

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335667387>

# Bioaccumulator and Phytoremediation Potential Evaluation of Aerial Part of *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott

Article in *Revista Virtual de Química* · January 2019

DOI: 10.21577/1984-6835.20190081

CITATIONS

0

READS

195

5 authors, including:



Alejandro Prado

Federal University of Para

43 PUBLICATIONS 361 CITATIONS

SEE PROFILE

## Artigo

**Avaliação do Potencial Bioacumulador e Fitorremediador da Parte Aérea de *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott****Botelho, A. S.; Amarante, C. B.\*; Batista, R. J. R.; Chaves, S. H. R.; Prado, A. F.**

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (4), 1180-1189. Data de publicação na Web: 8 de agosto de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>**Bioaccumulator and Phytoremediation Potential Evaluation of Aerial Part of *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott**

**Abstract:** The environmental pollution caused by heavy metal has increased of the advance of industrial and agricultural activities. Among the techniques of contaminated environments treatment, phytoremediation stands out for having efficient, cheap and harmless method. Researches of *Montrichardia linifera*, an aquatic macrophyte found extensively on the banks of Amazonian rivers, show that the plant absorbs high concentrations of manganese, which may be indicative of plant bioaccumulation of this metal. Thus, the objective of this study was to evaluate the potential bioaccumulator and phytoremediate of the aerial part of *M. linifera* comparing the contents of metals found in the plant with those found in the soil. The samples of leaf, petiole, stem and soil were collected in the aninga of the campus of the Museu Paraense Emílio Goeldi and determined the  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  flame atomic absorption spectrometer. *M. linifera* presented high bioaccumulation of almost all the analyzed metals, mainly manganese in the leaves ( $149.11 \mu\text{g g}^{-1}$ ) and zinc in the petiole ( $10.36 \text{ mg g}^{-1}$ ) with about 16.5 and 10.7 times, respectively, the concentration present in the soil. The results show that the plant accumulates large amounts of manganese, zinc, cadmium and copper in its aerial part, with contents well above that available in the soil, thus possessing great potential for application in the phytoremediation of environments contaminated by these metals.


**Keywords:** Aninga; contaminants; heavy metals.

**Resumo**

A poluição ambiental ocasionada por metais potencialmente tóxicos tem aumentado com o avanço da atividade industrial e agrícola. Dentre as técnicas de tratamento de ambientes contaminados, destaca-se a fitorremediação: por ser um método eficiente, barato e inofensivo ao meio ambiente já que utiliza plantas para realizar o tratamento. Estudos realizados com a *Montrichardia linifera*, uma macrófita aquática encontrada vastamente às margens dos rios amazônicos, mostram que a planta absorve altas concentrações de manganês, o que pode ser um indicativo de bioacumulação deste metal por parte da planta. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial bioacumulador e fitorremediador da parte aérea de *M. linifera* comparando os teores de metais encontrados na planta com os encontrados no solo. As amostras de folha, pecíolo, caule e solo foram coletadas no aninga do campus pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi e determinados os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  do material seco em espectrômetro de absorção atômica de chama. A *M. linifera* apresentou alta bioacumulação de quase todos os metais analisados, principalmente manganês nas folhas ( $149,11 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e zinco no pecíolo ( $10,36 \text{ mg g}^{-1}$ ) com cerca de 16,5 e 10,7 vezes, respectivamente, a concentração presente no solo. Os resultados mostram que planta acumula grandes quantidades de manganês, zinco, cádmio e cobre em sua parte aérea, com teores bem superiores ao disponível no solo, possuindo assim grande potencial para aplicação na fitorremediação de ambientes contaminados por esses metais.

