

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
MARIA BEATRIZ ACIOLI SILVA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *PISTIA STRATIOTES* PARA DESCONTAMINAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS POLUÍDOS POR MANGANÊS

LONDRINA
2019

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
MARIA BEATRIZ ACIOLI SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *PISTIA*
STRATIOTES PARA DESCONTAMINAÇÃO DE AMBIENTES
AQUÁTICOS POLUÍDOS POR MANGANÊS**

Trabalho de Conclusão de Curso,
modalidade Relatório de Pesquisa,
apresentado ao curso Técnico em
Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio do
Instituto Federal do Paraná.

LONDRINA

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA BEATRIZ ACIOLI SILVA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE *PISTIA STRATIOTES* PARA DESCONTAMINAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS POLUÍDOS POR MANGANÊS

Trabalho de Conclusão de Curso, modalidade Relatório de Pesquisa, apresentado ao Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Biotecnologia.

Orientador: _____

Prof(a) Ms. Flavia Trzeciak Limeira

Prof(a) Dr(a) Fernanda de Oliveira Martins

Prof(a). Maria Fernanda da Costa Xavier

Londrina, 18 de novembro de 2019.

A Deus, por me dar forças para vencer
todas as batalhas diárias!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me ter permitido concluir esta etapa de minha vida.

Aos meus pais Osni e Lucilene pelo apoio, compreensão e motivação.

À toda minha família, que sempre torceram e vibraram muito com cada conquista.

À professora Flavia, pela orientação sensacional e por tornar este trabalho possível.

À professora Luciana, pela coorientação excelente com a colaboração do Laboratório de Ecofisiologia Animal da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Ao Laboratório de Análise de Alimentos da UEL, em especial a Moara pela ajuda na realização das análises.

Aos membros da banca Professora Fernanda Martins e Maria Fernanda por disponibilizarem seu tempo para colaborar com o engrandecimento deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Danielle e Gustavo pela ajuda com as vidrarias.

À professora Gleice que conseguiu o reagente e me orientou em uma parte do trabalho.

À Mônica da biblioteca pelo auxílio com a formatação e com as referências.

Ao Guilherme pelo auxílio nas análises estatísticas e correção do trabalho.

À todos os colegas e amigos que tive o prazer de conhecer durante esses quatro anos e que estiveram comigo ao longo desta caminhada, com lembrança especial para Giovana, João, Laura, Max e Emmanuel. O apoio de vocês foi fundamental.

Ao Héctor, pelo amor, incentivo e companheirismo.

À todos os professores que, de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Ao Instituto Federal do Paraná - Campus Londrina pelo apoio logístico e infraestrutura concedida, fundamental para que eu conseguisse realizar esse trabalho.

Ao CNPq e IFPR pela concessão da bolsa.

Muito Obrigada!

Talvez não saibamos o que fazer, mas definitivamente sabemos o que não deve ser feito.

~ Alexandre Maia do Bomfim

RESUMO

O ambiente aquático tem sido alvo frequente do lançamento de metais pesados, como o manganês, por exemplo. A superexposição de seres vivos a esse minério pode ser tóxica e causar graves consequências, bem como a destruição e desestabilização de ecossistemas. Diante disso é imprescindível a procura por métodos de remediação da contaminação da água, a fim de proporcionar um adequado gerenciamento dos recursos hídricos. A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas na descontaminação de áreas poluídas. Para isso, é fundamental entender as respostas fisiológicas de espécies vegetais com relação a tolerância aos níveis elevados de contaminantes, considerando seu possível uso para a proteção e conservação dos corpos hídricos. O objetivo deste estudo é conhecer o potencial fitorremediador de *Pistia stratiotes* para o manganês (Mn). As plantas foram cultivadas em soluções contendo água corrente desclorificada com a adição de doses crescentes do contaminante. Foram realizadas análises fisiológicas como: o acompanhamento de sintomas, do crescimento, do conteúdo de Mn na solução, nas raízes (parte submersa) e nas folhas das plantas (parte aérea). Também realizou-se análises anatômicas das raízes. A leitura para determinação das concentrações de Mn, foi realizada em espectrofotometria de absorção atômica (ICP-ES). Através de parâmetros quantitativos e qualitativos da bioacumulação de Mn na biomassa de *Pistia stratiotes*, conclui-se que a macrófita aquática estudada pode ser considerada fitoacumuladora, uma vez que os resultados demonstraram altas concentrações de Mn em seus tecidos e o surgimento de efeitos deletérios podem não ser atribuídos a fitotoxicidade deste metal.

