes (2012); ³Vari (2003); ⁴Arantes (2014); ⁵Dórea et al. (2004).

Os peixes foram dissecados com bisturi no Laboratório de Toxicologia da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), separando-se as partes comestíveis para a análise de macroelementos. Os tecidos musculares extraídos foram secados em estufa a 50 °C e pulverizados. Para a digestão, pesou-se 0,10 g de cada tecido e foram adicionados 3 ml de HNO₃, 1,0 ml de HCl e 1,0 ml de H₂O₂; a digestão foi efetuada em sistema fechado, por radiação de microondas (MARSXpres, CEM Corporation, Matthews, NC, USA), em rampas de 100, 150, 200 e 150 °C. A quantificação dos teores Ca, K, Mg e Na foi obtida por espectrometria de emissão óptica de plasma acoplada indutivamente (ICP-OES), com leituras realizadas em triplicata (ASTM, 1985).

Realizaram-se estatística descritiva e confecção de *box-plot*. Aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e realizou-se estatística descritiva dos dados. As correlações de Spearman foram calculadas entre o conjunto de macroelementos presentes nas águas superficiais e nos músculos das espécies de peixe. O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. A correlação pode ser classificada como: muito fraca (r = 0,00 a 0,19), fraca (r = 0,20 a 0,39), moderada (r = 0,40 a 0,69), forte (r = 0,70 a 0,89) ou muito forte (r = 0,90 a 1,00). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software PAST.

Resultados

Houve grande variabilidade nas concentrações dos macroelementos nas águas superficiais das áreas analisadas. Os resultados do coeficiente de variação indicam que os valores de Na, K, Mg

e Ca apresentaram grande oscilação nos locais de amostragem. O rio Parauapebas apresentou concentrações mais elevadas de Ca, K, Mg e Na comparadas às concentrações desses mesmos elementos nos rios Igarapé Gelado e Tapirapé (Tabela 2 e Figura 2).

Em relação à biota, também houve variação nas concentrações de Ca, K, Na e Mg nas espécies analisadas. O peixes piau e acará foram os que apresentaram concentrações máximas mais elevadas dos elementos investigados. A média dos teores de Ca para tambaquis e curimatãs foi mais elevada do que para acarás, e os teores de K foram mais elevados em piranhas (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 2 - Análise descritiva da concentração dos macroelementos (mg L⁻¹) nas águas superficiais coletadas

Elementos	Ca	K	Mg	Na
Mínimo	0,97	0,20	0,52	0,37
Máximo	9,82	2,63	5,24	10,44
Média	5,00	1,31	2,00	3,93
EP	0,81	0,20	0,35	0,85
Variância	9,22	0,57	1,74	10,34
DP	3,03	0,75	1,31	3,21
Mediana	3,53	1,21	1,52	2,96
25 percentil	3,24	0,64	1,26	1,24
75 percentil	8,84	2,10	3,09	7,11
CV (%)	60,71	57,50	65,93	81,65

Nota: Ca = cálcio; K = potássio; Mg = magnésio; Na = sódio; EP = erro padrão; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação. As coletas foram realizadas na Província Mineral Carajás

