



## Estudo preliminar da presença de metais pesados nos sedimentos de fundo do lago Água Preta em Belém (Pará): um indicativo da possível ocorrência de poluição e risco ambiental

Maria Izanete Pantoja de Melo<sup>1</sup>; Fabrício Costa Lobo<sup>2</sup>; Anderson Conceição Mendes<sup>3</sup>; Dorsan dos Santos Moraes<sup>4</sup>\*

<sup>1</sup>Mestra em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Pará, Brasil.

<sup>2</sup>Graduado em Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Brasil.

<sup>3</sup>Doutor em Geologia, Universidade Federal do Pará, Brasil.

<sup>4</sup>Doutor em Química, Universidade Federal do Pará, Brasil. (\*Autor correspondente: dorsan@ufpa.br)

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 13/06/2024 – Revisado em: 22/08/2024 – Aceito em: 27/09/2024

### RESUMO

Em muitos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil os reservatórios desempenham um papel cada vez mais importante no fornecimento de água potável. Este estudo aborda os teores dos metais pesados Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni e Mn nos sedimentos de fundo do lago Água Preta, principal reservatório de água potável da cidade de Belém, uma megalópole de 1,3 milhões de habitantes, localizada no norte do Brasil. A caracterização das amostras foi efetuada por DRX, SEM, ICP/OES, granulometria, matéria orgânica e análise do pH. A composição mineralógica da fração fina dos sedimentos de fundo mostrou a presença de quartzo, caulinita e illita como principais minerais e argilominerais presentes. A presença dos argilominerais devem contribuir pelos elevados teores de Cu ( $42/37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), acima do teor da TEL, nas amostras P5 e P6 (pontos próximos à adução do lago). Foram observados teores elevados de Cd em quase todas as amostras, relacionados a vários fatores como: composição mineral, matéria orgânica e pH. No entanto, as interferências antropogênicas, como as atividades industriais e/ou a ocupação urbana, também parecem ser responsáveis pelos valores elevados observados. Este estudo indica também que os sedimentos de fundo podem ser uma boa ferramenta na avaliação de impactos ambientais, uma vez que a determinação do teor residual de metais pesados reflete a contaminação ao longo dos anos.

**Palavras-Chaves:** Lago Água Preta, sedimentos de fundo, metais pesados, contribuição antropogênica.

### Preliminary study of the presence of heavy metals in the bottom sediments of Água Preta lake in Belém/PA., an indication of the possible occurrence of pollution and environmental risk

### ABSTRACT

In many developing countries, including the Brazil, reservoirs play more and more important role in providing potable water. This study focuses on heavy metals contents (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, and Mn) in the bottom sediments of the Água Preta lake, the main drinkable water reservoir of the city of Belem, a megalopolis of 1.3 million people, located in Northern Brazil. Samples characterizations was performed by XRD, SEM, ICP/OES, grain size, organic matter and pH analysis. The mineralogical composition of the fine fraction of the bottom sediments showed quartz, kaolinite, Illite as main minerals and clay minerals present. The presence of clay minerals must contribute to the high Cu levels ( $42/37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), above the TEL content, in samples P5 and P6 (points near the lake adduction). High levels of Cd were observed in almost all samples related to various factors such as mineral composition, organic matter, and pH. However, anthropogenic interferences such as industrial activities and/or urban occupation also seem to be responsible for the high values observed. This study also indicates that bottom sediments can be a good tool in the evaluation of environmental impacts, since the determination of residual heavy metals content reflects contamination over the years.

**Keywords:** Água Preta Lake, bottom sediments, heavy metals, anthropogenic input.

Melo, M. I. P., Lobo, F. C., Mendes, A. C., Moraes, D. S. (2024). Estudo preliminar da presença de metais pesados nos sedimentos de fundo do lago Água Preta em Belém (Pará): um indicativo da possível ocorrência de poluição e risco ambiental. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.6, n.2, p.02-14.



## 1. Introdução

Metais pesados na água potável representam uma ameaça para a saúde humana uma vez que podem ser bioacumulativos no corpo humano induzindo ao câncer, doenças cardíacas, danos renais, hepáticos e distúrbios gastrointestinais. Dos vários metais pesados hoje estudados, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni são motivo de grande preocupação, concentrações relativamente altas destes metais na água potável, seus efeitos podem ser drásticos a saúde humana (Chowdhury et al., 2016).

Fontes geogênicas e antropogênicas podem ser responsáveis pela liberação de metais pesados no ambiente, tais como a meteorização, erosão, processos hidrodinâmicos e os efluentes domésticos, industriais e agrícolas em todo o mundo, e especialmente na maioria dos países em desenvolvimento (Xu et al., 2018). A urbanização da região norte do Brasil foi desenvolvida de forma desordenada, as instalações sanitárias não estão em consonância com o desenvolvimento industrial e o crescimento populacional, o que na última década, tem afetado a qualidade dos corpos hídricos e, conseqüentemente, seus sedimentos (Oliveira et al., 2013).

O lago Água Preta é a principal fonte de suprimento de água potável de Belém, a maior metrópole do norte do Brasil. Este reservatório faz parte da bacia hidrográfica do Murucutu, localizada na região metropolitana de Belém, é margeado por uma floresta tropical perene, está inserido em uma região de um microclima tropical quente-úmido, com estações secas e chuvosas. Apresenta uma capacidade de armazenamento de cerca de 9,9 milhões de m<sup>3</sup>, numa área de 3,12 km<sup>2</sup>, e profundidade máxima de aproximadamente 8,5 metros, na época das chuvas. Latossolos intemperizados de cor castanho a vermelho, compostos de oxi-hidróxidos de alumínio e ferro, caracterizados por uma textura argilosa e siltosa, são os solos típicos desta região, bem como os sedimentos aluviais-coluviais do Quaternário. O rio Guamá, através de um processo de adução, abastece o lago Água Preta, este efluente como afirma Nascimento et al. (2006) é rico em diferentes tipos de metais pesados que são transportados como espécies dissolvidas ou como parte de sedimentos em suspensão que ao abastecerem o lago podem se acumular nos seus sedimentos de fundo (Vieira et al., 2005; Holanda et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Araújo Júnior, 2015).