Palavras-chaves: Biorremediação; Macrófita; Metal pesado; Londrina.

ABSTRACT

*The aquatic environment has been a frequent target for the release of heavy metals such as manganese. The overexposure of living organisms to this metal can be toxic and cause serious consequences, as well as the destruction and destabilization of ecosystems. Therefore, it is essential to search for water contamination remediation methods to allow a proper management of hydrous resources. Phytoremediation is a technique that uses plants to decontaminate polluted areas. For this, it is essential to understand the physiological responses of plant species related to the high levels of contaminants tolerance, considering its possibility for protection and conservation of water bodies. The aim of this study is to know the phytoremediation potential of *Pistia stratiotes* for manganese (Mn). Plants were cultivated in solutions containing dechlorinated running water with the addition of increasing doses of contaminants. It was made physiological analyzes as: monitoring of symptoms, growth, Mn content in solution, roots (submerged part) and leaves of plants (aerial part). It was also made root anatomical analyzes. The reading for determination of Mn concentration was made by using the atomic absorption spectrophotometry (ICP-ES) technique. Through quantitative and qualitative parameters of Mn bioaccumulation in the *Pistia stratiotes* biomass, it can be concluded that the aquatic macrophyte analyzed, can be considered as a phytoaccumulator, because the results shown high concentrations of Mn on its tissues and the appearing of deleterious effects can not be attributed to the phytotoxicity this metal.*

Key-words: Bioremediation; Macrophyte; Heavy metal; Londrina.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Principais processos envolvidos na fitorremediação de ambientes contaminados.....	17
FIGURA 2 – Grupo de macrófitas aquáticas	20
FIGURA 3 – <i>Pistia stratiotes</i>	21
FIGURA 4 – Lago Igapó II, na área urbana do município de Londrina, Paraná	23
FIGURA 5 – Caracterização da sintomatologia visual das macrófitas com sinais deletérios mais evidentes comparadas com macrófitas com poucos sinais. A e B são plantas do grupo controle; C e D são plantas do grupo EXP1 (expostas à 0,6 mM de Mn); E e F são plantas do grupo EXP2 (expostas à 1,2 mM de Mn).....	28
FIGURA 6 – Sintomatologia visual do sistema radicular da uma planta não exposta ao Mn (A) e uma planta exposta ao Mn (B).....	30
FIGURA 7 – A. Corte transversal da raiz em vista geral. B. Detalhe do cilindro vascular. C. Detalhe do córtex interno aerenquimático. D. Detalhe do córtex parenquimático externo. E. Idioblastos cristalíferos contendo cristais do tipo drusa no aerênquima. F. Idioblasto cristalífero contendo cristais do tipo ráfides no aerênquima. CA: Córtex interno aerenquimático; CP: Córtex externo parenquimático; ETX: Elemento traqueal do xilema; F: floema; MP: Medula parenquimática; Seta com preenchimento: drusa; seta sem preenchimento: ráfides.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Biomassa inicial e final e taxa de crescimento relativo em 24 horas	32
TABELA 2 – Biomassa inicial e final e taxa de crescimento relativo em 144 horas ..	32
TABELA 3 – Concentrações de Mn nos diferentes tratamentos e tempos.....	34
TABELA 4 – Biomassa das macrófitas distribuídas nas amostras.	35
TABELA 5 – Concentração de Mn na biomassa de <i>Pistia stratiotes</i> em 24 horas. ...	37
TABELA 6 – Concentração de Mn na biomassa de <i>Pistia stratiotes</i> em 144 horas. .	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA – Análise de Variância

