

Wilson Figueiredo de Lima¹ | Ana Lúcia Nunes Gutjahr² | Carlos Elias de Souza Braga³

POTENCIAL DE BIOACUMULAÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DA ESPÉCIE *MONTRICHARDIA LINIFERA* (ARRUDA) SCHOTT, (ARACEAE) EM ÁGUA CONTAMINADA POR CHUMBO

BIOACUMULATION AND TRANSLOCATION POTENTIAL OF *MONTRICHARDIA LINIFERA* (ARRUDA) SCHOTT (ARACEAE) IN LEAD CONTAMINATED WATER

POTENCIAL DE BIOACUMULACIÓN Y TRANSLOCACIÓN DE *MONTRICHARDIA LINIFERA* (ARRUDA) SCHOTT (ARACEAE) EN AGUA CONTAMINADA CON PLOMO

RESUMO

Nos últimos anos a poluição ambiental, especialmente causadas por metais pesados, como o chumbo (Pb), tem ocasionado grandes impactos aos ecossistemas aquáticos e terrestres. Mediante a essa situação várias plantas desenvolveram mecanismos de retenção desses metais em seus tecidos. O trabalho objetivou verificar o fator de bioacumulação e translocação de chumbo na macrófita aquática *Montrichardia linifera* (aninga), simulando dois ambientes contaminados com concentrações diferentes. A coleta da planta foi realizada em um ambiente de várzea em Belém, Pará, no mês de janeiro de 2020. Os exemplares coletados foram transferidos para a Universidade do Estado do Pará, onde foram inseridos em os recipientes com água contaminada por chumbo (experimento Exp1 e Exp2 com 1000 mg.L⁻¹ e 100 mg.L⁻¹ de Pb, respectivamente) e do grupo controle (experimento Exp3), por 21 dias. Após a análise dos resultados obtidos, constatou-se altas concentrações do contaminante nas raízes de aninga dos Exp1 (62.724,51 mg.kg⁻¹) e Exp2 (219.705,60 mg.kg⁻¹), além de baixas concentrações de Pb nas folhas da aninga (Exp1= 79,4 mg.kg⁻¹; Exp2= 147,68 mg.kg⁻¹). O fator de bioacumulação (FB) dos experimentos 1 e 2 foram de 325,19 e 2392,23 respectivamente, demonstrando que o Pb se concentrou mais no sistema radicular da planta, o que acarretou uma translocação baixa para suas partes aéreas, com o fator de translocação (FT) < 1 e fator de bioacumulação (FB) > 1. Dessa forma, *M. linifera* pode ser considerada uma planta tolerante, hiperacumuladora, fitoestabilizadora e potencialmente fitorremediadora para o chumbo do ambiente, ajudando a recolher esse poluente dos ecossistemas.

PALAVRAS-CHAVE

Bioacumulação. Macrófita aquática. Fitorremediação. Metal pesado.

ABSTRACT

In the last years, environmental pollution, mainly caused for heavy metals as lead (Pb), has caused significant impacts to the aquatic and terrestrial ecosystems. In that situations, many plants have developed mechanisms of these metal retention in their tissues. This work aimed to verify the bioaccumulation and translocation factor of lead in the aquatic macrophyte *Montrichardia linifera* ('aninga'), simulating two contaminated environments with different concentrations. The plant collection was carried out in January 2020 at a lowland environment in Belém, Pará. The collected specimens were transferred to the Pará State University, where they were inserted in containers with lead-contaminated water (Experiments: Exp1 with 1000 mg.L⁻¹ of Pb, Exp2 with 100 mg.L⁻¹ of Pb and Exp3, the control group without lead), for 21 days. After the result analyses, high concentrations of the contaminant were contacted in the roots of aninga in Exp1 (62,724.51 mg.kg⁻¹) and Exp2 (219,705.60 mg.kg⁻¹), besides low concentrations of Pb in the leaves of aninga at the same experiments (Exp1= 79.4 mg.kg⁻¹; Exp2= 147.68 mg.kg⁻¹). The bioaccumulation factor (BF) of the experiments 1 and 2 were respectively 325.19 and 2,392.23, demonstrating that Pb concentrated more in the root system of the plant. This caused a low translocation to its aerial parts, with the translocation factor (FT) < 1 and bioaccumulation factor (BF) > 1. Thus, *M. linifera* can be considered a tolerant, hyperaccumulator, phyto stabilizer, and potentially phytoremediator plant for lead in environment, helping to collect this pollutant from the ecosystems.

KEYWORDS

Bioaccumulation. Aquatic macrophyte. Phytoremediation. Heavy metal.