Os sedimentos de fundo têm sido utilizados para avaliar a poluição por metais pesados no ambiente aquático desde a década de 1990, uma vez que podem liberá-los para a coluna de água sobrejacente, além de poder adsorvê-los nos argilominerais de argila ou promover sua complexação junto a matéria orgânica, afetando a qualidade das águas (Santos et al., 2012; Souza; Wasserman, 2015).

A formação de argilominerais está diretamente ligada ao ambiente deposicional, condições redox, ambiente hidrológico e às condições de pH. Valores de pH ácido indicam a acumulação de metais pesados nos sedimentos devido à redução da carga negativa superficial das partículas de argila e da matéria orgânica, apresentando um importante potencial de contaminação ambiental (Truckenbrodt, 2019).

As regras brasileiras de avaliação de toxicidade (CONAMA, 2012) baseiam-se nas diretrizes de qualidade de sedimentos, indicados pela TEL (Threshold Effect Levels) e PEL (Probable Effect Levels), que foram desenvolvidas para ecossistemas aquáticos saudáveis pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente. Estes parâmetros fornecem um indicativo do grau de contaminação ambiental e da forte relação entre os reservatórios de abastecimento de água e os sedimentos de fundo.

Nas cidades amazônicas, poucos são os dados publicados sobre a avaliação sistemática desses processos de contaminação, o que desperta nos pesquisadores ligados principalmente as instituições locais, o interesse em se investigar a possível ocorrência e elucidar os processos geoquímicos que controlam a mobilidade e distribuição das fontes contaminantes.

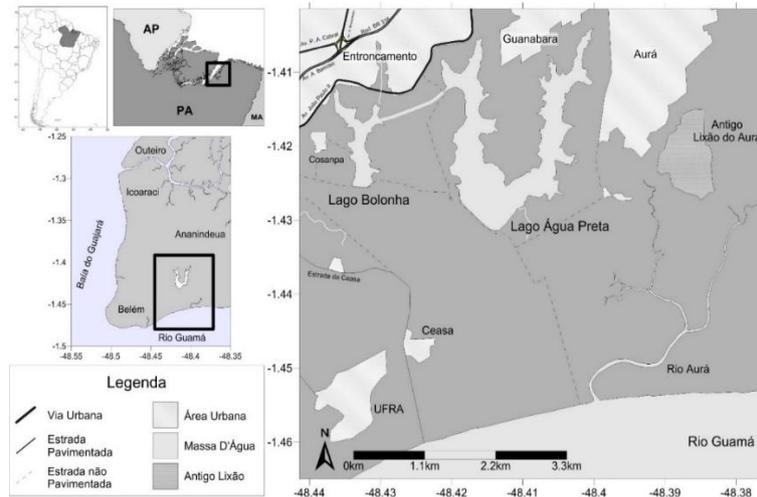
Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o teor a curto prazo dos metais pesados Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn e Ni nos sedimentos de fundo do lago Água Preta, a fim de gerar uma possível indicação de fontes contaminantes no manancial.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Zona de amostragem

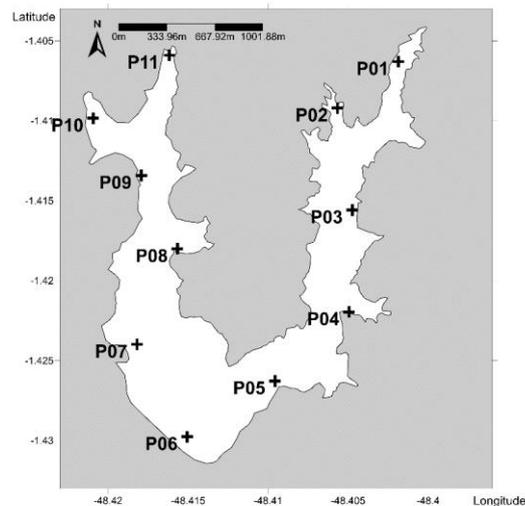
O lago Água Preta está localizado na reserva do Utinga. Faz fronteira com os bairros do Entroncamento, Guanabara, Aurá e uma zona de despejo a norte e a leste. Ao sul, o rio Guamá e o lago Bolonha, a oeste, um vertedouro liga os dois lagos conforme pode ser visualizado na figura 1.

**Figura 1** – Área de estudo e localização do lago.  
Figure 1 - Study area and location of the lake.



Onze amostras de sedimentos de fundo foram coletadas no lago usando um amostrador tipo Pertesen nos pontos apresentados na figura 2. A distância espacial dos pontos de amostragem foi de cerca de 600 m, a fim de cobrir a área total do lago e avaliar a possibilidade da influência antropogênica.

**Figura 2** – Pontos de amostragem dos sedimentos.  
Figure 2 - Sediment sample points.



A geolocalização das amostras foi efetuada usando um GPS Garmin, modelo 60CSX. O material coletado foi guardado em sacos com fecho de correr e armazenados em laboratório a 4 °C e protegidos da luz. Em seguida, as amostras foram secas (50 °C/24 h), desagregadas, homogeneizadas e quarteadas. Difração a laser foi utilizado para avaliar a granulometria das amostras, a fração de lodo (silte + argila, < 62 µm) foi utilizada para análises mineralógicas, morfológicas, químicas e de pH, além do teor de matéria orgânica.

## 2.2. Caracterização

### 2.2.1. Granulometria e pH

As análises granulométricas foram realizadas de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984), utilizando 9g de sedimento seco (duplicata), a remoção da matéria orgânica do sedimento seco de fundo foi realizada por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Isifar, 30%, P.A.), com duas lavagens posteriores com água deionizada e secagem a 50 °C. Finalmente, a desagregação das partículas das amostras foi efetuada numa terceira lavagem com água deionizada e submetida a um banho ultrasônico por um período de 5 minutos. A distribuição do tamanho das partículas (duplicata) foi realizada por difração a laser (Analysette 22 wet Dispersion Unit / FRITSCH), os dados obtidos foram tratados com o software SYSGRAM®.