**Palavras-chave:** Aninga; contaminantes; metais potencialmente tóxicos.

\* Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Campus Pesquisa, CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

 [cbamarante@museu-goeldi.br](mailto:cbamarante@museu-goeldi.br)

DOI: [10.21577/1984-6835.20190081](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190081)

## **Avaliação do Potencial Bioacumulador e Fitorremediador da Parte Aérea de *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott**

**Anderson S. Botelho,<sup>a</sup> Cristine B. do Amarante,<sup>b,\*</sup> Raimundo J. R. Batista,<sup>b</sup> Sandro H. R. Chaves,<sup>a</sup> Alejandro F. do Prado<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

<sup>b</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Campus Pesquisa, CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

\* [cbamarante@museu-goeldi.br](mailto:cbamarante@museu-goeldi.br)

*Recebido em 7 de junho de 2019. Aceito para publicação em 19 de junho de 2019*

### **1. Introdução**

### **2. Materiais e Métodos**

#### **2.1. Coleta e preparo das amostras**

#### **2.2. Digestão das amostras**

#### **2.3. Determinação da composição mineral**

#### **2.4. Análise de bioacumulação**

### **3. Resultados e Discussão**

### **4. Considerações Finais**

### **1. Introdução**

A poluição ambiental é um dos principais problemas da atualidade.<sup>1</sup> Diversas atividades industriais e agrícolas levam à contaminação de águas e solos por metais potencialmente tóxicos, o que tem recebido a atenção de pesquisadores e órgãos governamentais para o controle da poluição.<sup>2</sup> Existem muitas técnicas para a remediação de solos contaminados, como a utilização de aterros e produtos químicos, entretanto estas medidas são extremamente caras e nem sempre levam

a completa remoção do contaminante.<sup>3,4</sup> Nesse contexto plantas fitorremediadoras tem sido bastante visadas.<sup>1</sup>

A fitorremediação é uma técnica emergente realizada para o tratamento de ambientes contaminados por metais, no qual utiliza a bioacumulação das plantas, ou seja, a capacidade das plantas de bioacumular esses contaminantes, removendo-os do ambiente.<sup>1,5-7</sup> Assim, uma planta pode ser considerada fitorremediadora de metais se for capaz de acumular altas concentrações do contaminante sem apresentar consequências para a mesma.<sup>1</sup> O acúmulo desses metais nas

partes aéreas é preferencial, visto que as mesmas são renováveis e de fácil remoção, assim o contaminante é removido juntamente com a biomassa e tratado por compostagem, compactação, secagem ou decomposição térmica sem a necessidade de remoção completa da planta.<sup>8</sup> Além de ser um método eficiente, barato e inofensivo ao meio ambiente, é muito aceito pelo público, principalmente pela estética e sustentabilidade.<sup>3</sup>

Muitas espécies vegetais apresentam a capacidade de bioacumular altas quantidades de metais potencialmente tóxicos, dentre as quais estão as macrófitas aquáticas, como a *Pistia stratiotes*, *Typha domingensis* e *Montrichardia linifera* que apresentam altas concentrações de manganês na composição mineral.<sup>1,9-11</sup> Essa alta capacidade de acumulação torna essas plantas uma excelente alternativa para a remediação de ambientes contaminados por esses metais, onde é possível reunir sustentabilidade e economia.<sup>12</sup>

A utilização de plantas fitorremediadoras de metais em áreas de mineração, por exemplo, que geram grande quantidade de resíduos e induzem a contaminação do solo por metais potencialmente tóxicos, reduz a mobilidade e biodisponibilidade desses metais evitando que estes entrem na cadeia alimentar ou atinjam águas subterrâneas e superficiais trazendo controle da poluição, estabilização, melhoria visual e remoção de ameaças aos seres humanos.<sup>13</sup>

A *Montrichardia linifera* é uma macrófita aquática pertencente à família Araceae, típica de regiões tropicais.<sup>14</sup> Conhecida popularmente como “aninga”, é vastamente encontrada ao longo das margens dos rios amazônicos e em outros ecossistemas inundáveis.<sup>15</sup> A planta é muito conhecida pelas propriedades medicinais e diversos estudos encontraram altas concentrações de metais potencialmente tóxicos na mesma, principalmente o manganês.<sup>15-18</sup> Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o potencial bioacumulador de metais das partes aéreas de *Montrichardia linifera* para uma

possível aplicação na fitorremediação de ambiente contaminados.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Coleta e preparo das amostras

As amostras de folhas, pecíolo, caule e solo foram coletadas em 3 pontos distintos no aningal do Campus Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi (1°26'59.3"S 48°26'47.1"W) localizado na cidade de Belém do Pará. Após a coleta as amostras vegetais foram lavadas com água corrente, secas em estufa a 60 °C até peso constante e trituradas em moinho de faca para obtenção do pó. O solo foi seco em sala climatizada, macerado e peneirado (peneira com abertura de 1 mm) para retirada de resíduos fibrosos.