RESUMEN

En los últimos años, la contaminación ambiental, causada principalmente por metales pesados como el plomo (Pb), ha causado impactos significativos a los ecosistemas acuáticos y terrestres. En esas situaciones, muchas plantas han desarrollado mecanismos de retención de estos metales en sus tejidos. Este trabajo tuvo como objetivo verificar el factor de bioacumulación y translocación de plomo en la macrófita acuática *Montrichardia linifera* ('aninga'), simulando dos ambientes contaminados con diferentes concentraciones. La recolección de plantas se realizó en enero de 2020 en un ambiente de tierras bajas en Belém, Pará. Los especímenes recolectados fueron trasladados a la Universidad Estadual de Pará, donde fueron insertados en recipientes con agua contaminada con plomo (Experimentos: Exp1 con 1000 mg.L⁻¹ de Pb, Exp2 con 100 mg.L⁻¹ de Pb y Exp3, el grupo control sin plomo), durante 21 días. Luego del análisis de los resultados, se encontraron altas concentraciones del contaminante en las raíces de aninga en Exp1 (62,724.51 mg.kg⁻¹) y Exp2 (219,705.60 mg.kg⁻¹), además de bajas concentraciones de Pb en las hojas de aninga en el mismos experimentos (Exp1= 79,4 mg.kg⁻¹; Exp2= 147,68 mg.kg⁻¹). El factor de bioacumulación (BF) de los experimentos 1 y 2 fueron respectivamente 325,19 y 2392,23, demostrando que el Pb se concentró más en el sistema radicular de la planta. Esto provocó una baja translocación a sus partes aéreas, con factor de translocación (FT) < 1 y factor de bioacumulación (BF) > 1. Así, *M. linifera* puede considerarse una planta tolerante, hiperacumuladora, fitoestabilizadora y potencialmente fitorremediadora de plomo en el medio ambiente, ayudando a recoger este contaminante de los ecosistemas.

PALABRAS CLAVE

Bioacumulación. Macrófita acuático. Fitorremediación. Metal pesado.

1. INTRODUÇÃO

A poluição ambiental por metais pesados vem crescendo a cada década proveniente das atividades industriais e de outras atividades antrópicas (BENAVIDES et al., 2005). Os metais pesados ocorrem na natureza e alguns deles são essenciais para os organismos vivos, porém em grandes quantidades podem se tornar tóxicos nos ecossistemas terrestres e aquáticos (SCHNEIDER, 2005; RIBEIRO, 2019).

Nos últimos anos um dos contaminantes que tem chamado muita atenção, entre os metais pesados, é o chumbo (Pb). Por ser um metal não essencial, não promove nenhum benefício para os organismos vivos, sendo a contaminação promovida por esse elemento um grande problema ambiental (BERTOLI et al., 2011; BOFFE et al., 2016).

A presença de íons de chumbo no sistema vegetal acarreta disfunções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, chegando a afetar o processo de fotossíntese (SHAHID et al., 2011; GALLEGO et al., 2012), fazendo com que a planta fique mais suscetível a doenças e também afetando o crescimento das raízes e folhas (PEREIRA et al., 2013), podendo também causar a morte da planta, quando presente em grandes concentrações de Pb.

Várias plantas dispõem de mecanismos que toleram a presença de metais, entretanto se conhece pouco sobre a definição desse tipo de mecanismo (SILVA et al., 2013), deduzindo que as plantas podem acumular grandes quantidades desses metais sem sofrerem danos.

Algumas espécies de plantas apresentam a capacidade de sobreviver em ambientes contaminados, bioacumulando pequenas e grandes quantidades de alguns metais pesados, como cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd) e manganês (Mn) que são potencialmente tóxicos, removendo assim esses metais do ambiente, nesse processo destacam-se as macrófitas aquáticas, *Pistia stratiotes* L., *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia natans* (L.) All, *Salvinia auriculata* Aubl., e *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott (CRUZ et al., 2009; DAZY et al., 2009; OH et al., 2014; NADGÓRSKA-SOCHA et al., 2015; PINTO et al., 2015; SILVA et al., 2019).

Uma das maneiras que a bioacumulação concentra os metais é através da precipitação e formação de complexos intra e extracelular (GUELFI, 2001). A consequência da bioacumulação que irá absorver e fazer a retenção desses metais pode ser, a inibição de crescimento celular que acontece quando se concentra uma quantidade elevada de íons metálicos (GUELFI, 2001).

Nos estudos de fitorremediação, o fator de translocação de uma planta é extremamente importante para se avaliar a desenvoltura que a planta pode desenvolver ao translocar o metal pesado que está nas raízes para suas partes aéreas (ANDRADE et al., 2009). Porém, a translocação de alguns metais pesados como Pb, Cd, Cu, e Zn torna-se difícil, pois a simples complexação, envolvendo os aminoácidos e os metais nas plantas, pode estar relacionada a essa dificuldade (SILVA et al., 2007).