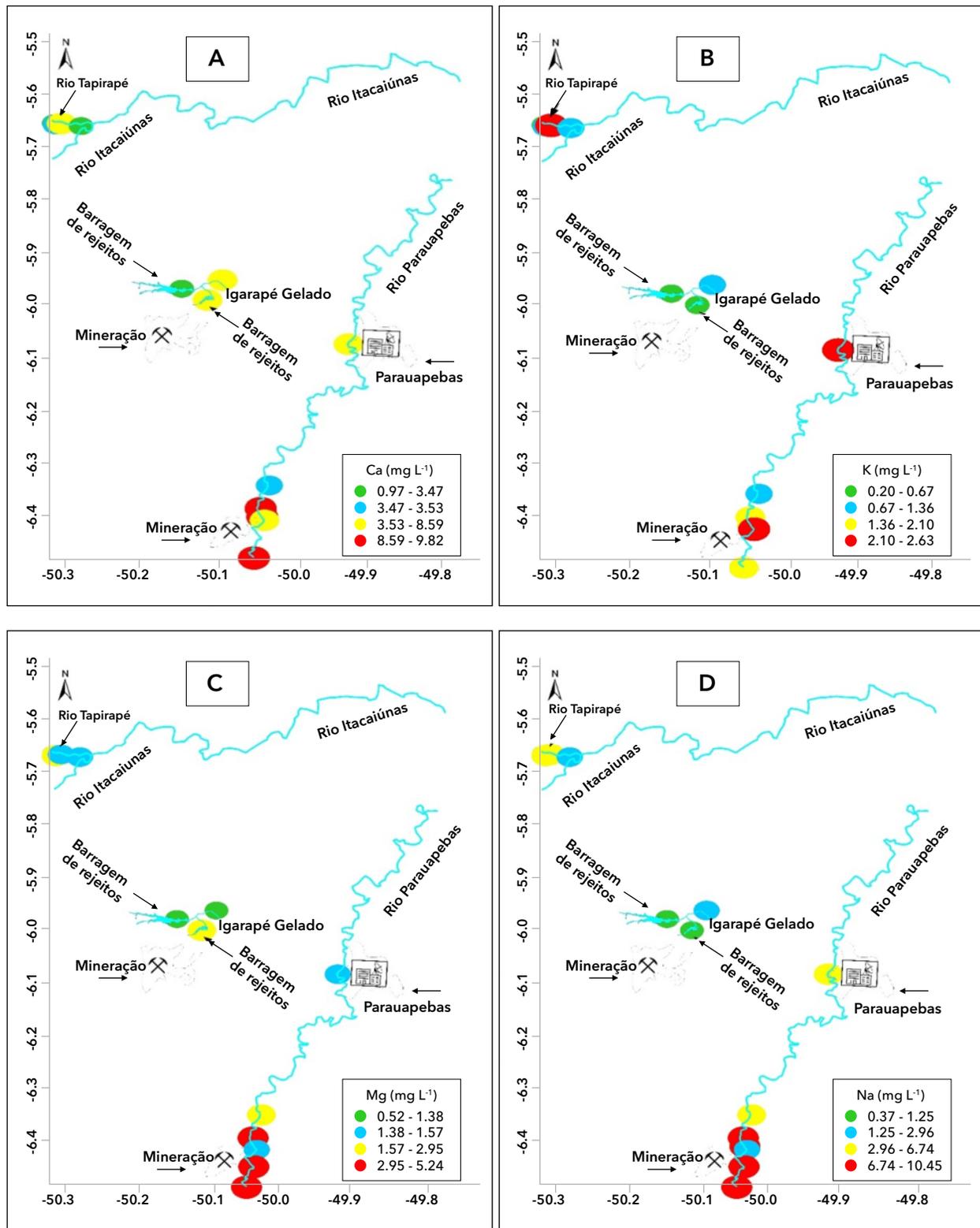


Figura 2 - Concentração de cálcio (A), potássio (B), magnésio (C) e sódio (D) nas águas superficiais das áreas de coleta.

Tabela 3 - Concentrações médias, desvio padrão e média total dos elementos nos músculos de peixes

Elementos (mg/kg ⁻¹)		Tambaqui	Piau	Curimatã	Acará	Piranha
Ca	Média	2826,74	4498,77	3281,17	2405,15	2385,65
	DP	1967,43	3567,77	1893,22	1304,95	823,73
	CV (%)	69,60	78,02	54,25	54,26	34,53
K	Média	13069,20	15239,6	13393,3	11593,90	15953,60
	DP	4593,80	4983,82	4438,95	4923,65	1876,23
	CV (%)	35,15	13,51	20,49	42,47	11,76
Mg	Média	1007,07	1256,96	1036,87	1102,58	1109,59
	DP	189,87	411,20	356,65	368,94	150,20
	CV (%)	18,85	13,95	22,85	33,46	13,54
Na	Média	2820,95	2998,06	2125,17	2711,95	2747,43
	DP	515,57	1130,75	880,06	745,17	324,40
	CV (%)	18,28	27,12	35,41	27,48	11,81

Nota: Ca = cálcio; K = potássio; Mg = magnésio; Na = sódio; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