### 2.2. Digestão das amostras

Para a digestão das amostras vegetais foi realizada digestão úmida com solução nitro perclórica, na proporção de 3:1 de ácido nítrico (P.A) e ácido perclórico (P.A), respectivamente, segundo a metodologia descrita por Miyazama et al.<sup>19</sup> Foi pesado 500 mg do material triturado, transferido para um tubo Kjeldahl (80 mL), adicionados 8 mL da solução nitro perclórica e deixado a frio durante a noite em bloco digestor. Posteriormente, elevou-se a temperatura do bloco digestor para 120 °C até o total desprendimento do vapor castanho e depois a 200 °C até o total desprendimento do vapor branco. Deixou-se esfriar. Após a digestão, as amostras foram filtradas, transferidas para balões volumétricos de 50 mL e aferidos até a marca com água deionizada. A partir da solução resultante, foi realizada a determinação da composição mineral. As amostras e o material de referência Apple Leaves 1515 (NIST) foram digeridos em quadruplicata e branco analítico foi preparado pelo mesmo método sem adição da amostra.

Para as amostras de solo foi realizada a digestão com solução extrativa de Mehlich (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>).<sup>14</sup> Foi pesado 5g do material peneirado, transferido para um erlenmeyer de 125 mL, adicionados 50 mL da solução extrativa e colocado em agitador horizontal por 30 minutos. A digestão foi realizada em quadruplicata e branco analítico foi preparado pelo mesmo método sem adição da amostra. Após esse período, as amostras foram filtradas e a composição mineral foi determinada a partir da solução resultante.

### 2.3. Determinação de metais potencialmente tóxicos

A determinação dos metais foi realizada no Laboratório de Análises Químicas do Campus Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi utilizando-se de um espectrômetro de absorção atômica de chama da marca Thermo, modelo ICE3000. Foi utilizada a chama de ar/acetileno para a análise de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Cd<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup> e os parâmetros instrumentais estabelecidos para a determinação destes metais estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros instrumentais utilizados na determinação de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Cd<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup> em amostras nas amostras vegetal e solo

Parâmetros	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>3+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>
Comprimento de onda (nm)	422,7	285,2	324,0	248,3	213,9	279,5	232,0	240,7	228,8	217,0
Corrente da lâmpada (mA)	5	4	4	6	10	5	5	20	3	4
Resolução Espectral (nm)	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5

As soluções analíticas de referência de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Cd<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup> foram preparadas em HNO<sub>3</sub> 1 % (v/v). Para determinação das faixas lineares, foram construídas curvas de calibração com concentrações crescentes das soluções de referência, obtidas através de diluições sucessivas de soluções estoque de 1000 mg L<sup>-1</sup> Titrisol (Merck, Darmstadt, Germany).

Para avaliar a exatidão do método, foram realizados testes de adição e recuperação das amostras de planta e solo e dos padrões, fortificadas através da adição de concentrações conhecidas dos analitos. Determinou-se a percentagem de recuperação (Rec. %) de acordo com a Equação 1:

$$Rec = \frac{C_f V_f - C_a V_a}{C_p V_p} \times 100$$

onde: C<sub>f</sub> concentração do analito na amostra fortificada; V<sub>f</sub> volume de amostra do ensaio de recuperação (V<sub>a</sub> + V<sub>p</sub>); C<sub>a</sub> concentração do analito na amostra não fortificada; V<sub>a</sub> volume de amostra utilizada no ensaio de recuperação; C<sub>p</sub> concentração do padrão de analito utilizado para fortificar a amostra; V<sub>p</sub> volume de padrão de analito utilizado no ensaio de recuperação.

### 2.4. Análise de bioacumulação

A bioacumulação de metais pela *Montrichardia linifera* foi avaliada a partir do

fator de bioacumulação (Equação 2), que é a razão entre a concentração do analito presente na planta e a encontrada no solo.

$$BAF = \frac{\text{Concentração do elemento na planta}}{\text{Concentração do elemento no solo}}$$

### 3. Resultados e Discussão

As equações das curvas de calibração e coeficientes de linearidade ( $R^2$ ), assim como os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) calculados a partir do software do equipamento, estão apresentados na Tabela 2. Os valores dos  $R^2$  mostraram que as curvas analíticas apresentaram boa linearidade e os limites de detecção e quantificação permitiram a quantificação dos analitos nas amostras.