Como exemplos destas plantas, tem-se *Montrichardia linifera* que é conhecida na região Amazônica como aninga, uma macrófita aquática que pertence à família das Araceae e tem ampla distribuição nas várzeas. A aninga é uma espécie de planta pioneira, que tem uma importância ecológica notável, pois faz parte da formação das margens de corpos hídricos como igarapés, margens de rios e lagos. A espécie, presente em grandes áreas, abriga e serve de alimento para diversas espécies de invertebrados (AMARANTE et al., 2009; 2010; 2011).

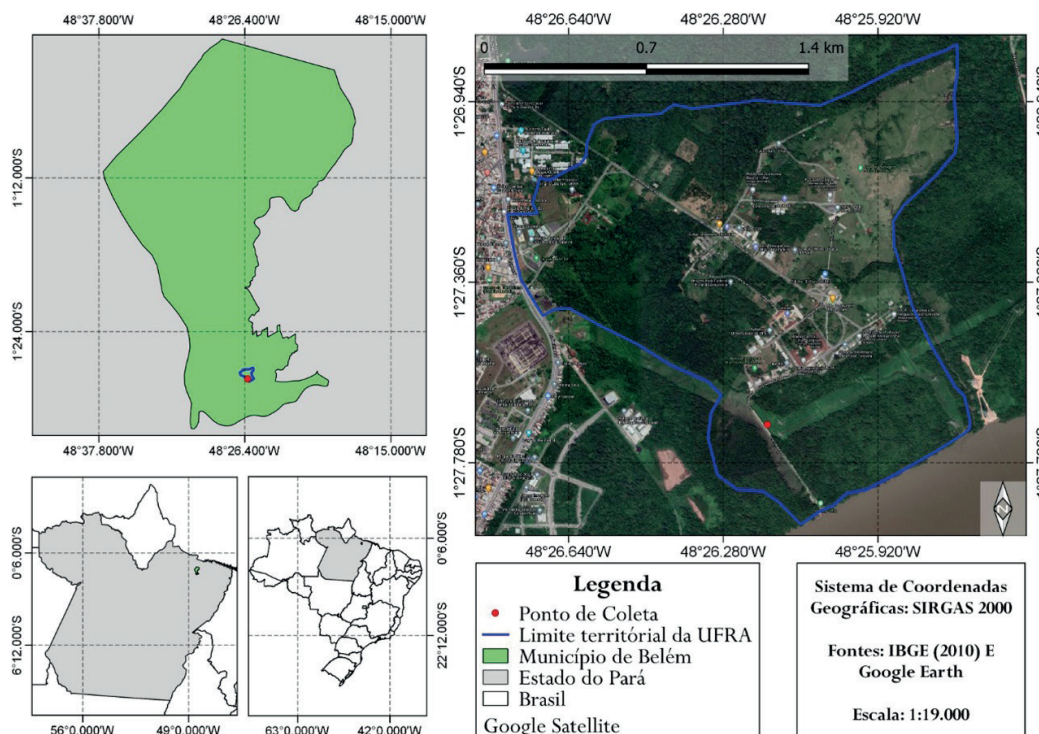
Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de bioacumulação e translocação do chumbo (Pb) na macrófita aquática *M. linifera*, através da simulação de dois ambientes contaminados por esse metal pesado, com concentrações distintas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparo das amostras

Realizou-se a coleta da macrófita aquática *M. linifera* no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) em um aningal localizado na Estrada da Várzea (Figura 1), com coordenadas 1° 27'42"S, 48° 26'10.2"W, em Belém, Pará.

Figura 1: Ponto de coleta no campus da UFRA, Belém, Pará.



Fonte: Elaboração própria.

As coletas foram realizadas em janeiro de 2020, com o auxílio de facão e enxadeco, que permitiram a coleta das aningas com as raízes. Logo após ser concluída a coleta, as plantas foram introduzidas em sacos plásticos e transportadas para a Universidade do Estado do Pará (UEPA) no Campus I – Centro de Ciências Sociais e Educação (CCSE), onde foram realizados os experimentos em condições laboratoriais. No laboratório, as raízes das aningas foram lavadas em água corrente, para retirada dos sedimentos e solo que estavam contido nas raízes e foram inseridas em caixas d'água de 250L, onde foram introduzidos água e fertilizante mineral misto para nutrir a planta, enquanto se recuperava do estresse da coleta de campo.