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTR – Controle

EXP1 – Experimental 1

EXP2 – Experimental 2

IFPR – Instituto Federal do Paraná

FBC – Fator de Bioconcentração

Fe – Ferro

FT – Fator de Translocação

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

REDOX – Oxirredução

T1 – Tempo 1

T2 – Tempo 2

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	12
1.2 PROBLEMA	13
1.3 HIPÓTESE	13
1.4 OBJETIVOS	13
1.4.1 Objetivo Geral	13
1.4.2 Objetivos Específicos	13
1.5 JUSTIFICATIVA	14
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 MANGANÊS	15
2.2 FITORREMEDIAÇÃO	16
2.3 MACRÓFITAS	18
2.3.1 <i>Pistia stratiotes</i>	20
3 METODOLOGIA	23
3.1 OBTENÇÃO E ACLIMATAÇÃO DAS PLANTAS	23
3.2 EXPERIMENTO	24
3.3 ANÁLISE MORFOLÓGICA E ANATOMIA RADICULAR	25
3.4 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS	25
3.5 COLETA DAS AMOSTRAS DA SOLUÇÃO	26
3.6 COLETA E DIGESTÃO DO MATERIAL VEGETAL	26
3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO Mn NAS PLANTAS E NAS SOLUÇÕES	26
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	28
4.1 SINTOMATOLOGIA	28
4.2 CRESCIMENTO	32
4.3 TEOR DE Mn NAS SOLUÇÕES	34
4.4 TEOR DE Mn NAS PLANTAS	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A contaminação ambiental, caracterizada como a inserção de substâncias em concentração nociva aos seres vivos no meio ambiente, vem crescendo. Uma das mais preocupantes contaminações que ocorre é a da água, uma vez que a mesma trata-se de um insumo indispensável não só aos seres vivos, mas também à produção e ao desenvolvimento social e econômico.

O ambiente aquático tem sido um alvo frequente do lançamento de metais pesados, como o manganês, por exemplo. Na sua maioria, essa descarga provém de diversas atividades antrópicas, pois é considerado um dos elementos mais utilizados no mundo. Embora o manganês seja essencial para algumas funções fisiológicas, a superexposição de seres vivos a esse metal, pode ser tóxica e causar graves consequências (FERREIRA, 2014).

Para tanto, estudos vêm sendo desenvolvidos à procura de métodos de remediação da contaminação da água, investindo esforços para conservar e proporcionar um adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Neste contexto um procedimento biotecnológico que tem sido intensamente pesquisado e recomendado pela comunidade científica é a biorremediação, que consiste num processo no qual organismos vivos, ou parte deles, são utilizados para remover ou reduzir poluentes no ambiente (GAYLARDE; BELLINASSO, 2005)

A utilização de espécies vegetais com potencial para remover, degradar ou isolar contaminantes, tanto em ambientes terrestres como aquáticos, denomina-se fitorremediação. O desenvolvimento de plantas em um ambiente contaminado por metais pesados pode apresentar diferentes respostas. Quando são sensíveis, exibem sintomas de toxicidade ou, quando tolerantes, apresentam mecanismos que evitam os efeitos deletérios do contaminante e, conseqüentemente, se adaptam ao meio (LASAT, 2002).

A macrófita *Pistia stratiotes* L. é uma planta pesquisada devido à sua capacidade de concentrar níveis elevados de metais em sua biomassa, que seriam fitotóxicos a outras espécies cultivadas sob condições semelhantes. Essa é uma característica que pode conferir à planta um destaque sendo denominada hiperacumuladora (ROMEIRO *et al.*, 2007).

1.2 PROBLEMA

Os recursos hídricos sofrem frequentemente as consequências das atividades desenvolvidas no entorno da sua bacia hidrográfica, com descarte direto e não tratado de componentes tóxicos em seu interior, potencialmente causando efeitos deletérios, não apenas à fauna e flora ali presentes, mas também a todos os organismos dependentes daquele recurso. O uso de plantas para remediação de áreas contaminadas por metais pesados, como o manganês por exemplo, possibilita a manutenção do equilíbrio ecológico do ambiente?