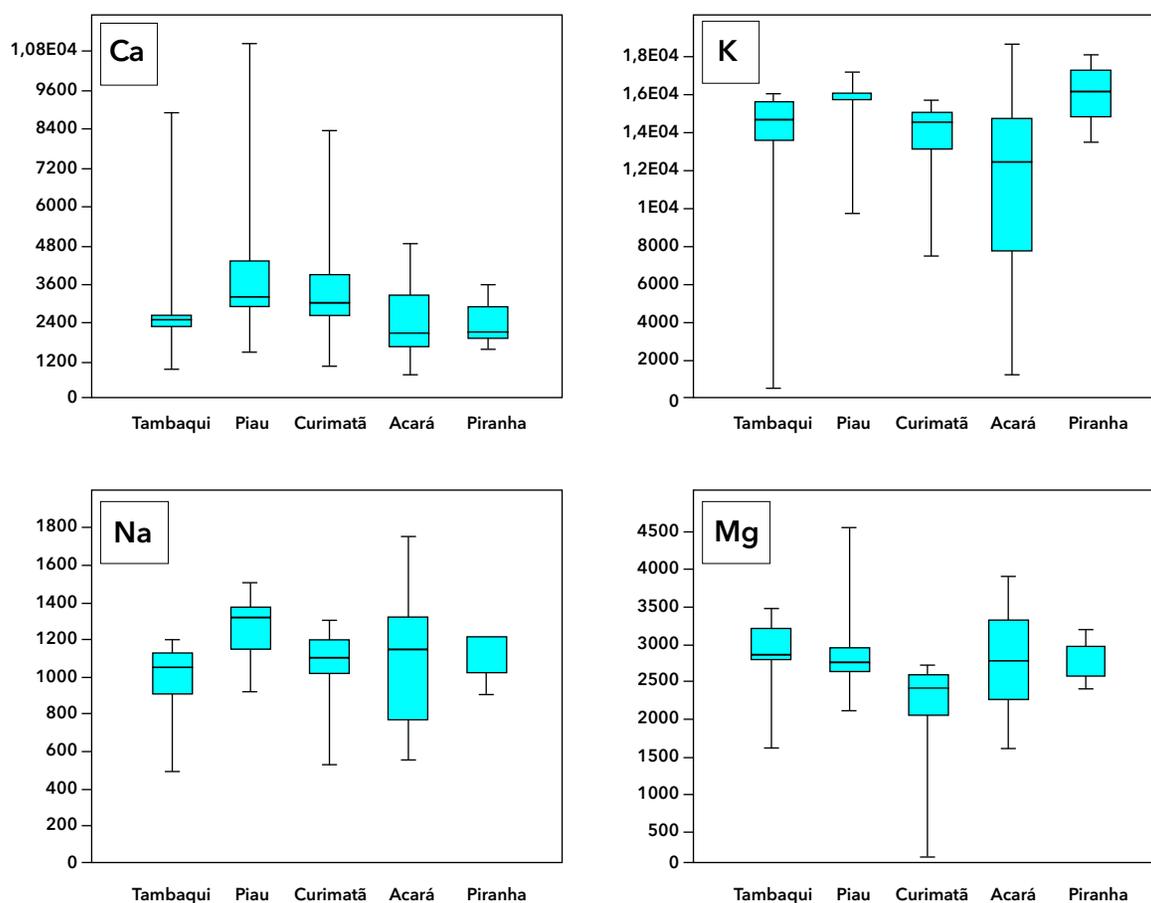


Figura 3 - Variação da concentração (mg kg⁻¹) de cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) em peixes (tambaqui, piau, curimatã, acará e piranha) das áreas analisadas.

O coeficiente de variação de Ca indica que houve uma maior oscilação em piaus (72,02%) e tambaquis (69,60%). Para o K houve maior oscilação em acarás (42,47%) e tambaquis (35,15%), enquanto que para o Mg foi em acarás (33,46%) e curimatãs (28,85%). Em relação ao N, os maiores coeficientes de variação foram constatados em curimatãs (35,41%) e acarás (28,85%).

As concentrações médias (mg kg⁻¹) foram mais elevadas na seguinte ordem: Ca: piaus (4498,77) > curimatã (3281,17) > tambaqui (2826,74) > acará (2405,15) > piranha (2385,65); K: piranha (15953,6) > piaus (15239,6) > curimatã (13393,3) > tambaqui (13069,2) > acará (11593,9); Mg: piaus (1256,96)

> piranha (1109,59) > acará (1102,58) > curimatã (1036,87) > tambaqui (1007,07); Na: piaus (2998,06) > tambaqui (2820,95) > piranha (2747,43) > acará (2711,95) e curimatã (2125,17).