**Tabela 2.** Dados relativos às curvas de calibração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  em  $\text{HNO}_3$  1% (v/v) e limiares analíticos

Elemento	Faixa Linear ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Equação da curva analítica	$R^2$	LD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	LQ ( $\text{mg L}^{-1}$ )
$\text{Ca}^{2+}$	0,0 - 15,0	$Y = 0,03663x - 0,0004$	0,9998	0,1492	0,4522
$\text{Mg}^{2+}$	0,0 - 1,5	$Y = 0,43157x + 0,0119$	0,9982	0,0022	0,0068
$\text{Cu}^{2+}$	0,0 - 15,0	$Y = 0,03733x + 0,0025$	0,9999	0,1741	0,5275
$\text{Fe}^{3+}$	0,0 - 15,0	$Y = 0,02833x + 0,0045$	0,9993	0,3544	1,0740
$\text{Zn}^{2+}$	0,0 - 2,0	$Y = 0,19646x + 0,0028$	0,9997	0,0063	0,0191
$\text{Mn}^{2+}$	0,0 - 10,0	$Y = 0,07551x + 0,0078$	0,0995	0,1672	0,5065
$\text{Ni}^{2+}$	0,0 - 15,0	$Y = 0,03040x + 0,0103$	0,9976	0,3505	1,0622
$\text{Co}^{3+}$	0,0 - 20,0	$Y = 0,02533x + 0,0110$	0,9967	0,6255	1,8955
$\text{Cd}^{2+}$	0,0 - 5,0	$Y = 0,17710x + 0,0008$	0,9999	0,0268	0,0811
$\text{Pb}^{2+}$	0,0 - 25,0	$Y = 0,02035x + 0,0016$	0,9998	0,2212	0,6702

$R^2$  = Coeficiente de linearidade; LD = Limite de Detecção; LQ = Limite de Quantificação

A metodologia utilizada apresentou boa exatidão nos ensaios de recuperação com valores próximos dos 100 %. Estes se situaram nos seguintes intervalos: 104-108 % ( $\text{Ca}^{2+}$ ), 102-108 % ( $\text{Mg}^{2+}$ ), 101-106 % ( $\text{Cu}^{2+}$ ), 104-106 % ( $\text{Fe}^{3+}$ ), 105-107 % ( $\text{Zn}^{2+}$ ), 104-106 % ( $\text{Mn}^{2+}$ ), 104-108 % ( $\text{Ni}^{2+}$ ), 94-106 % ( $\text{Co}^{3+}$ ), 101-102 % ( $\text{Cd}^{2+}$ ) e 103-107 % ( $\text{Pb}^{2+}$ ).

Os resultados encontrados para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  no

material de referência pela metodologia aplicada estão apresentados na Tabela 3. Os resultados obtidos para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  corroboram com o valor certificado, validando a metodologia aplicada para esses elementos. As concentrações de  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  no material de referência são baixas e não puderam ser determinadas pela metodologia, ficando abaixo do limite de detecção.

**Tabela 3.** Resultados analíticos para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  no material de referência Apple Leaves 1515

Amostra	Elemento	Valor medido ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Valor certificado ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Apple Leaves (1515)	$\text{Ca}^{2+}$	$16356,92 \pm 298,28$	15250
	$\text{Mg}^{2+}$	$2587,92 \pm 33,51$	2710
	$\text{Cu}^{2+}$	$5,56 \pm 0,23$	5,69
	$\text{Fe}^{3+}$	$74,88 \pm 6,25$	82,7
	$\text{Zn}^{2+}$	$12,49 \pm 4,88$	12,45
	$\text{Mn}^{2+}$	$54,44 \pm 0,96$	54,1
	$\text{Ni}^{2+}$	< LD	0,936
	$\text{Co}^{3+}$	< LD	0,09
	$\text{Cd}^{2+}$	< LD	0,0132
	$\text{Pb}^{2+}$	< LD	0,47

Limites de detecção em  $\text{mg L}^{-1}$ :  $\text{Ni}^{2+} = 0,3505$ ;  $\text{Co}^{3+} = 0,6255$ ;  $\text{Cd}^{2+} = 0,0268$ ;  $\text{Pb}^{2+} = 0,2212$