1.3 HIPÓTESE

Acredita-se que a macrófita aquática *Pistia stratiotes* apresentará acumulação de Mn em suas estruturas, não exibindo sintomas de toxicidade e podendo ser utilizada como fitorremediadora de ambientes aquáticos contaminados por esse metal.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial fitorremediador de *Pistia stratiotes* na remoção de Mn de ambientes aquáticos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar possíveis alterações na sintomatologia visual das plantas;
- Verificar a possível existência de alterações na anatomia radicular das plantas submetidas ao Mn em relação às plantas controle;
- Analisar se o crescimento das plantas foi afetado pela presença do contaminante;
- Avaliar o tempo necessário para a planta descontaminar as soluções;
- Quantificar a capacidade que a planta possui em acumular Mn em suas estruturas.

1.5 JUSTIFICATIVA

A fitorremediação trata-se de uma alternativa promissora, visto que tende a minimizar a destruição e desestabilização de ecossistemas e também por ser de baixo custo (MARQUES, 2005 *apud* MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). O Brasil é um país favorável à aplicação dessa biotecnologia, pois apresenta condições edafoclimáticas propícias, ambientes aquáticos abundantes e alta diversidade de espécies vegetais (SANTOS, 2009). Conhecer as potencialidades da macrófita *Pistia stratiotes* na remoção dos diferentes metais pesados incrementados no ambiente pelo atual modelo societário, trará soluções para eliminá-los de forma segura, viável e definitiva (RODRIGUES, 2016).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MANGANÊS

De modo crescente os ciclos naturais e os níveis de concentração de elementos químicos tóxicos presentes no ambiente vêm sendo perturbados pela introdução antrópica de metais pesados na água. A sua expressiva distribuição nos ecossistemas tem resultado em impactos potenciais à saúde humana e também à qualidade ambiental (SUSARLA; MEDINA; MCCUTCHEON, 2002). Os metais pesados são caracterizados como elementos que ocorrem nos organismos em concentrações muito baixas, menores que 0,01%. Os elementos essenciais, que possuem relevância fisiológica, mas que estão presentes nos seres vivos em níveis muito baixos, também fazem parte desse grupo, ou seja, podem ser tóxicos em elevadas concentrações (MARMIROLI; MAESTRI, 2008).

A disponibilidade do metal pesado manganês (Mn) no meio, além do seu processo natural, na maioria das vezes é proveniente dos resíduos domésticos, atividade de mineração, processo de manufatura de metais, papéis, agentes químicos e também dos resíduos industriais muitas vezes introduzidos nos corpos d'água, sem nenhum tratamento prévio (THORNTON, 1995 apud SANTOS, 2009).

Nos humanos, apesar de se tratar de um oligoelemento essencial, o Mn pode oferecer riscos quando em excesso, tendo os pulmões como alvos primários da sua ação tóxica, aumentando a susceptibilidade para bronquites e pneumonias (exposição aguda) e também o sistema nervoso central, desenvolvendo distúrbios no controle dos movimentos das mãos (tremor, redução da firmeza) e / ou na velocidade dos movimentos (exposição aguda e crônica) (RAMOS, 2013). Em outros animais como peixes e bivalves, estudos têm demonstrado que a elevada concentração de Mn nos tecidos desses organismos, proveniente do ambiente contaminado, resultou em reduções da atividade metabólica, estresse oxidativo e danos em moléculas orgânicas (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Nos vegetais, o Mn também possui papel importante como micronutriente, participando do crescimento da planta, da proteção contra estresse oxidativo, dos processos de respiração, da ativação de várias enzimas, entre outros (BOWLER *et al.*, 1994). Entretanto mesmo sendo considerado um elemento essencial para os processos fisiológicos da planta, a absorção desse nutriente é pouco regulada,

o que pode levar ao acúmulo a níveis tóxicos (CLARKSON, 1988).

Como o Mn é um nutriente que apresenta grandes variações em relação ao teor presente nas plantas, a concentração crítica necessária para produzir sintomas de toxidez também se difere entre as espécies e até mesmo entre seus cultivares (MARSCHNER, 1995). De acordo com Lidon, Barreiro e Ramalho (2004), os sintomas que surgem na maioria das plantas estão relacionados à alterações nas paredes celulares, necrose do caule e das folhas, diminuição da capacidade fotossintética, crescimento reduzido, encarquilhamento e queima da ponta das folhas. Manchas marrons necróticas nas folhas e raízes marrons também podem ser identificadas, sinalizando a presença de Mn oxidado (HORIGUCHI, 1987).