A análise de correlação evidenciou correlações significativas entre as concentrações de macrominerais no músculo dos peixes e concentrações na água dos rios. Houve correlação muito forte e positiva entre K e Na na água; por outro lado, moderada entre Ca e Mg (0,68). Em relação à água e biota, houve correlação forte e positiva entre o Ca nos peixes e as concentrações de Ca na água (0,87), e moderada entre Ca nos peixes e K (0,67) e Na (0,67) na água. As demais correlações foram fracas (Tabela 4).

Tabela 4 - Correlação entre os macrominerais na água e no músculo das espécies de peixes

	Ca-P ¹	K-P ¹	Mg-P ¹	Na-P ¹	Ca-A ²	K-A ²	Mg-A ²	Na-A ²
Ca-P ¹	-	-0,10	0,00	0,10	0,87	0,67	0,56	0,67
K-P ¹	-0,10	-	0,60	0,50	0,21	0,41	0,21	0,41
Mg-P ¹	0,00	0,60*	-	0,40	-0,10	0,10	0,21	0,10
Na-P ¹	0,10	0,50	0,40*	-	0,05	-0,15	-0,46	-0,15
Ca-A ²	0,87*	0,21	-0,10	0,05	-	0,89	0,68	0,89
K-A ²	0,67*	0,41	0,10	-0,15	0,89	-	0,89	1,00
Mg-A ²	0,56	0,21	0,21	-0,46	0,68*	0,89	-	0,89
Na-A ²	0,67*	0,41	0,10	-0,15	0,89	1,00*	0,89	-

Nota: Ca = cálcio; K = potássio; Mg = magnésio; Na = sódio; P¹ = peixe; A² = água. *Correlações significativas.

Discussão

A legislação nacional não menciona valores máximos e mínimos para a concentração de macrominerais em águas de rios. Os elementos que apresentaram maiores médias foram o Ca e Na nas águas do rio Parauapebas, enquanto K e Mg apresentaram as menores médias no Igarapé Gelado. O Ca e Mg são cátions frequentemente associados à dureza das águas e, em menor escala, ferro (Fe), manganês (Mn), estrôncio (Sr) e alumínio (Al) (Brasil, 2006; Dietrich, 2015). As principais fontes de dureza são a dissolução de minerais contendo Ca e Mg, exemplificando as rochas calcárias e os despejos industriais (Von Sperling, 2007). O K é um elemento que está em baixas concentrações nas águas naturais, sendo a lixiviação das rochas a sua principal fonte natural (Aguilar et al., 2017). De acordo com Alfaro

(2014), o K é um dos poucos compostos encontrados naturalmente em corpos d'água. Concentrações elevadas de K são principalmente encontradas em águas residuais (Monaco, 2011). O Na é um dos elementos encontrados em maior abundância na Terra, sendo solúvel em água (Lucas et al., 2014). As concentrações de Na em águas superficiais variam consideravelmente por fatores como a geologia do local, as descargas de efluentes, o uso sazonal de sais nas rodovias e o uso de fertilizantes na agricultura (CETESB, 2012).

O aumento de Ca, K, Mg e Na na água decorre principalmente da ação de lixiviação do solo, provocada pela chuva, carreando esses elementos ao ambiente aquático (Santos et al., 2009). A incidência de chuvas durante o período compreendido do estudo alaga as áreas de floresta nativa, adjacentes aos rios e naturalmente ricas em depósitos minerais,

e pode arrastar elementos para o ambiente aquático. Isso pode ter contribuído para o aporte dos elementos nos rios estudados.

Avaliando as concentrações de Ca, Mg e K em rios da região de Santarém/PA, Pantoja (2015) obteve concentrações mais elevadas de Mg (5 a 13 mg/L⁻¹) e Ca (10 a 30 mg/L⁻¹) do que as verificadas no presente estudo (0,52 a 5,24 mg/L⁻¹ e 0,97 a 9,82 mg/L⁻¹, respectivamente). Por outro lado, as concentrações de K (0,2 a 2,63 mg/L⁻¹) foram ligeiramente próximas às concentrações verificadas por esses autores (1,4 a 1,6 mg/L⁻¹). Portanto, mesmo encontrando-se em região naturalmente enriquecida por depósitos minerais, as concentrações dos elementos analisados foram inferiores aos de outros rios do sudeste do Pará.