A análise do pH foi feita numa solução de fração de lodo (20 g) em água deionizada (50 mL), agitada durante 1 h. A medição foi efetuada com um potenciômetro da marca Hanna modelo HI8424 com calibração padrão (pH 4,0 e 7,0).

### 2.2.2. Mineralogia e morfologia

A composição mineralógica das amostras foi determinada por difração de raios-X, DRX, usando um equipamento da marca Panalytical modelo X'pert3 powder nas condições analíticas:  $\lambda$  CuK $\alpha$ 1 = 1,54060 Å, 2°/min, 40 kV, 40 mA, intervalo de varredura de 4 - 70°, tamanho do passo de 0,026°, modo de varredura contínuo e tempo de contagem de 99,7 s. O tratamento dos dados foram realizados pelo software X'Pert HighScore Plus também da Panalytical. As imagens de microscopia eletrônica de varredura, MEV, foram realizadas num microscópio Zeiss modelo EVO-MA-10 a 100 µA, 20 kV e 8,5 mm e a metalização das amostras foi realizada com ouro em modo de alto vácuo.

### 2.2.3. Composição química

Para determinação dos metais pesados na fração de lodo, 0,2 g de cada amostras foram primeiramente tratada com água ultra pura e digeridas por uma combinações dos ácidos H<sub>2</sub>O, HF, HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> (Merck) na proporção de 2:2:1:1, após digestão, os frascos com as amostras digeridas sofreram uma segunda dissolução com 7,5 mL HCl (Merck) / H<sub>2</sub>O 50% v/v em um banho térmico (> 95 °C) durante 30 min.

O armazenamento das soluções foi efetuada em tubos cônicos de polipropileno (15 mL), com a adição de HCl(Merck)/H<sub>2</sub>O 5% v/v (10 mL). Os brancos analíticos foram preparados pelo mesmo procedimento sem a adição da amostra. As determinações foram efetuadas num espectrômetro ótico de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado, ICP-OES da Varian modelo Vista MPX Simultaneous ICP-OES operando a 1,00 kW, 15,0 L.min<sup>-1</sup>, 1,50 L.min<sup>-1</sup>, 0,75 L. min<sup>-1</sup>, 30 rpm, 5 s, 20 s, n = 3, utilizando  $\lambda$ Cr = 267,716 nm,  $\lambda$ Cu = 327,395 nm,  $\lambda$ Ni = 231,604 nm,  $\lambda$ Zn = 213,857 nm,  $\lambda$ Cd = 226,502nm,  $\lambda$ Mn = 257,610 e  $\lambda$ Pb = 220,353nm. As curvas analíticas foram construídas com soluções padrões da FLUKA (1000 ppm) e as análises realizadas em duplicata. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico de pureza. Os limites de detecção (LOD) foram calculados seguindo a relação  $3 \times s/b$  (s = estimativa do desvio padrão do branco analítico e b =

coeficiente angular da curva analítica) (Skoog, Holler e Nieman, 2002).

#### 2.2.4. Matéria Orgânica

A análise da matéria orgânica (MO) seguiu o método indireto proposto por Loring & Rantala (1992), baseado no teor de carbono orgânico total (COT), onde a fração lodo (0,5 g) é oxidada por solução 0,07 mol.L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Synth), adicionando-se H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (CRQ) a 100 °C, e titulação com solução 0,1 mol.L<sup>-1</sup> de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (Synth).

### 3. Resultados e Discussão

O lago Água Preta apresenta sedimentos do grupo Pós-Barreiras depositados do Mioceno ao Pleistoceno representados por sedimentos arenosos e areno-argilosos (Araújo Júnior, 2015). Na avaliação da intensidade e forma de impactos dos ecossistemas aquáticos, os sedimentos de fundo constituem um importante compartimento de estudo por serem considerados sumidouros e possíveis fontes de contaminação desses ecossistemas, isso ocorre uma vez que esses sedimentos podem liberar os metais para a coluna d'água, afetando sua qualidade ou ainda por sua acumulação através de mecanismos como a adsorção nos constituintes do sedimento, promovendo dessa forma a entrada dessas substâncias na cadeia alimentar através de organismos bentônicos (Santos, 2012).

Nas amostras estudadas, a principal fração encontrada foi de areia fina com um percentual médio de 72% em peso, enquanto a fração silte ficou em torno de 27% em peso (Tabela 1), indicando que um ambiente sedimentar de baixa energia parece reger o lago Água Preta. A ação do vento e consequentemente das ondas energéticas na parte central do lago, pode certamente afetar as concentrações de metais pesados e sua mobilidade (Folk; Ward, 1957; Souza; Wasserman, 2015).

**Tabela 1** – Distribuição do tamanho de grãos (% p/p) no lago Água Preta.  
Table 1 - Grain size distribution (% w/w) in Água Preta lake.