Os resultados obtidos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  nas amostras secas de folha, caule e pecíolo de *Montrichardia linifera*, assim como do solo estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teores médios (em  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e respectivos desvios padrão  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  nas amostras secas de *Montrichardia linifera* e solo coletados no Campus Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi

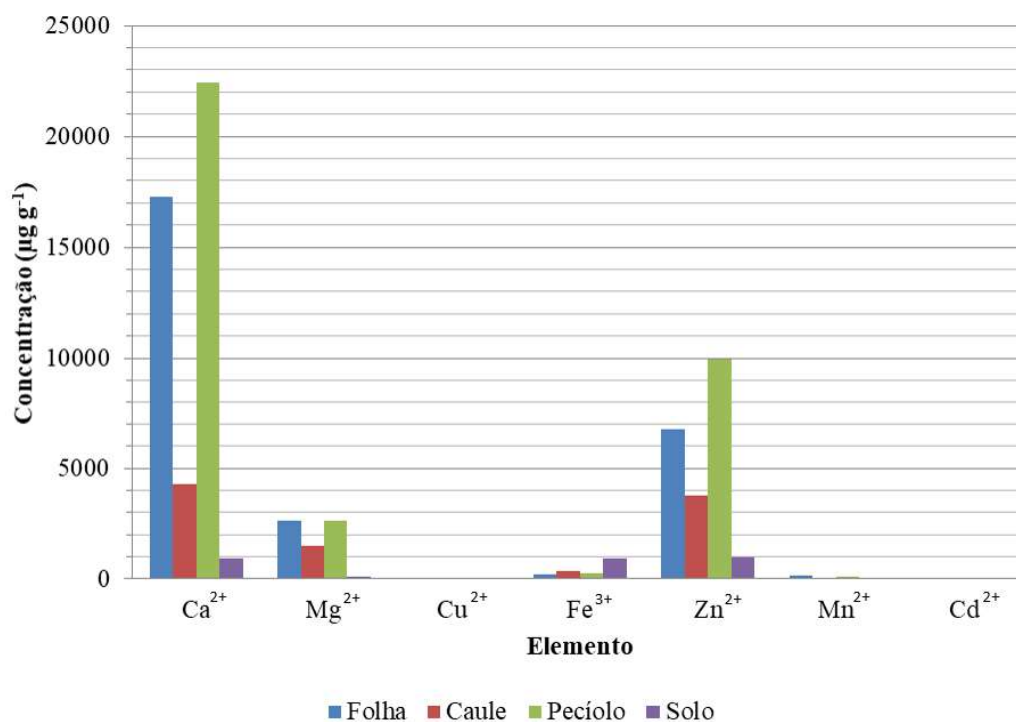
Elemento	Teores médios ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )			
	Folha	Caule	Pecíolo	Solo
$\text{Ca}^{2+}$	$17260,37 \pm 399,77$	$4281,32 \pm 337,13$	$22435,15 \pm 1078,46$	$942,48 \pm 5,07$
$\text{Mg}^{2+}$	$2607,57 \pm 40,07$	$1476,28 \pm 22,90$	$2641,69 \pm 107,77$	$78,60 \pm 0,30$
$\text{Cu}^{2+}$	$11,65 \pm 0,33$	$11,84 \pm 0,10$	$8,14 \pm 0,88$	$4,42 \pm 0,07$
$\text{Fe}^{3+}$	$219,62 \pm 16,96$	$366,78 \pm 14,81$	$248,45 \pm 35,88$	$933,72 \pm 17,01$
$\text{Zn}^{2+}$	$6727,77 \pm 65,92$	$3747,3 \pm 141,52$	$10356,97 \pm 96,93$	$965,39 \pm 19,56$
$\text{Mn}^{2+}$	$149,11 \pm 2,94$	$29,79 \pm 1,12$	$96,28 \pm 4,53$	$9,04 \pm 0,02$
$\text{Ni}^{2+}$	< LD	< LD	< LD	< LD
$\text{Co}^{3+}$	< LD	< LD	< LD	< LD
$\text{Cd}^{2+}$	< LQ	< LQ	$1,68 \pm 0,16$	$0,966175 \pm 0,01$
$\text{Pb}^{2+}$	< LD	< LD	< LD	< LD