2.2 Experimento de exposição de Aninga a contaminação simulada por Chumbo

Para o experimento foram feitas duas simulações de contaminação por chumbo com duas concentrações distintas, sendo elas 1.000 mg.L⁻¹ (Experimento 1) e 100 mg.L⁻¹ (Experimento 2) de Pb na forma de Pb(NO₃)₂. Em ambos experimentos, dois espécimes de aninga foram depositados em recipientes plásticos contendo 10L de água já contaminada por chumbo, conforme especificado anteriormente. Após a inserção das

plantas nos recipientes que estavam devidamente identificados (Exp1 e Exp2, respectivamente), os mesmos foram vedados com filme plástico para evitar a evaporação da água e a entrada de qualquer outro contaminante (poeira ou qualquer corpo estranho ao experimento). Também foi preparado um terceiro recipiente que continha apenas 10L de água (sem contaminação por chumbo), onde foram inseridos dois espécimes de aninga para ser o grupo controle (Experimento 3: Exp3) (Figura 2). Ressalta-se que os exemplares de aninga testados apresentavam o mesmo número de folhas.

Antes de iniciar a experimentação, as plantas e a água foram analisadas quimicamente para verificar se não apresentavam traços de chumbo. Os experimentos Exp1, Exp2 e Exp3 tiveram a duração de 21 dias, adaptando o protocolo de contaminação de Osten (2015). As análises químicas dos espécimes de aninga testadas foram retiradas amostras da raiz, caule e folha, sendo que as raízes foram lavadas para que na parte externa não houvessem traços do metal, afim de evitar erros quando fossem feitas as análises. A água também foi coletada em frascos de polietileno de 500mL devidamente esterilizados.

Figura 2: Exemplares de Aninga nos recipientes de Experimentação contaminados propositalmente (Contaminação induzida) por Pb e no recipiente Experimental – grupo controle, correspondentes aos Experimentos 1 (Exp1); Experimento 2 (Exp2); Experimento 3 (Exp3).



Fonte: Elaboração própria.

2.3 Procedimento para análise química das amostras

Ainda em laboratório, as amostras de aninga foram colocadas em bandejas e deixadas em temperatura ambiente por 3 (três) dias, para a retirada do excesso de água. Após esse período foram introduzidas em estufa, a 60°C, onde permaneceram por 5 (cinco) dias, até ficarem totalmente secas e quebradiças. Em seguida, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas para esfriadas em temperatura ambiente. Posteriormente, as raízes, caule e folhas da *M. linifera*, separadamente, foram cortados, serrados e triturados até virarem pó, e posteriormente peneirados com uma malha de 1 mm para obtenção do pó mais fino.

As amostras de água foram filtradas em papel filtro, após esse procedimento de filtragem foi retirado o filtro e acrescentou-se HNO₃ até o pH ficar igual ou menor que 2. Após esse procedimento as amostras retornaram para recipientes esterilizados de polietileno (500mL) para armazenagem e acondicionado em freezer a 5°C, onde ficaram preservadas até serem feitas as análises.

A abertura das amostras de *M. linifera* e da água foram realizadas no Laboratório de Química do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia (CCNT) da Universidade do Estado do Pará (UEPA) e as análises químicas das amostras foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia (CCTE), do Campus de Pesquisa - Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

Para a determinação da presença de chumbo nas amostras de aninga (raiz, caule e folha), primeiro pesou-se 0,5g das partes da aninga porfirizadas (em pó), em balança semi-analítica (Urano, UA420), posteriormente depositada em tubo de digestão.

Em seguida, com as amostras no tubo de digestão, foi inserido 3mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado e 1mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 35% (v/v). As amostras foram homogeneizadas suavemente e depositadas no bloco digestor à 150°C , para que fossem dissolvidas e clareadas. Esse processo durou cerca de 2 horas.

Posteriormente, as amostras foram postas na capela, com temperatura ambiente, para esfriar. Em seguida, adicionou-se 10mL de água destilada no tubo de digestão para filtrar as amostras para um balão volumétrico de 50mL onde se adicionou mais água destilada, até aferir a marca do balão. Foi realizada também a mesma abertura nítrica para um branco (grupo controle), sem a transferência das amostras a serem analisadas. Após o procedimento descrito, as amostras estavam prontas para a determinação dos metais no espectrômetro de absorção atômica de chama (ICE 3000 Series Atomic Absorption Spectrometers). A abertura das amostras descritas seguiu o protocolo de Amarante et al. (2011). Para isso utilizou-se parâmetros instrumentais para a determinação do Pb que é mais recomendado para esse tipo de análise (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros instrumentais para a determinação de chumbo.

Parâmetros	Pb
Corrente da lâmpada	4 mA
Comprimento de onda	217 nm
Resolução espectral	0,5 nm

2.4 Análise de dados

Os dados obtidos foram processados e analisados descritivamente através de planilhas, gráficos e tabelas, elaboradas no programa computacional Microsoft Excel 2019.