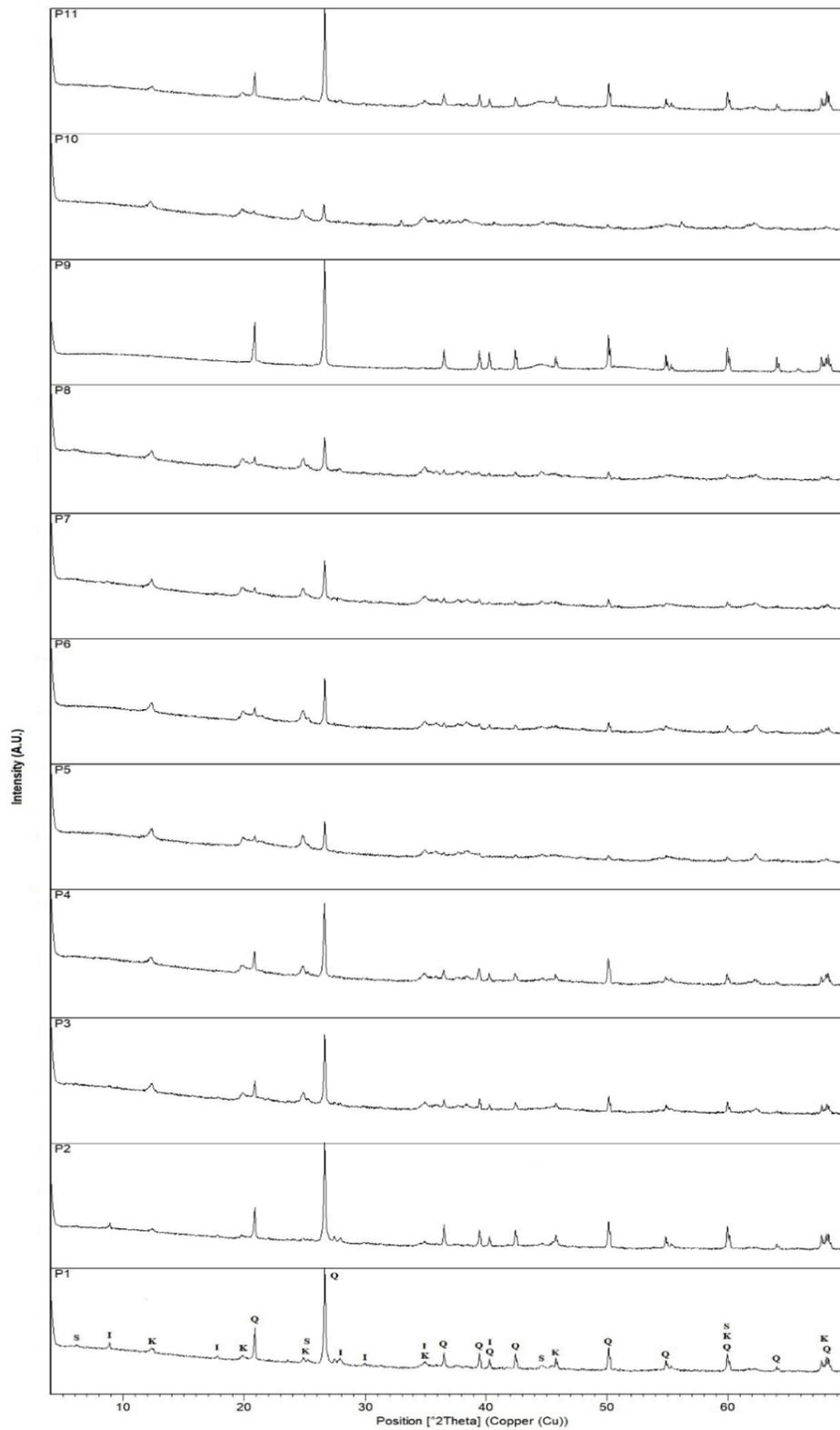
Amostras/ Fração dos grãos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Argila	5.53	13.09	6.28	2.54	4.87	11.06	3.15	3.36	1.34	7.82	8.63
Silte	55.32	32.06	30.51	26.5	78.64	67.35	33.42	18.43	9.493	28.75	25.85
Areia muito fina	39.15	53.05	63.21	70.96	16.5	21.59	63.43	78.2	89.16	68.32	65.52

As amostras P5 e P6 apresentaram o maior teor em peso de sedimentos lodosos (78% e 67% resp.). Essas amostras estão localizadas na conexão entre o rio Guamá e o lago Água Preta, o que pode explicar a distribuição do tamanho das partículas. Próximo a zona de descarga (P9), o lodo está quase ausente e foram registrados 89% em peso de areia muito fina, indicando que a água sofre um maior fluxo neste ponto, gerando um turbilhão que impede a deposição de lodo. Nos demais pontos dominados pela ação do vento e das ondas, o processo de sedimentação torna-se randômico e de complicado entendimento (Hakanson, 1982).

No lago Água Preta, o pH dos sedimentos de fundo varia entre 5,3 e 6,5, estes valores estão diretamente relacionados com a composição mineral. Os valores de acidez estão de acordo com a presença de caulinita (formam sítios ácidos fracos, Al-OH e sítios ácidos fortes, Si-OH, presentes nas folhas do argilomineral) em quase todas as amostras estudadas.

A composição mineralógica da fração fina dos sedimentos de fundo (Figura 3) mostra a presença de cinco grupos de materiais naturais, quartzo e argilominerais de argila são os principais constituintes.

**Figura 3** – Padrões de DRX das amostras dos sedimentos de fundo. Q: quartzo; K: caulinita; S: esmectita; I: Ilita.  
Fig