Outro motivo que contribui para o surgimento desses sintomas é que o excesso de Mn pode provocar a deficiência de alguns nutrientes como o Ferro, o Magnésio e o Cálcio que são elementos necessários para o bom funcionamento das atividades metabólicas da planta (FLEMING, 1989).

2.2 FITORREMEDIAÇÃO

Dentre as novas tecnologias desenvolvidas atualmente para a diminuição da contaminação ambiental está a biorremediação, que pode ser definida como a utilização de bactérias, fungos ou plantas para eliminar ou reduzir substâncias nocivas aos organismos presentes no ambiente (VIDALI, 2001). De acordo com Coutinho e Barbosa (2007), a vertente que tem sido mais estudada é a fitorremediação, uma técnica que utiliza espécies vegetais com potencial de degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes em solos ou águas, de forma natural (CUNNINGHAM; OW, 1996).

A fitorremediação caracteriza-se como uma alternativa promissora, uma vez que pode ser aplicada para remediar grandes áreas aquáticas e terrestres contaminadas com os mais diferentes poluentes, como hidrocarbonetos de petróleo, compostos organoclorados, pesticidas, herbicidas, explosivos, metais pesados, radionuclídeos, patógenos entre outros (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000). Além disso, possui baixo custo de instalação e manutenção, geração mínima de desestabilização e degradação do ecossistema e possibilidade de empregar a biomassa contaminada

em atividades rentáveis, não alimentares, como a produção de energia (CHAVES *et al.*, 2010; PEUKE; RENNENBERG, 2005).

Segundo Costa Junior (2007) o princípio da técnica de fitorremediação se baseia nos mecanismos de captação do contaminante pelas estruturas da planta, de forma a manter normais as funções celulares vitais para o bom desenvolvimento do organismo. Com isso, as espécies vegetais utilizadas para a aplicação dessa biotecnologia apresentam diferentes formas para remover o contaminante do ambiente que são: fitoacumulação ou fitoextração, fitodegradação ou fitotransformação, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização e rizofiltração (FIGURA 1).

Cada um desses mecanismos depende de alguns fatores: (1) propriedades químicas e físicas do composto (ex.: solubilidade em água, pressão de vapor, peso molecular, especiação química); (2) características ambientais (ex.: temperatura, pH, teor de matéria orgânica, potencial REDOX e salinidade); (3) características das plantas (ex.: espécie de planta, tipo de sistema radicular, tipos de enzimas envolvidas, mecanismos específicos e taxas de transpiração) (INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL, 2001).

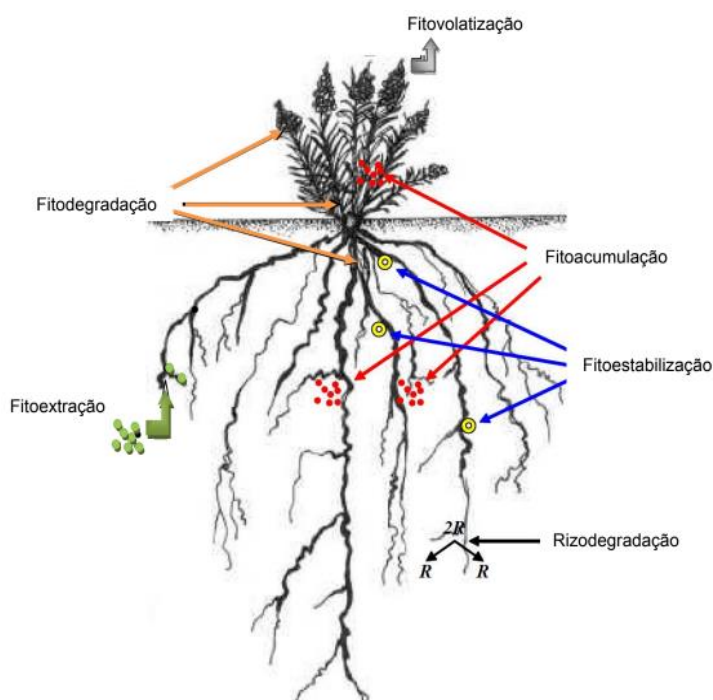


FIGURA 1 - Principais processos envolvidos na fitorremediação de ambientes contaminados
Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2007)