Limites de Detecção e Quantificação: LD  $\text{Ni}^{2+} = 0,3505 \text{ mg L}^{-1}$ ; LD  $\text{Co}^{3+} = 0,6255 \text{ mg L}^{-1}$ ; LQ  $\text{Cd}^{2+} = 0,0811 \text{ mg L}^{-1}$ ; LD  $\text{Pb}^{2+} = 0,2212 \text{ mg L}^{-1}$

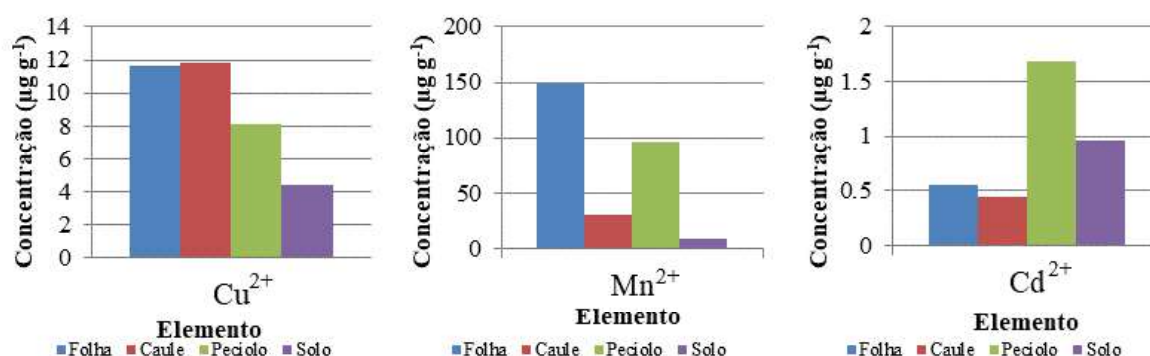


Nas Figuras 1 e 2 é possível observar que as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  são bem superiores às encontradas no solo, assim como o  $\text{Mg}^{2+}$ , possivelmente pelo fato de a planta formar cristais de oxalato de cálcio e que os elementos  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  na matéria vegetal se apresentaram bem superiores às encontradas no solo e inferiores em relação

ao  $\text{Fe}^{3+}$ . Observa-se também que o teor de  $\text{Cd}^{2+}$  no pecíolo é maior que o encontrado no solo e que nas folhas e caules as concentrações não foram quantificáveis pelo método. Os elementos  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  se apresentaram abaixo do limite de detecção em todas as amostras pela metodologia aplicada.



**Figura 1.** Comparação entre os teores médios (em  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) encontrados para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  nas amostras secas de folha, caule e pecíolo de *Montrichardia linifera* e solo coletados no Campus Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi



**Figura 2.** Comparação entre os teores médios (em  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) encontrados para  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  nas amostras secas de folha, caule e pecíolo de *Montrichardia linifera* e solo coletados no Campus Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi