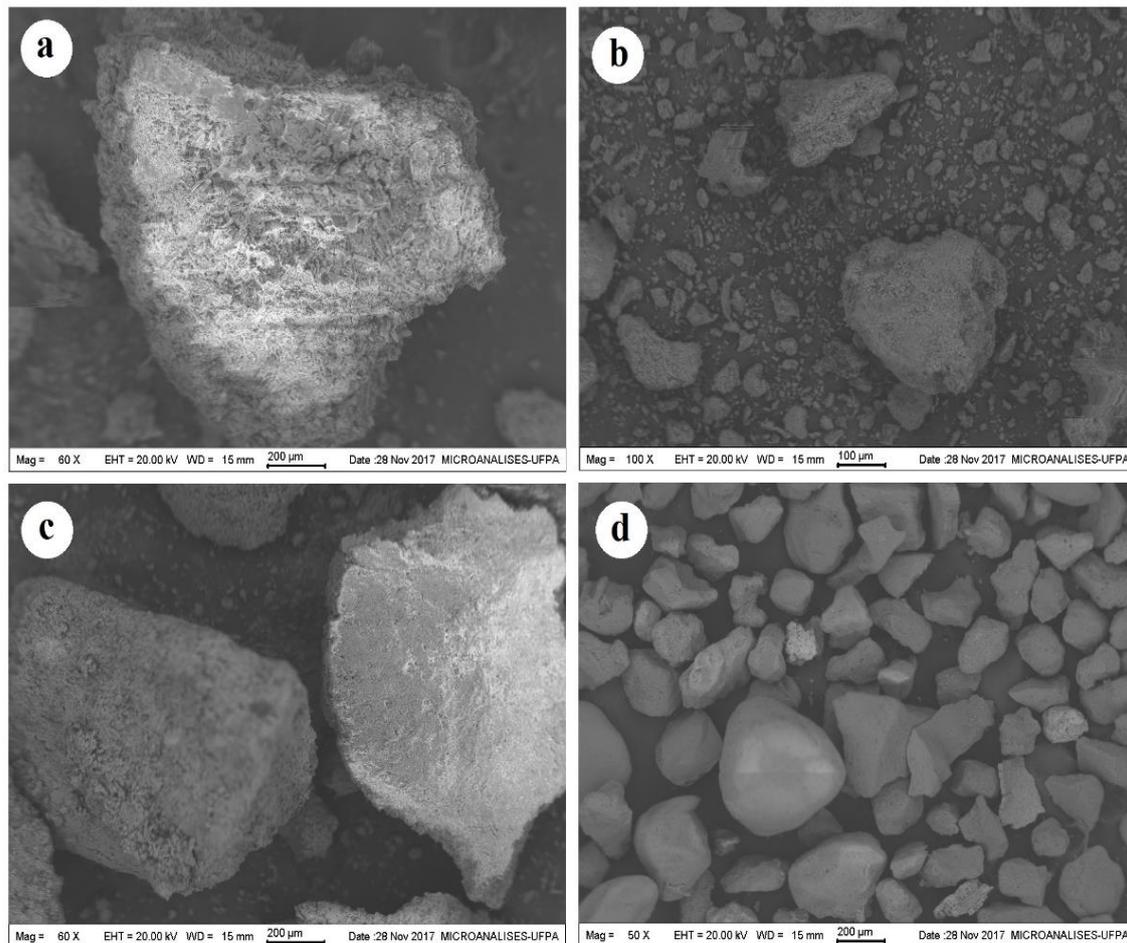


Na amostra P9 foi observado apenas a presença de quartzo, reflexões de XRD características do mineral mostram reflexões agudas e intensas (ficha ICDD 01-083-2465). Nas amostras P3, P5, P6 e P7, além do quartzo mostram a presença de caulinita (ficha ICDD 00-029-1488) com o quartzo ainda sendo a fase principal. A amostra P4 também indicou a presença de esmectita (ficha ICDD 00-013-0135) juntamente com quartzo e caulinita. Nas amostras P1, P2, P8, P10 e P11, o argilomineral illita (ficha ICDD 00-026-0911) foi observado conjuntamente com quartzo e caulinita. A presença de silte e argila foi importante pois desempenham um papel crucial no transporte e armazenamento de metais pesados nos sedimentos fluviais (Zhang et al., 2014; Souza; Wasserman, 2015).

O estudo registou a mesma paragênese observada por Nascimento et al. (2006) que relacionou os argilominerais e a matéria orgânica como principal composição da matéria em suspensão nesta área, esta composição mineralógica é típica em ambientes lacustres (Truckenbrodt, 2019). Mendes et al. (2020), atribuíram os argilominerais do lago Água Preta como detrítico, provenientes de períodos de cheia e descargas fluviais, representativos do perfil dos lagos amazônicos.

As imagens de MEV das amostras P1, P4, P6 e P9 (Figura 4) corroboram os grupos mineralógicos observados nos padrões de DRX.

**Figura 4** – Imagens de MEV dos sedimentos de fundo nas amostras (a) P1, (b) P4, (c) P6 e (d) P9.  
Figure 4 - SEM images of bottom sediments of (a) P1, (b) P4, (c) P6 and (d) P9 samples



A morfologia dos flocos com tamanho variando de 100 a 500  $\mu\text{m}$  parece ser resultado do movimento browniano e em suspensão ao longo do tempo (Truckenbrodt, 2019). Fato que também está de acordo com Nascimento et al. (2006) que observaram comportamento semelhante associado a teores elevados de Cádmio. A amostra P9 também apresentou cristais em torno de 200  $\mu\text{m}$  (Figura 3 d), atribuídos ao quartzo presente (Vos et al., 2014).

A distribuição espacial dos metais pesados nos sedimentos de fundo é apresentada na tabela 2. No estudo foi encontrado teor elevado de manganês, apesar do valor deste elemento não estar presente na resolução que ampara este estudo (CCME, 1999; CONAMA, 2012), sua investigação se justifica em virtude do seu óxido, um dos principais componentes dos minerais, ser um importante adsorvente em sistemas aquáticos (Zhang et al., 2014; Coringa et al., 2016).

**Tabela 2** – Concentração de metais pesados nas amostras ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ).  
Table 2 - Heavy metal concentrations of samples at  $\text{mg.kg}^{-1}$

Amostras	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn	Org. Mat.	pH
<b>P 1</b>	30.37	<b>6.04</b>	33.30	09.75	21.10	13.13	68.71	<b>39.66</b>	5.6
<b>P 2</b>	23,16	<b>4.24</b>	25.24	14.42	27.93	15.60	47.02	<b>38.55</b>	5.9
<b>P 3</b>	10.07	3.08	8.86	10.06	11.92	13.02	48.66	27.80	5.6
<b>P 4</b>	14.75	<b>6.10</b>	15.31	12.69	9.46	12.34	101.21	21.95	5.8
<b>P 5</b>	<b>42.02</b>	<b>8.45</b>	<b>42.39</b>	18.12	28.97	17.04	262.29	<b>33.42</b>	6.4
<b>P 6</b>	<b>37.29</b>	<b>5.86</b>	31.54	13.18	20.64	14.81	124.96	23.44	5.4
<b>P 7</b>	11.07	<b>3.54</b>	18.42	07.10	18.18	10.05	91.30	20.74	5.9
<b>P 8</b>	07.58	2.70	16.31	10.88	16.58	12.44	89.24	22.79	5.8
<b>P 9</b>	03.36	1.75	03.14	08.28	ND	02.31	15.40	11.94	6.5
<b>P 10</b>	20.23	<b>4.79</b>	<b>46.65</b>	17.46	32.91	11.53	262.95	19.26	6.0
<b>P 11</b>	10.18	<b>3.57</b>	29.33	04.54	ND	13.24	83.60	<b>33.76</b>	5.3
<b>TEL</b>	35.7	0.6	37.3	35	123	18	-	-	-
<b>PEL</b>	197	3.5	90	91.3	315	35.9	-	-	-

Valores acima da TEL (Nível do efeito limiar) e da PEL (Nível do efeito provável) são apresentados em negrito. Org. Mat. = Matéria orgânica.