Nos rios analisados, as menores concentrações de Ca foram verificadas no Tapirapé e Igarapé Gelado, locais onde as espécies de piranhas e acarás foram capturadas, respectivamente. Isso explica as menores concentrações de Ca nessas espécies. Em ambientes aquáticos os peixes absorvem Ca através das guelras, ao longo do epitélio intestinal, juntamente aos rins, atuando na regulação da concentração osmótica. Os peixes ósseos apresentam vantagem em armazenar Ca em seu tecido esquelético em relação aos cartilagosos, pois a água salgada é pobre nesse elemento, facilitando a migração dos teleósteos para o mar e dificultando a entrada de elasmobrânquios nas águas interiores (Allen et al., 2009). O Ca está entre os elementos mais importantes para as funções biológicas, sendo fundamental para diversos processos biológicos e atuando em funções metabólicas no crescimento e desenvolvimento normal de um organismo (Chekri et al., 2012).

O K apresentou maiores concentrações nos rios Tapirapé e Parauapebas, onde foram capturadas as espécies de piranha e piau, respectivamente. As concentrações de K verificadas nessas espécies podem estar associadas às concentrações encontradas nas águas. A concentração de Mg no tecido muscular dos peixes capturados foi maior em piau, porém ligeiramente superior às concentrações verificadas em acarás e piranhas. Assim como verificado para o K, as concentrações de Mg foram mais elevadas em peixes do rio Parauapebas. O Mg é considerado um elemento essencial para os organismos vivos, assim como para os peixes, detendo papel fundamental em funções fisiológicas dos vertebrados (Schreuder et al., 1991).

O piau foi a espécie que apresentou concentrações médias mais elevadas de Na. A capacidade dos piau em absorver Na da água é maior do que a dos curimatãs, visto que as duas espécies foram capturadas no rio Parauapebas. Além disso, nos locais de captura do piau, houve maior concentração desse elemento na água. Quando o Na está mais elevado no peixe ou na água, o organismo possui facilidade de regular seu equilíbrio iônico através das brânquias. Os peixes de água doce possuem cerca de 9 g de sal/litro ou 0,9% de sal, semelhante à quantidade em soro fisiológico, onde o íon de sódio (Na⁺) representa cerca de 75 a 85% dos sais presentes no sangue dos peixes (Kubitza, 2007).

Em estudo de Teles et al. (2008), em áreas sob impacto ambiental, as espécies papa-terra (*Prochilodus nigricans*), branquinha (*Steindachnerina amazonica*), pacu (*Myleus torquatus*), bico-de-pato (*Sorubim lima*) e pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) apresentaram concentrações médias ligeiramente superiores às verificadas no presente estudo para Ca (4155,02 mg kg⁻¹), K (16926,95 mg kg⁻¹), Mg (1248,75 mg kg⁻¹) e Na (3118,88 mg kg⁻¹).

A análise estatística revelou associação muito forte e positiva entre K e Na na água. O Na se solubiliza facilmente em água, portanto, grandes quantidades deste elemento são encontradas no ambiente aquático (Casali, 2010). Por ser um elemento ativo e alcalino, pode ser encontrado geralmente em forma combinada na natureza (DeZuane, 1997). Se o K estiver associado ao Na em grandes concentrações, eles podem conferir um grau de salinização às águas (Guardazi, 2018) e ter efeito sobre o balanço osmótico dos organismos aquáticos. A correlação moderada entre Ca e Mg (0,68) pode estar associada à presença de bicarbonatos de Ca e Mg ou nitratos de Ca e Mg, uma vez que são constituintes da dureza temporária e permanente das águas, respectivamente (Funasa, 2009). Verificou-se também que as concentrações de Ca no músculo dos peixes foram influenciadas significativamente pelas concentrações de Ca na água dos rios. A absorção de minerais da água pelos peixes varia em função da espécie e de alguns fatores ambientais, como o nível de concentração dos minerais, temperatura e pH da água (Miranda et al., 2000). O contato direto com a água, tempo de residência, migração e alimentação podem ter contribuído para a absorção de Ca.