Na fitoextração ou fitoacumulação, normalmente aplicada em áreas contaminadas por metais pesados, ocorre a captura do metal pela planta que é translocado para raízes, caules, folhas e outras partes, resultando em acumulação nos tecidos (INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL, 2001; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000). Algumas plantas absorvem grandes quantidades não usuais de metais (ex. níquel, zinco, cobre, cromo) em comparação às outras plantas e a concentrações do ambiente. Essa característica confere à planta a denominação de hiperacumuladora. A hiperacumulação de elementos comuns, como manganês, é definida quando há mais de 1% do elemento por massa seca do tecido vegetal (INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL, 2001).

Não são todas as plantas que se desenvolvem normalmente nas áreas contaminadas tolerando a hiperacumulação de metais ou de outros contaminantes. Existem também aquelas que podem morrer ou sofrer estresse severo nessas mesmas condições (SUSARLA; MEDINA; MCCUTCHEON, 2002). Para isso é fundamental que, antes da aplicação das diversas técnicas de fitorremediação, se conheça todas as características físico-químicas da área contaminada. Além disso a planta utilizada deve: a) apresentar rápido crescimento; b) ter elevada produção de biomassa; c) possuir sistemas radiculares extensos; d) ser de fácil manejo/poda; e) tolerar e acumular certa concentração do contaminante em partes que possam ser colhidas (YANG *et al.*, 2005). Todas essas características contribuem para que se tenha alta eficiência na remediação do local contaminado.

2.3 MACRÓFITAS

Na fitorremediação de corpos hídricos, são empregadas plantas denominadas macrófitas aquáticas, um grupo de vegetais que podem habitar desde brejos até áreas totalmente submersas (MARTINS, 2005). Em geral, essas plantas só passaram a colonizar ambientes aquáticos ao longo de seu processo evolutivo, pois foram originadas de ambientes terrestres. Tal herança confere à planta características dos dois ambientes, o que contribui para sua adaptação em diferentes locais (UFSCAR, 2010 apud RODRIGUES, 2016).

Como as macrófitas possuem grande amplitude ecológica, são vários os

grupos taxonômicos presentes nesta comunidade, dentre eles as briófitas, pteridófitas e angiospermas (ESTEVES, 1998). Todas elas possuem alta importância nos ecossistemas aquáticos pois, por meio da absorção de nutrientes e substâncias tóxicas, fornecem condições ideais para alguns membros da fauna aquática e também funcionam como alimento para esses organismos (BARRETO, 2011).

Segundo Esteves (1998), as macrófitas se diferenciam quanto aos seus biótipos e heterogeneidade, estando distribuídas em 5 grupos diferentes (FIGURA 2):

- Macrófitas aquáticas emersas: plantas enraizadas no sedimento e com folhas fora d'água. Ex.: *Typha* sp., *Pontederia* sp., *Echinodorus* sp., *Eleocharis* sp.;
- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: plantas enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex.: *Nymphaea* sp., *Vitoria* sp. e *Nymphoides* sp.;
- Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: plantas enraizadas no sedimento, que crescem totalmente submersas na água, tendo a maioria seus órgãos reprodutivos flutuando na superfície ou aéreos. Ex.: *Myriophyllum* sp., *Elodea* sp., *Egeria* sp., *Hydrilla* sp., *Vallisneria* sp., *Mayaca* sp. e a maioria das espécies do gênero *Potamogeton* sp.;
- Macrófitas aquáticas submersas livres: são plantas que têm rizoides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência. Durante o período reprodutivo emitem flores emersas (exceção de *Ceratophyllum* sp.). Ex.: *Utricularia* sp. e *Ceratophyllum* sp.
- Macrófitas aquáticas flutuantes: são aquelas que flutuam na superfície da água. Geralmente seu desenvolvimento máximo ocorre em locais protegidos pelo vento. Neste grupo, destacam-se: *Eichhornia crassipes*, *Salvinia* sp., *Pistia* sp., *Lemna* sp. e *Azolla* sp..