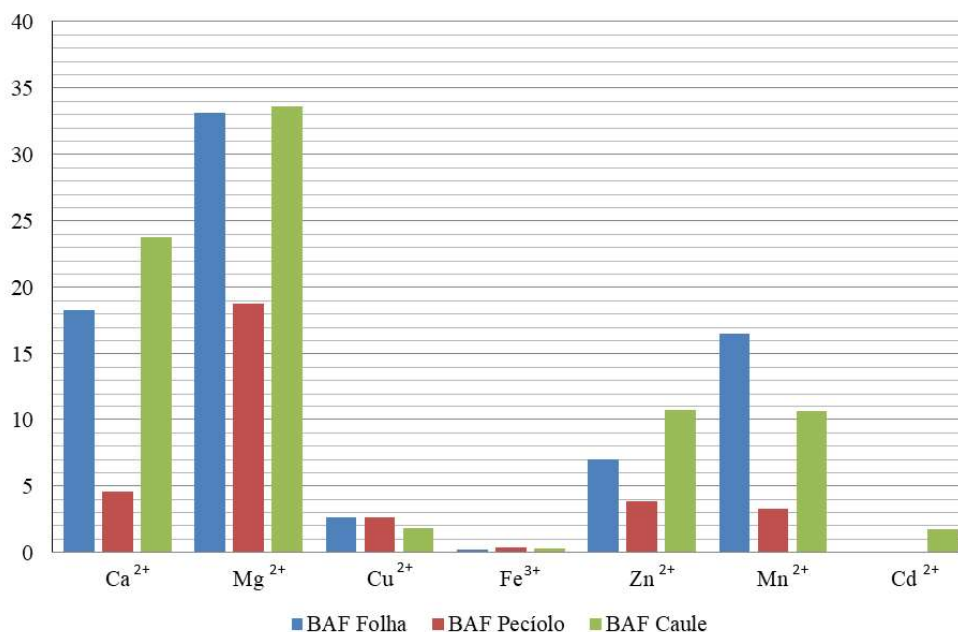


Os resultados de análise de bioacumulação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  pela *Montrichardia linifera* estão apresentados na Tabela 5 e na Figura 3. O fator de bioacumulação calculado para os elementos foi maior que 1 em praticamente toda a parte aérea da planta, com exceção do ferro, demonstrando que a concentração deste na planta é superior a biodisponível no solo. A

análise da tabela e do gráfico demonstra que a folha apresentou a maior absorção de manganês ( $149,11 \mu\text{g g}^{-1}$ ), cerca de 16,5 vezes maior do que o presente no solo ( $9,04 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e o pecíolo a maior absorção de zinco ( $10,36 \text{ mg g}^{-1}$ ), cádmio ( $1,68 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e cobre ( $11,84 \mu\text{g g}^{-1}$ ), cerca de 10,7, 1,7 e 2,7 vezes, respectivamente, maior que o presente no solo ( $965,39$ ,  $0,98$  e  $4,42 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

**Tabela 5.** Fator de bioacumulação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  pela *Montrichardia linifera*

Elementos	BAF		
	Folha	Pecíolo	Caule
$\text{Ca}^{2+}$	18,3	4,5	23,8
$\text{Mg}^{2+}$	33,2	18,8	33,6
$\text{Cu}^{2+}$	2,6	2,7	1,8
$\text{Fe}^{3+}$	0,2	0,4	0,3
$\text{Zn}^{2+}$	7,0	3,9	10,7
$\text{Mn}^{2+}$	16,5	3,3	10,7
$\text{Cd}^{2+}$	0,0	0,0	1,7



**Figura 3.** Representação dos valores de bioacumulação obtidos de *Montrichardia linifera*

A bioacumulação de manganês pelas partes aéreas de *M. linifera* apresentada neste trabalho foi muito superior a encontrada em *Pistia stratiotes* e *Typha dominguensis*, plantas que têm apresentado potencial fitorremediador, onde foi encontrada concentração de 5,75 e 1,5 vezes, respectivamente, maior na planta do que a encontrada no ambiente<sup>9,10</sup>. Além da alta capacidade de bioacumulação, a *M. linifera* é uma planta robusta, com folhas largas, de grande porte, de rápido crescimento e de fácil acesso, que lhe confere até mesmo a extração em larga escala de bioativos<sup>20</sup>, apresentando um diferencial em relação às demais macrófitas aquáticas, o que a torna uma excelente alternativa no tratamento de ambientes contaminados por metais.

Os resultados obtidos até aqui corroboram com dados da literatura acerca da alta absorção de manganês pela planta em outros locais de coleta<sup>11, 15-17</sup> e, adicionalmente, mostram que a planta também absorve grandes quantidades de zinco, cádmio e cobre em sua parte aérea. A alta concentração destes metais potencialmente tóxicos na parte aérea não influenciou na absorção dos macronutrientes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, mostrando aceitabilidade da espécie a ambientes contaminados por aqueles metais. Assim, esses elevados teores de metais potencialmente tóxicos como manganês, zinco, cobre e cádmio na parte aérea de *M. linifera* e a capacidade de se desenvolver nessas condições indicam um grande potencial para aplicação na fitorremediação de ambientes contaminados por esses metais. Como no tratamento das águas do Rio Doce que foi contaminado por concentrações altas de metais tóxicos após o rompimento de uma barragem de rejeito de minério em Mariana-MG.