Conclusão

Os rios analisados possuem variação nas concentrações de macrossubstâncias. O rio Parauapebas possui concentrações mais elevadas de Ca, K, Mg e Na quando comparado aos rios Igarapé Gelado e Tapirapé. Os peixes analisados absorveram níveis diferentes de macrossubstâncias, na ordem de $K > Ca > Na > Mg$ para todas as espécies analisadas. Sob mesma condição, o piau apresentou maior capacidade de absorver Ca, K, Na e Mg da água comparado ao curimatã.

As concentrações de Ca nos músculos dos peixes são influenciadas significativamente pelas concentrações de Ca na água dos rios. Os resultados encontrados constituem uma importante ferramenta para desenvolvimento de banco de dados sobre macrossubstâncias em rios e peixes de regiões ferruginosas, assegurando condições que visem garantir a qualidade do meio ambiente e a implementação de futuras pesquisas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, ao LETAM, LABMIN e Laboratório de Toxicologia do Instituto Evandro Chagas pelo suporte.

Referências

Alfaro JDB. Determinación de cationes en agua potable del cantón de Grecia, Costa Rica por absorción atómica. *InterSedes*. 2014;15(30):95-106.

Allen PJ, Webb MA, Cureton E, Bruch RM, Barth CC, Peake SJ, et al. Calcium regulation in wild populations of a freshwater cartilaginous fish, the lake sturgeon *Acipenser fulvescens*. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2009;154(4):437-50.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift*. 2013;22(6):711-28.

Arantes ML. Conhecimento ecológico local e distribuição espacial de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em lagos de várzea na RDS Piagaçu-Purus, Amazonas [dissertação]. Manaus: Instituto de Pesquisas da Amazônia; 2014. 100 p.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Preparation of biological samples for inorganic chemical analysis. *Annual Book of ASTM Standards*. 1985;19:740-7.

Brasil. Decreto nº 97.718, de 5 de maio de 1989. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, no Estado do Pará. Brasília: Diário Oficial da União; 8 maio 1989.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde; 2006. 212 p.

Casali CA. Qualidade da Água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2008. 173 p.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2012 [acesso 20 out 2021]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>

Chekri R, Noël L, Millour S, Vastel C, Kadar A, Sirot V, et al. Calcium, magnesium, sodium and potassium levels in foodstuffs from the second French Total Diet Study. *J Food Compos Anal*. 2012;25(2):97-107.

Cruz AS, Pereira Jr JB, Carvalho FIM, Nunes PO, Alves BSF, Palheta DC, et al. Estudo da distribuição de metais em tecidos de peixes da região amazônica. *Rev Virtual Quim*. 2015;7(6):1935-51.

DeZuane J. *Handbook of drinking water quality*. New York: John Wiley & Sons; 1997. 592 p.

Dietrich AM. EPA Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability. Denver: Water Research Foundation; 2015. 69 p.

Dórea JG, Barbosa AC, Souza J, Fadini P, Jardim WF. Piranhas (*Serrasalmus* spp.) as markers of mercury bioaccumulation in Amazonian ecosystems. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2004;59(1):57-63.