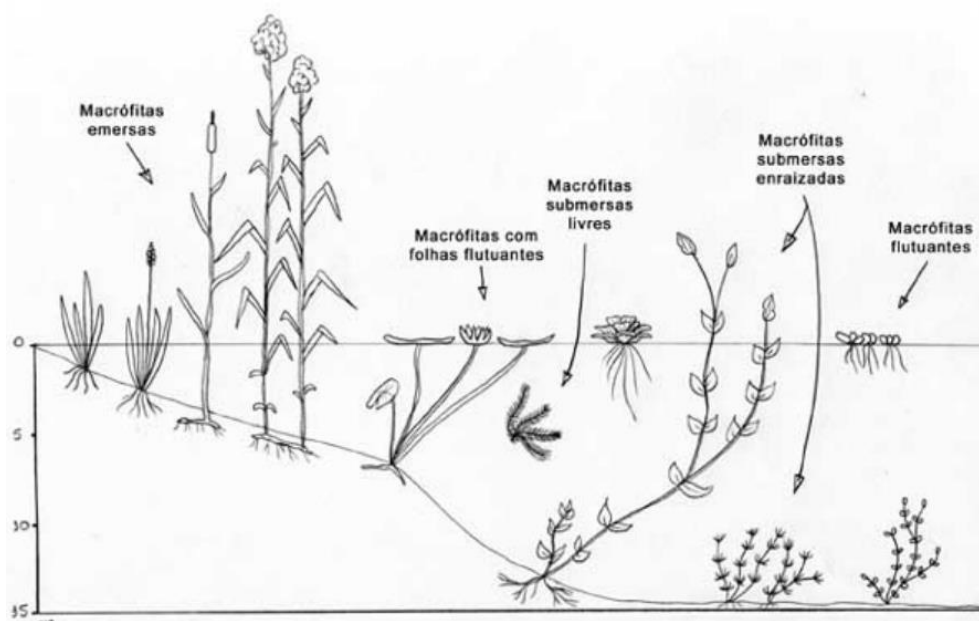


FIGURA 2 – Grupos de macrófitas aquáticas
Fonte: ESTEVES, 1998

As macrófitas aquáticas flutuantes tem apresentado grande eficiência para remover metais pesados de águas poluídas pois, em sua maioria, apresentam tolerância e alta capacidade em acumular esses compostos nas raízes, folhas e caules (DEMARCO, 2016; MIRETZKY; SARALEGUI; CIRELLI, 2006). Estudos com essas plantas vêm se tornando cada vez mais frequentes na comunidade científica como consequência da crescente importância do gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

A capacidade das macrófitas aquáticas em acumular grandes concentrações de metais, ter elevado crescimento, alta produção de biomassa e ser de fácil cultivo, demonstram que estratégias de remediação eficazes e sustentáveis podem ser desenvolvidas com base nestas características (PAULO; PRATAS, 2008).

2.3.1 *Pistia stratiotes*

Pistia stratiotes é uma macrófita aquática flutuante popularmente conhecida como Alface d'água, Erva de Santa Luzia, Flor d'água e Golfo dentre outras denominações (LORENZI, 1982). É originária do continente Sul Americano mas, devido a sua aparência ornamental utilizada na estética foi disseminada para diferentes regiões (KISSMANN, 1997 apud RODRIGUES, 2016).

Essa espécie é uma monocotiledônea que pertence à família Araceae, possui porte médio, sem caule aparente (acaule), podendo apresentar reprodução sexuada, mas sendo preferencialmente assexuada por meio de seus brotamentos laterais (estolhos) que liberam regularmente raízes para baixo e folhas para cima, aumentando sua área de ocupação e sua biomassa (CÍCERO *et al.*, 2007).