O fator de bioacumulação (FB) corresponde a eficiência da planta em absorver metais pesados a partir do solo ou da água, acumulando em seus tecidos. Esse fator foi calculado de acordo com a equação 1 que foi adaptado de Zayed et al. (1998). Já o fator de translocação (FT) indica a eficácia da planta de translocar metais pesados da raiz às partes aéreas, (YOON et al., 2006), de acordo com a equação 2.

Ambos os fatores para serem positivos precisam obter valor maior ou igual a um (≥ 1) o que seria um número desejável para ser uma planta fitorremediadora.

$$FB = \frac{\text{Concentração de chumbo na planta final-inicial } \text{mg.kg}^{-1}}{\text{Concentração de chumbo na água inicial-final } \text{mg.L}^{-1}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$FT = \frac{\text{Concentração de chumbo na parte aérea } \text{mg.kg}^{-1}}{\text{Concentração de chumbo na raiz } \text{mg.kg}^{-1}} \quad (\text{Equação 2})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao término do experimento analisou-se a concentração de Pb presente na água e constatou-se que a concentração do metal na água dos experimentos 1 (Exp1) e 2 (Exp2) foi de 806,598 mg.L⁻¹ (80,66%) e 8,056 mg.L⁻¹ (8,05%), respectivamente, (Tabela 2). Notou-se que os exemplares de *M. linifera* do Exp2 consumiram mais água, em média de 2,15L, enquanto os espécimes de *M. linifera* do Exp1 consumiram 1,2L de água durante 21 dias de experimentação, infere-se que quanto maior quantidade de água absorvida pela planta maior seria o percentual de Pb absorvido.

Tabela 2: Concentração de Pb na água no início e ao final do experimento.

Amostras	Concentração de Pb mg.L ⁻¹		
	Início (dia 1)	Término (dia 21)	% Absorvida
Experimento 1	1000	806,598	19,34
Experimento 2	100	8,056	91,944
Experimento 3	-	-	-

A análise química detectou chumbo na aninga completa constatando o metal nas folhas, caule e raízes, com altas concentrações nas raízes, sendo verificada uma concentração bem mais elevada no Exp2 (219.705,60 mg.kg⁻¹), quando comparado ao Exp1 (62.724,51 mg.kg⁻¹). A menor concentração foi observada nas folhas (79,4 mg.kg⁻¹) e caule (89,14 mg.kg⁻¹) do Exp1 (Tabela 3). Quanto a isso, verificou-se que a aninga do experimento 2 absorveu aproximadamente 92% do Pb presente na água enquanto que no experimento 1 absorveu 19,34% do Pb que estava disponível na água (Tabela 2), isso explica também a grande diferença de concentração nas raízes (Tabela 3). No Exp3 (grupo controle) não foi detectado Pb nas amostras, o que já era previsto.

Tabela 3: Concentração de Pb detectado na *M. linifera* e fatores de bioacumulação e translocação na biomassa da planta.

	Concentrações de Pb Folha	Concentração de Pb na aninga mg.kg ⁻¹			Fator de Bioacumulação	Fator de Translocação
		Caule	Raiz			
Exp1	1000 mg.L⁻¹	79,40	89,14	62.724,51	325,19	0,0027
Exp2	100 mg.L⁻¹	147,68	97,78	219.705,60	2.392,23	0,0011
Exp3	0 mg.L⁻¹	-	-	-	-	-

O resultado das concentrações de Pb nas raízes da aninga corroboram o trabalho de Epstein (1975), o qual constatou que a capacidade das raízes em absorver íons inorgânicos é maior quando estão sujeitas a baixas concentrações, o que foi observado para, *M. linifera* no experimento 2 quando absorveu uma maior concentração de Pb. Já a planta do experimento 1 por se encontrar sob alta concentração de Pb, absorveu menos deste elemento por estar em condição de estresse radicular (SILVA et al., 2015).

Segundo Vasconcellos et al. (2012) e Galal et al. (2018), a técnica de rizofiltração consiste na absorção de contaminantes pela raiz em solução aquosa, porém, a translocação para a parte aérea da planta vai depender do tipo de contaminante, ou seja, não é qualquer metal pesado que a planta consegue translocar com eficiência. No presente estudo, constatou-se que as aningas, em ambos os experimentos, não foram capazes de fazer a translocação do chumbo para suas partes aéreas, pois os valores das análises

do FT foram inferiores a 1 (Exp1 = 0,0027 e Exp2 = 0,0011), tal resultado já era esperado, pois as aningas acumularam em suas partes aéreas o equivalente a 0,27% (Exp1) e 0,11% (Exp2), corroborando com Silva (2012), ao afirmar que as plantas são capazes de translocar no máximo 3% do chumbo acumulado nas raízes.