Foi observado dois conjuntos de metais pesados presentes nos sedimentos de fundo, o primeiro composto por Cd, Cu e Cr e o segundo por Pb, Zn e Ni, em oito amostras (P1, P2, P4, P5, P6, P7, P10 e P11) o teor de Cd apresentou valores superiores a PEL, o Cu apresentou o mesmo comportamento em duas amostras (P5 e P6) e o Cr nas amostras P5 e P10, sugerindo a possibilidade de três fontes diferentes de contaminação antropogênica. Por outro lado, valores Pb, Zn e Ni, foram mais baixos do que o conteúdo da TEL para todas as onze amostras analisadas, indicando uma possível entrada geogênica para eles.

Índices da correlação de Pearson foi utilizado para avaliar os parâmetros dos sedimentos de fundo (Tabela 3), em que o intervalo 0,9 - 1 indica uma correlação muito elevada e assim sucessivamente 0,7 - 0,89; elevada, 0,5 - 0,69; moderada, 0,26 - 0,49; fraca, 0 - 0,25; muito fraca (Ustaoğlu; Tepe, 2019).

**Tabela 3** – Matriz de correlação do coeficiente de Pearson ( $r$ ) para as relações entre as concentrações dos metais pesados no lago Água Preta.Table 3 - The Pearson's correlation coefficient ( $r$ ) matrix for the relationships among the concentrations of the heavy metals of the Água Preta Lake

	Correlações								
	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn	Org. Mat.	pH
Cu	1.000000	0.359825	0.351695	0.489229	0.583808	0.551954	0.049273	0.607892	0.041002
Cd		1.000000	0.695634	0.635481	0.555489	0.674728	0.656435	0.442960	0.035628
Cr			1.000000	0.574339	0.710413	0.601483	0.812191	0.420586	-0.083356
Pb				1.000000	0.805876	0.457736	0.728336	0.072112	0.397828
Zn					1.000000	0.569692	0.654399	0.300851	0.168408
Ni						1.000000	0.419456	0.737020	-0.419391
Mn							1.000000	-0.009603	0.249466
Org. Mat.								1.000000	-0.376233
pH									1.000000

Analisando os resultados presentes na tabela 3, nota-se que o manganês apresentou uma correlação de Pearson de moderada a elevada com o Cr, Pb, Cd e Zn, seu teor elevado no ponto P5 e P10 (262,29 e 262,95 mg.Kg<sup>-1</sup> resp.), corrobora as informações apresentadas por Coringa et al. (2016) que sugere que óxidos e hidróxidos de Mn podem atuar como adsorventes em sistemas aquáticos, justificando o teor elevado dos metais citados nesses pontos do lago.

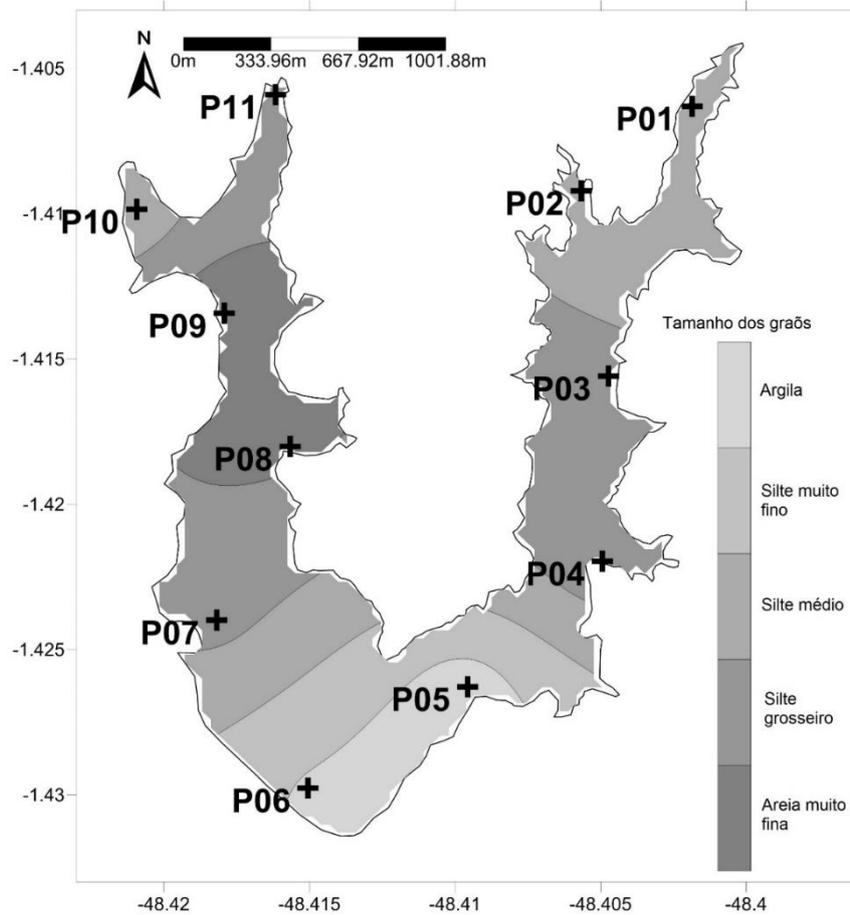
A análise de Pearson aplicada aos valores de pH das amostras de sedimento aponta que este parâmetro é pouco significativo, apresentando correlação de fraca a negativa, fato corroborado pela fraca acidez observada que realmente indica que o pH apresentado nesta investigação não interfere na mobilidade dos elementos conforme afirma Alloway (1990) para sedimentos mais ácidos (Coringa et al., 2016).