- Funasa - Fundação Nacional da Saúde. Manual prático de análise de água. 3 ed rev. Brasília: Funasa; 2009. 144 p.
- Guardezi JS. Análise de cálcio, potássio e sódio em águas naturais: sistema potenciométrico de multisensores [dissertação]. Bragança, Portugal: Escola Superior Agrária de Bragança/ Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2018. 54 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População estimada no censo de 2018 [acesso 3 mai 2019]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/parauapebas/panorama>
- Kubitza F. A versatilidade do sal na piscicultura. *Pan Aquic*. 2007;17(103):14-23.
- Lima MW. Elementos potencialmente tóxicos em solos, sedimentos, água e peixes da província Mineral de Carajás, sudeste do craton amazônico [tese]. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia; 2019. 91 p.
- Liu M, Chen L, He Y, Baumann Z, Mason RP, Shen H, et al. Impacts of farmed fish consumption and food trade on methylmercury exposure in China. *Environ Int*. 2018;120:333-44.
- Lucas AAT, Moura ASA, Netto AOA, Faccioli GG, Sousa IF. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. *Rev Bras Agric Irr*. 2014;8(2):98-105.
- Miranda EC, Pezzato AC, Pezzato LE, Graner CF, Rosa GJ, Pinto LGQ. Relação cálcio/fósforo disponível em rações para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev Bras Zootec*. 2000;29(6):2162-71.
- Monaco PA, Matos AT, Silva NCL, Lima CR, Moreira RM. Estimativa da concentração de potássio a partir da condutividade elétrica em água residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. Universidade Federal de Viçosa; 2011.
- Nunes MV. Interações tróficas entre a espécie *Geophagus brasiliensis* e a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em reservatórios de diferentes graus de trofia [dissertação]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2012. 113 p.
- Pantoja FLS. Análise da concentração de nutrientes em trechos de rios de duas bacias hidrográficas com diferentes coberturas vegetais na meso região de Santarém-PA [dissertação]. Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará; 2015. 109 p.
- Paradella WR, Cheng P. Using GeoEye-1 stereo data in mining applications: automatic DEM generation. *Geoinformatics*. 2013; 16:10-2.
- Pereira WVDS, Teixeira RA, Souza ES, Moraes ALF, Campos WEO, Amarante CBD, et al. Chemical fractionation and bioaccessibility of potentially toxic elements in area of artisanal gold mining in the Amazon. *J Environ Manage*. 2020;267:110644.
- Rodrigues NB, Vieira FA, Mendes LD. Elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos como geoindicadores de mudanças ambientais antropogênicas em sistema fluvial da Baixada Fluminense. *Rev Depto Geogr*. 2021;41(2021):e171126.
- Santos GM. Caracterização, hábitos alimentares e reprodutivos de quatro espécies de "aracus" e considerações ecológicas sobre o grupo no lago Janauacá-AM (Osteichthyes, Characoidei, Anostomidae). *Acta Amaz*. 1982;12(4):713-39.
- Santos JS, Santos MJS, Santos MLP. Parâmetros indicativos do processo de salinização em rios urbanos do semi-árido brasileiro. *Quim Nova*. 2009;32(6):1534-8.
- Schreuder JJ, Biervliet JD, van der Velde ET, ten Have K, van Dijk AD, Meyne NG, Baan J. Systolic and diastolic pressure-volume relationships during cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1991;5(6):539-45.
- Souza ES, Teixeira RA, Costa HSC, Oliveira FJ, Melo LCA, Faial KCF, et al. Assessment of risk to human health from simultaneous exposure to multiple contaminants in an artisanal gold mine in Serra Pelada, Pará, Brazil. *Sci Total Environ*. 2017;576: 683-95.
- Teixeira RA, Souza ES, Lima MW, Dias YN, Pereira WVS, Fernandes AR. Index of geoaccumulation and spatial distribution of potentially toxic elements in the Serra Pelada gold mine. *J Soils Sediments*. 2019;19(7):2934-45.
- Teles LT, Zara LF, Rego e Furlanetto UL, Silva Jr NJ. Elementos traço em peixes de interesse comercial do rio Caiapó (Goiás, Brasil) em área sob impacto ambiental. *Estudos*. 2008;35 (11/12):1055-67.
- Vari RP. Family Curimatidae (*Toothless characiformes*). In: Reis RE, Kullander SO, Kullander SO, Ferraris CJ, editores. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS; 2003. p. 51-64.

Ventura-Lima J, Bogo MR, Monserrat JM. Arsenic toxicity in mammals and aquatic animals: a comparative biochemical approach. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2011;74(3):211-8.

Viana PL, Mota NFO, Gil ASB, Salino A, Zappi DC, Harley RM, et al. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: História, área de estudos e metodologia. *Rodriguesia.* 2016;67(5):1107-24.

Von Sperling M. Estudos de modelagem da qualidade da água de rios. v. 7, 2 ed. Belo Horizonte: UFMG; 2007. 588 p.

Yacoub C, Pérez-Foguet A, Valderrama C, Miralles N. Impacts on effluent contaminants from mine sites: risk assessment, fate, and distribution of pollution at basin scale. *Environ Sci Pollut Res.* 2014;21:5960-71.