Embora, os valores de chumbo acumulados nas partes áreas das aningas tenham sido baixos (Exp1: folhas = 79,40 mg.kg⁻¹ e caule = 89,14 mg.kg⁻¹; Exp2: folhas = 147,68 mg.kg⁻¹ e caule = 97,78 mg.kg⁻¹), em relação ao das raízes (Tabela 2), esses valores são considerados tóxicos para plantas, pois as concentrações de chumbo consideradas normais para a porção aérea, em tecidos vegetais secos, devem estar entre 0,2 a 20,0 mg.kg⁻¹, segundo Kabata-Pendias e Pendias (1992) ou entre 2,0 a 7,0 mg.kg⁻¹, conforme Bergmann (1992).

Diante disso, pôde-se comprovar que a *M. linifera* possui característica hiperacumuladora, visto que, uma grande quantidade do chumbo ficou bioacumulada nas suas raízes, valores esses superiores (Exp1 = 62.724,51 mg kg⁻¹; Exp2 = 219.705,60 mg kg⁻¹) aos estimados para as plantas consideradas hiperacumuladoras de chumbo, as quais são capazes de extrair e acumular valores acima de 1.000 mg.kg⁻¹ de Pb em tecido seco (ALMEIDA, 2012). Além disso, Malik e Biswas (2012); González-Chávez et al. (2017) e Munive-Cerrón et al. (2018) descrevem que as plantas exclusoras possuem um FT e FB menor que 1, portanto haverá um acúmulo de metais pesados em suas raízes, entretanto o transporte desse metal para as partes aéreas da planta não será muito eficiente.

Portanto, *M. linifera* pode ser classificada como uma excelente bioacumuladora de Pb, devido as altas concentrações desse metal em suas raízes em relação ao ambiente contaminado, a exemplo do ambiente simulado, onde ela permaneceu por 21 dias. Destaca-se ainda que os valores de FB observados, tanto no Exp1 (325,19) quanto no Exp2 (2392,23), qualificam *M. linifera* como uma planta fitorremediadora para chumbo, pois segundo Yoon et al. (2006), os vegetais que possuem o fator de bioacumulação (FB) maior que 1 e fator de translocação menor do que 1, podem ser utilizadas na fitoestabilização.

Ressalta-se que estudos de Botelho et al. (2019) indicam que a aninga pode ser utilizada como fitorremediadora, mas para outros metais como cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd) e manganês (Mn). Logo, os resultados obtidos neste estudo experimental apresentam caráter de ineditismo, uma vez que permitiu verificar a possibilidade da aninga *M. linifera* ser qualificada como fitorremediadora também para Pb.

A espécie *M. linifera* também pode ser classificada como uma planta tolerante e fitoestabilizadora, capaz de diminuir os danos ambientais causados por metais pesados que estejam no solo e/ou na água e ainda de controlar o risco de erosão e lixiviação de poluentes em ambientes aquáticos (ZHAO e MCGRANTH, 2009).

4. CONCLUSÃO

O estudo sobre a contaminação de chumbo, ao qual a macrófita aquática *Montrichardia linifera* foi exposta, possibilitou gerar informações importantes e pioneiras para os efeitos do chumbo sobre esta espécie de planta aquática amazônica. Os resultados permitiram comprovar que essa planta consegue retirar (bioacumular) do meio ambiente quase todo o chumbo a que foi exposta, em um período pequeno de três semanas.