Nas amostras P1/P2 e P10/P11 localizadas próximas a uma ocupação urbana com aglomeração de pessoas e sem saneamento básico, e na amostra P5 coletada na adutora do lago a partir do Rio Guamá, o teor de Cr, Cu e Cd estão substancialmente elevados. Aparentemente, esses metais pesados são despejados nos rios a partir de esgotos urbanos não tratados e são introduzidos no lago através do tubo adutor. Níveis de Cd superiores a PEL nos sedimentos de fundo do rio Guamá já foi relatado por Nascimento et al. (2006), corroborando os dados apresentados no presente estudo.

Os baixos teores de Ni indicam que não há contaminação por este elemento, apenas na amostra P5 o valor está próximo ao teor da TEL. As amostras P5 e P10 apresentaram teores elevados de Mn, sugerindo que a presença de óxidos nos sedimentos, e um valor de pH ácido (5, 3) acima da hidrólise do Cr, poderia explicar seu valor superior a TEL (Li et al., 2009; Coringa et al., 2016). A ausência de uma fase mineral de Mn detectada pela DRX está provavelmente ligada à estrutura amorfa dos óxidos de Mn hidratados (Alloway, 1990).

A presença de partículas finas, como as argilas, é favorecida por um ambiente sedimentar de baixa energia, que está intimamente ligado à matéria orgânica. Os argilominerais argilosos adsorvem os metais das fases aquosas e transportam-nos para os sedimentos de fundo (Zhang et al., 2014). A figura 5 apresenta um perfil do material argiloso distribuído ao longo do lago, os pontos P1, P2 e P11 apresentaram valores mais elevados de matéria orgânica, em concordância com as ações antropogênicas das áreas adjacentes, como ocupações urbanas desordenadas o que leva a supor que o teor de Cd elevado nesses pontos, pode estar associado também a este fator.

**Figura 5** – Perfil da distribuição do material argiloso ao longo do lago Água Preta.  
 Figure 5 - Profile of the distribution of clay material along Água Preta lake.



A decomposição das macrófitas *Eichhornia crassipes* Solms em alguns pontos do lago contribui igualmente para valores elevados de matéria orgânica, uma vez que a decomposição da flora aquática e a subsequente produção de ácido húmico contribuem para a redução do pH (Zhang et al., 2014). O aparecimento desta vegetação pode estar ligado tanto a própria dinâmica do meio físico quanto a disponibilidade de nutrientes em razão da ocupação desordenada as margens do lago, ou a combinação de ambos (Araújo Júnior, 2015).

O teor elevado de Cd na amostra P5 se deve provavelmente a sua localização próxima ao tubo adutor, onde a água do rio Guamá é fortemente descarregada no lago na estação seca. Os teores dos elementos são baixos nas outras amostras estudadas, provavelmente devido ao fato das macrófitas atuarem como uma barreira geoquímica (filtro) (Souza; Wasserman, 2015).

As amostras P5 e P6 possuem um alto teor de lodo, a não correlação Cu/Mn nestes pontos sugere explicações para valores acima da TEL para alguns elementos nos sedimentos de fundo (Coringa et al. 2016). Como observado para o Cr, a matéria orgânica e o pH devem desempenhar um papel importante na adsorção de Cu.

Valores mais elevados de Cd acima do teor da PEL para quase todas as amostras, exceto P3, P8 e P9, estão provavelmente ligadas a um complexo processo de adsorção. Paliulis (2014), sugeriu correlações com valores de pH e matéria orgânica, em concordância com este estudo. Em  $\text{pH} < 6,5$  a adsorção de Cd na matéria

orgânica é favorável (Alloway, 1990). A amostra P5 apresentou o maior teor de Cd, indicando a entrada antropogênica a partir do rio Guamá, este fato sugere uma atenção especial por parte dos órgãos governamentais principalmente no sentido da realização de uma investigação mais específica com respeito a possível contaminação ambiental, principalmente porque a cidade de Belém, construída sobre uma península sedimentar estuarina, nos últimos 20 anos, vem sofrendo um crescimento populacional acelerado, com um expressivo crescimento periférico.

Como o presente estudo tratar-se de uma pesquisa preliminar da presença desses contaminantes no lago, o objetivo é contribuir para segurança da água potável do município e manutenção de um ecossistema aquático saudável, pois, apesar de não apresentar indústrias de grande porte, a cidade produz uma carga elevada de efluentes domésticos, lançados muitas vezes diretamente no sistema hidrográfico através de cerca de 30 km de canais naturais, formados por igarapés, furos e rios (Santos, 2012).

#### 4. Conclusão

Com base nos resultados das diferentes análises realizadas no sedimento de fundo do lago Água Preta, foi possível apontar as seguintes conclusões: A composição mineralógica da fração fina dos sedimentos de fundo mostrou quartzo, caulinita e illita como os principais minerais e argilominerais presentes. Provavelmente, os argilominerais são responsáveis pelos elevados teores de Cu ( $42/37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) nas amostras P5 e P6 respectivamente, acima da TEL.

Nas amostras P5 e P10, os níveis elevados de Cr, próximos da TEL ( $42/46 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), devem estar associados a adsorção de compostos de Mn presentes. Níveis elevados de Cd em quase todas as amostras (P1, P2, P4, P5, P6, P7, P10 e P11). O teor elevado de Cd nos pontos P1, P2, P10 e P11, pode estar associada as contribuições antropogênicas através do escoamento das águas superficiais das localidades urbanas próximas, já dos pontos P4 a P7 devido provavelmente deposição a partir da adução do rio Guamá.

A concentração elevada de todos os elementos analisados no ponto P5 corrobora a observação que a adução do rio Guamá é um fator crucial no processo de contaminação do lago. A ocorrência de macrófitas no lago evidencia a concentração de nutrientes propiciadores de sua proliferação, que por sua vez podem comprometer o abastecimento hídrico, pois, sua decomposição desoxigena a água, tornando-a menos adequada a ingestão humana.