#### 4. Considerações Finais

As amostras de *Montricharida linifera* coletadas no Campus Pesquisa do Museu

Paraense Emílio Goeldi demonstram que a planta bioacumula altas concentrações de metais potencialmente tóxicos, como Cu, Zn, Mn e Cd, na parte aérea da planta. Estes resultados revelam alto potencial de aplicação da planta na fitorremediação de ambientes contaminado.

#### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> 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* **2019**, *11*, 1. [CrossRef]
- <sup>2</sup> Vieira, L. R.; Corrêa, E. S.; Moraes, B. S.; Rossato, M. V.; Vestena, S. Toxicidade de cádmio em plantas. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* **2015**, *19*, 1574. [CrossRef]
- <sup>3</sup> Cluis, C. Junk-greedy Greens: phytoremediation as a new option for soil decontamination. *Biotech Journal* **2004**, *2*, 61. [Link]
- <sup>4</sup> Souza, J. I.; Schoenlein-Crusius, I. H.; Pires-Zottarelli, C. L. A.; Schoenlein, N. C. Biossorção de cobre, manganês e cádmio por biomassas de *Saprolegnia subterranea* (Dissmann) R.L. Szym. e *Pythium torulosum* Coker & P. Patt. (Oomycetes). *Acta Botanica Brasílica* **2008**, *22*, 217. [CrossRef]
- <sup>5</sup> Lasat, M. M. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Journal of Environment Quality* **2002**, *31*, 109. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>6</sup> Singh, O. V.; Labana, S.; Pandey, G.; Budhiraja, R.; Jain, R. T. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* **2003**, *61*, 405. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>7</sup> Laghlimi, M.; Baghdad, B.; Hadi, H. E.; Bouabdli, A. Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Open Journal of Ecology* **2015**, *5*, 375. [CrossRef]

- <sup>8</sup> Suman, J.; Uhlik, O.; Viktorova, J.; Macek, T. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool for Clean-Up of Polluted Environment? *Frontiers in Plants Science* **2018**, *9*, 1476. [CrossRef]
- <sup>9</sup> Pinto, L. E. S.; Câmara, M. Y. de 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* **2015**, *4*, 1. [Link]
- <sup>10</sup> de Jesus, T. B.; Souza, S. S.; Santos, L. T. S. O.; de Aguiar, W. M. Avaliação da Potencialidade de Utilização de Espécies de Macrófitas como Acumuladoras de Metais Pesados. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 4. [CrossRef]
- <sup>11</sup> Amarante, C. B.; Fernandes, A. R.; Vasconcelos, J. M.; Melo, N. C.; de Oliveira, P. D.; Lins, A. L. F. de A.; Batista, R. J. da R.; Ribeiro Junior, L. S.; Gonçalves, F. A. de C.; Botero, W. G.; Amaral, E. L. S.; Botelho, A. de S. Bioaccumulation of metals in *Montrichardia linifera*: aquatic macrophyte of Amazon Region. *Revista Espacios* **2017**, *38*, 53. [Link]
- <sup>12</sup> Silvério, J. M. O.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2017. [Link]
- <sup>13</sup> 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* **2014**, *2*, 3. [CrossRef]
- <sup>14</sup> Mayo, S. J.; Bogner, J.; Boyce, P. C.; *The genera of Araceae*, Continental Printing: Bruxelas, 1997.
- <sup>15</sup> 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 linifera*) Coletadas à Margem do Rio Guamá no Campus da UFPA, Belém-PA. Uma Contribuição ao Estudo Químico da Família Araceae. *Revista Científica da UFPA* **2009**, *7*, 1. [Link]
- <sup>16</sup> 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* **2010**, *40*, 729. [CrossRef]
- <sup>17</sup> 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). *Química Nova* **2011**, *34*, 419. [CrossRef]
- <sup>18</sup> Botelho, A. S. Amarante, C. B.; *Resumos do XXV Seminário de Iniciação Científica: Instituições Públicas e Privadas em Parcerias: Pesquisa Produtiva*, Belém, Brasil, 2017.
- <sup>19</sup> Miyazama, M. Em *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*; Miyazama, M.; Pavan, M. A.; Muraoka, T.; Do Carmo, C. A. F. S.; Melo, W. J. Embrapa Informação Tecnológica: Rio de Janeiro, 2009, cap. 2.
- <sup>20</sup> Amarante, C. B. *BR1020120233800A2* **2012**.