Destaca-se que neste estudo também foi observado que a aninga conseguiu sobreviver a grandes concentrações de chumbo, consideradas tóxicas para plantas. Quanto ao fator acumulador, observou-se que *M. linifera* pode ser considerada uma planta hiperacumuladora, fitoestabilizadora e potencialmente fitorremediadora para o chumbo (Pb), sendo estas informações consideradas as primeiras para este metal pesado, em relação a esta espécie de macrófita aquática.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. Plantas acumuladoras de metais pesados no solo – uma revisão. **Revista de Biotecnologia & Ciência**. v. 2, n. 1, p. 28-46. 2012.
- AMARANTE, C. B.; MÜLLER, R. C. S.; DANTAS, K. G. F.; ALVES, C. N. MÜLLER A. H.; PALHETA, D. C. Composição química e valor nutricional para grandes herbívoros das folhas e frutos de aninga (**Montrichardia linifera**, **Araceae**). **Acta Amazonica**, v. 40, n. 4, p. 729-736. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000400013>
- AMARANTE, C. B.; SILVA, J. C. F.; MÜLLER, R. C. S.; MÜLLER A. H. Avaliação da composição mineral do chá da folha senescente de **Montrichardia linifera** (Arruda) schott (Araceae) por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS). **Quím. Nova**, v. 34, n. 3, p. 419-423. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300010>
- AMARANTE, C. B.; SILVA, J. C. F.; SOLANO, F. A. R.; NASCIMENTO, L. D.; MORAES, L. G.; SILVA, G. F.; UNO, W. S. Estudo Espectrométrico Das Folhas Da Aninga (**Montrichardia linefera**) Coletadas à Margem do Rio Guamá no Campus Da UFPA, Belém-PA. Uma Contribuição ao Estudo Químico da Família Araceae. **Revista Científica da UFPA**, v. 7, n. 1, p. 1-15. 2009.
- ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMAN, C. B. Metais pesados em solo de área de mineração e metalurgia de chumbo. I – Fitoextração. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1879-1888. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600037>
- BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO. Cadmium toxicity in plants. **Braz. J. Plant. Physiol.** v. 17, n. 1, p. 21-34. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100003>
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. p. 741.
- BERTOLI, A. C.; CARVALHO, R.; CANNATA, M. G.; BASTOS, A. R. R.; AUGUSTO, A. S. Toxidez do chumbo no teor e translocação de nutrientes em tomateiro. **Biotemas**, v. 4, n. 24, p.7-15, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n4p7>
- BOFFE, P. M.; CALEGARI, R. P.; SOUZA, D. C. R.; CONCEIÇÃO, P. S.; SZYMCZAK, D. A.; TESSARO, D. Potencial fitoextrator da espécie vegetal **Helianthus annuus** l. em solo contaminado por chumbo. **Revista Espacios**. v. 38, n. 09, p. 08-19. 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190081>
- BOTELHO, A. S.; AMARANTE, C. B.; BATISTA, R. J. R.; CHAVES, S. H. R.; PRADO, A. F. Avaliação do Potencial Bioacumulador e Fitorremediador da Parte Aérea de Montrichardia linifera (Arruda) Schott. **Rev. Virtual Quim.**, v. 11, n. 4, p. 1180-1189. 2019. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190081>
- CRUZ, M. B.; KARAM, D.; AGUIAR, R.; MELLO, J. W. V. ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM EFLUENTE DE MINERAÇÃO POR **Pistia stratiotes**., Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, São Lourenço – MG. 2009.
- DAZY, M.; BÉRAUD, E.; COTELLE, S.; GRÈVILLIOT, F.; FÉRARD, J. F.; MASFARAUD, J. F. Changes in plant communities along soil pollution gradients: responses of leaf antioxidant enzyme activities and phytochelatin contents. **Chemosphere**. v. 77, n. 3, p. 376-383. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.021>
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo / Rio de Janeiro, Ed. da Universidade de São Paulo e Livros Tec. e Cient. Editora, 1975. p. 341.

- GALAL, T. M.; EID, E. M.; DAKHIL, M. A.; HASSAN, L. M. Bioaccumulation and rhizofiltration potential of *Pistia stratiotes* L. for mitigating water pollution in the Egyptian wetlands. **International Journal of Phytoremediation**, v. 20, n. 5, p. 440–447. 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365343>
- GALLEGO, S. M.; PENA, L. B.; BARCIA, R. A.; AZPILICUETA, C. E.; IANNONE, M. F.; ROSALES, E. P.; BENAVIDES, M. P. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. **Environmental and Experimental Botany**. v. 83 p. 33-46. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.006>
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. A.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, A. S. Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitorremediación de suelos. **Agroproductividad**. v. 10 n. 4, p. 3-7, 2017.
- GUELF, A. Resposta das enzimas antioxidantes em linhagens de fundo *Aspergillus sp.* Na presença do metal pesado cádmio. 2001. 60p. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-17072002-132904/pt-br.php>>. Acesso em 11 mar. 2021.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, Boca Raton; CRC, 1992. p. 413.
- MALIK, N.; BISWAS, A. K. Role of higher plants in remediation of metal contaminated sites. **Sci. Rev. Chem. Commun.**, v. 2, n. 2, p. 141-146. 2012.
- MUNIVE-CERRÓN, R.; FIGUEROA, O. L.; LEYTON, A. A.; SÁNCHEZ, G. G. **Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados**. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 4, p. 551-560. 2018.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- NADGÓRSKA-SOCHA, A.; KANDZIORA-CIUPA, M.; CIEPAL, R. Element accumulation, distribution, and phytoremediation potential in selected metallophytes growing in a contaminated area. **Environ Monit Assess**. v. 187, n. 441, p. 1-15, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4680-6>
- OH, K.; CAO, T.; LI, T.; CHENG, H. Study on Application of Phytoremediation Technology in Management and Remediation of Contaminated Soils. **Journal Of Clean Energy Technologies**. v. 2, n. 3, p. 216-220. 2014. DOI: 10.7763/JOCET.2014.V2.126
- OSTEN, J. C. V. D. BIOACUMULAÇÃO DE COBRE POR TRÊS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS: IMPLICAÇÕES PARA MANEJO DE EFLUENTES. 2015. 32p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Mato Grosso - UFMT, Sinop - MT. Disponível em <https://ri.ufmt.br/bitstream/1/2174/1/DISS_2015_Janaina%20Saiz%20Cassins%20Von%20Der%20Osten.pdf> Acesso em 12 mar. 2021.
- PEREIRA, M. P.; PEREIRA, F. J.; RODRIGUES, L. C. A.; BARBOSA, S.; CASTRO, E. M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. **Revista Agro@mbiente On-line**. v. 7, n. 1, p. 36-43. 2013. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.895>
- PINTO, L. E. S.; CÂMARA, M. Y. F.; DE FREITAS, F. B. A.; PINTO, F. G. H. S.; SANTOS, A. G. D.; MARTINS, D. F. F. Determinação da potencialidade de utilização da *Pistia stratiotes* como agente fitorremediador de ambientes naturais. **Química: ciência, tecnologia e sociedade**. v. 4, n. 1, p. 1-11. 2015. DOI: 10.5151/chenpro-5erq-am21