Os sedimentos de fundo podem ser uma boa ferramenta na avaliação de futuros impactos ambientais, uma vez que a determinação do teor residual de metais pesados reflete a contaminação ao longo dos anos, demonstrando a necessidade de sistematizar essas determinações, gerando uma série histórica do problema.

Sugere-se que mais investigações de campo devem ser realizadas nesta área para identificar as fontes de contaminação e, assim, desenvolver protocolos para prevenir a poluição por metais pesados no lago Água Preta. Por fim, serão necessárias políticas públicas para melhorar as barreiras sanitárias no entorno do manancial, como estações de tratamento de esgoto que visem preservar a principal fonte de água potável da cidade de Belém.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Evandro Chagas e ao Instituto de Geociências da UFPA pelas análises químicas e apoio laboratorial.

#### 6. Referências

Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. **Environmental Nanotechnology, Monitoring &**

**Management**, 5, 27 – 35.

Alloway, B. J. (1990). Heavy metals in soils. New York: John Wiley & Sons.

Araújo Júnior, A. C. R. (2015). Indicadores de qualidade ambiental no lago Bolonha, parque estadual do Utinga, Belém - Pará. **Boletim Gaúcho de Geografia**, 42(1), 276 - 299.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Solo - Análise granulométrica. (NBR), n. 7181.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment (1999). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/cadmium-canadian-sediment-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life-en.pdf>

Chowdhury, S., Mazumder, M. A. J., Al-Attas, O., Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. **Science of the Total Environment**, 569 – 570, 476 – 488.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2012). Diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. (**Resolução**), n. 454.

Coringa, J. E. S., Pezza, L., Coringa, E. A. O., Weber, O. L. S. (2016). Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé - MT, Brasil. **Acta Amazônica**, 46(2), 161 – 174.

Folk, R. L., Ward, W. C. (1957). Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1), 3 – 26.

Hakanson, L. (1982). Bottom dynamics in lakes. **Hydrobiologia**, 91, 9 - 22.

Holanda, P.S., Blanco, C.J.C., Cruz, D.O.A., Lopes, D.F., Barp, A.R.B., Secretan, Y. (2011). Hydrodynamic Modeling and Morphological Analysis of Lake Água Preta: One of the Water Sources of Belém-PA-Brazil. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, 33(2), 117 - 124.

Li, Y., Wang, X. L., Huang, G. H., Zhang, B. Y., Guo, S. H. (2009). Adsorption of Cu and Zn onto Mn/Fe Oxides and Organic Materials in the Extractable Fractions of River Surficial Sediments. **Soil & Sediment Contamination: An International Journal**, 18(1), 87 – 101.

Loring, S. N., & Rantala, R. T. T. (1992). Manual of geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth Science Review**, 32(4), 235 - 283.

Mendes, A. C., Galvão, P., Sousa, J., Silva, I., Carneiro, R. N. (2019). Relations of the Groundwater Quality and Disorderly Occupation in an Amazon Low-Income Neighborhood Developed Over a Former Dump Area, Santarém/PA, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, 21, 353 - 368.

Mendes, A. C., Dantas, A. B., Ribeiro, A. C. S., Santos, L. O., Mendes, K. C., Moraes, D. S., Almeida, R. M. (2020). Provenance of heavy and clay minerals in bottom sediments of Green Lake, an Amazonian fluvial lake in Brazil. **Acta Amazônica**, 50(2) 2020: 159 – 169.

- Nascimento, F. S., Kurzweil, H., Wruss, W., Fenzl, N. (2006). Cadmium in the Amazonian Guajara´ Estuary: Distribution and remobilization. **Environmental Pollution**, 140, 29 – 42.
- Oliveira, R. S., Kiyatake, D. M., Harada, M. L., Ribeiro, K. T. S. (2013). Sanitary quality of the public groundwater supply for the municipality of Belém in Northern Brazil. **Cadernos Saúde Coletiva**, 21(4), 377 - 383.
- Paliulis, D. (2014). Assessment of Lake Bottom Sediment Pollution by Lead and Cadmium. **Polish Journal of Environmental Studies**, 23(4), 1273 – 1279.
- Radwan, S., Kowalik, W., Kornijów, R. (1990). Accumulation of heavy metals in a lake ecosystem. **Science of the Total Environment**, 96(1–2), 121 - 129.
- Santos, S. N., Lafon, J. M., Corrêa, J. A. M., Babinski, M., Dias, F. F., Taddei, M. H. T. (2012). Distribuição e Assinatura Isotópica de Pb em Sedimentos de Fundo da Foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém - Pará). **Química Nova**, 35(2), 249 - 256.
- Souza, V. A., & Wasserman, J. C. (2015). Distribution of heavy metals in sediments of a tropical reservoir in Brazil: Sources and fate. **Journal of South American Earth Sciences**, 63, 208 – 216.
- Skoog, D. A.; Holler, F. J.; Nieman, T. A. (2002). **Princípios de Análise Instrumental**. Porto Alegre: Bookman.
- Truckenbrodt, W. (2019). **Argilominerais nas Geociências: estruturas, propriedades, identificação e origem**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y. (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. **International Soil and Water Conservation Research**, 7 47 – 56.
- Vieira, J. M. S., Azevedo, M. T. P., Azevedo, S. M. F. O., Corrêa, R. Y. H., Corrêa, B. (2005). Toxic cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region. **Toxicon**, 45(7), 901 – 909.
- Vos, K., Vandenberghe, N., Elsen, J. (2014). Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. **Earth-Science Reviews**, 128, 93 – 104.
- Xu, J., Chen, Y., Zheng, L., Liu, B., Liu, J., Wang, X. (2018). Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sediment of the Main Tributaries of Dongting Lake, China. **Water**, 10(1060) 1 – 16.
- Zeng, H., Wu, J. (2013). Heavy Metal Pollution of Lakes along the Mid-Lower Reaches of the Yangtze River in China: Intensity, Sources and Spatial Patterns. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 10(3) 793 – 807.
- Zhang, C., Yu, Z., Zeng, G., Jiang, M., Yang, Z., Cui, F., Zhu, M., Shen, L., Hu, L. (2014). Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. **Environment International**, 73, 270 – 281.