RIBEIRO, S. M. ANÁLISE DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS (DA ÁGUA E DOS INSETOS DA ORDEM ODONATA) PARA BIOMONITORAMENTO AMBIENTAL. 2019. 83p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12092>> Acesso em 12 mar. 2021.

SCHNEIDER, I. A. H. Bioissorção de Metais Pesados com a Biomassa de Macrófitos Aquáticos. 1995. 158p. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96089/000202084.pdf>> Acesso em 12 mar. 2021.

SHAHID, M.; PINELLI, E.; POURRUT, B.; SILVESTRE, J.; DUMAT, C. Lead-induced genotoxicity to *Vicia faba* L. roots in relation with metal cell uptake and initial speciation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 74, n.1, p. 78–84. 2011. DOI: 10.1016 / j.ecoenv.2010.08.037

SILVA, P. C. C.; JESUS, F. N.; ALVES, A. C.; JESUS, C. A. S.; SANTOS, A. R. Crescimento de plantas de girassol cultivadas em ambiente contaminado por chumbo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.29, Supplement 1, p. 1576–1586. 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_001

SILVA, J. F. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados. 2012. 91p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Amazonas. Disponível em <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3075>> Acesso em 12 mar. 2021.

SILVA, P. C. C.; JESUS, F. N.; ALVES, A. C.; JESUS, C. A. S.; SANTOS, A. R., Crescimento de plantas de girassol cultivadas em ambiente contaminado por chumbo. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 29, n. 1, p. 1576–1586. 2013.

SILVA, T. J.; HANSTED, F.; TONELLO, P. S.; GOVEIA, D. Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais. **Revista Virtual de Química**. v. 11, n. 1, p. 18–34. 2019. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190003>

SILVA, V. L.; CARVALHO, R.; FREITAS, M. P.; TORMENA, C. F.; MELO, W. C., 2007. Pectrometric and theoretical investigation of the structures of Cu and Pb/DTPA complexes. *Struct. Chem.* v.18, 605–609. <https://doi.org/10.1007/s11224-007-9192-8>

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo: Phytoremediation: A proposal of soil decontamination. **Estudos de Biologia: Ambiente Divers**. v. 83, n. 34, p. 261–267. 2012. DOI: 10.7213/estud.biol.7338

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L.Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, v. 368, p. 456–464. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>

ZAYED, A.; GOWTHAMAN, S.; TERRY, N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I Douckweed. **Jounal of Environment Quality**. v. 27, n. 3, p. 715–721. 1998. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700030032x>

ZHAO, F.; MCGRATH, S. P. Biofortification and phytoremediation. **Current Opinion in Plant Biology**. v.12, n. 3, p. 373–380. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.005>

1 Universidade do Estado do Rio de Janeiro - E-mail: limawilson01@gmail.com

2 Universidade do Estado do Pará - UEPA - E-mail: algutjahr@uepa.com.br

3 E-mail: carlosbraga@uepa.com.br

Recebido em: 3 de Novembro de 2021

Avaliado em: 12 de Novembro de 2021

Aceito em: 14 de Dezembro de 2021



www.periodicos.uniftc.edu.br



Periódico licenciado com Creative Commons
Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.