Esta planta possui folhas grandes, sésseis, esponjosas, espatuladas, obtusas e densamente pubescentes (pelos finos) organizadas em forma de roseta permitindo um auto sombreamento. Sua inflorescência é pequena em espádice cercada por espatas, característica da família a que pertence (OLIVEIRA, 2010).

As raízes são longas e fibrosas, mas com menor biomassa se comparada à parte aérea, na qual tal característica proporciona uma elevada capacidade fotossintética e conseqüentemente maior ganho de carbono que aumenta sua taxa de crescimento (FIGURA 3) (CRUZ, 2011).



FIGURA 3 - *Pistia stratiotes*

Fonte: The Weeds Society of Western Australia Inc. (2015)

Devido a sua alta capacidade de reprodução na forma vegetativa e rápido crescimento, a Alface d'água vem sendo estudada para a fitorremediação de corpos hídricos contaminados. Pesquisas já comprovaram sua eficiência na remoção de metais pesados como cromo, níquel, zinco, resíduos de mineração contendo mercúrio (MUFARREGE; HADAD; MAINE, 2010; SKINNER; WRIGHT; PORTER-GOFF, 2007; ZIMMELS; KIRZHNER; MALKOVSKAJA, 2006) e para o tratamento de esgoto urbano. Entretanto mais estudos são necessários sobre essa macrófita, a fim de entender e confirmar sua capacidade fitoextratora para os diferentes metais pesados. As respostas fisiológicas exibidas pela planta, quando

exposta aos meios contaminados, contribuirá para utiliza-lá como bioindicadora ou fitorremediadora dos ambientes aquáticos poluídos.

3 METODOLOGIA

3.1 OBTENÇÃO E ACLIMATAÇÃO DAS PLANTAS

Plantas de *Pistia stratiotes* foram coletadas manualmente no Lago Igapó II no município de Londrina-PR (23°19'15"S, 51°10'54"O) (FIGURA 4). As plantas coletadas foram levadas para o IFPR Campus Londrina, Unidade Alagoas onde foi conduzido o experimento.









FIGURA 4 – Lago Igapó II, na área urbana do município de Londrina, Paraná
Fonte: Google Earth, 2019

Após a coleta, as macrófitas foram lavadas em água corrente e posteriormente com água deionizada para eliminação de remanescentes do sedimento e outras partículas. Para aclimação antes do cultivo na presença do metal pesado, as plantas foram mantidas em uma aquário contendo água da torneira desclorificada por uma semana.

3.2 EXPERIMENTO

Inicialmente, vasos de polietileno com capacidade de 1,5L foram encapados com sacos plásticos a fim de evitar contaminações e preenchidos com 1 litro de água da torneira desclorificada. Na sequência, houve a adição de 2 doses crescentes de contaminação na forma de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, determinadas a partir dos padrões estabelecidos pelo CONAMA para corpos hídricos (CONAMA, 2005), sendo elas 0,6 mM para o grupo experimental 1 (EXP1) e 1,2 mM para o grupo experimental 2 (EXP2). O grupo controle (CTR) foi preenchido com água da torneira desclorificada e não houve adição do contaminante.

Foram selecionadas plantas saudáveis, de tamanho uniforme e inseridas nos vasos para início do experimento que foi conduzido em duas repetições de quintuplicata, durante 24 horas (T1) e durante 144 horas (T2), sob fotoperíodo de 12 horas (QUADRO 1).

	T1	T2
CTR		
EXP1		
EXP2		

QUADRO 1 – Esquema de organização do experimento

Fonte: Autoria própria

3.3 ANÁLISE MORFOLÓGICA E ANATOMIA RADICULAR

A observação das características morfológicas das plantas expostas às diferentes concentrações de Mn, foi realizada diariamente, seguida de registro fotográfico utilizando-se uma câmera de smartphone (Apple iPhone 6). Já para o estudo anatômico realizou-se, no fim do experimento, a coleta de partes do material vegetal fresco de todos os vasos, para serem armazenadas em uma solução de FAA 70% (Formol 37%, ácido acético glacial p.a. e álcool etílico 70%, na proporção de 0,5 : 0,5 : 0,9) (JOHANSEN, 1940).

Cortes transversais foram feitos no ponto de intersecção da raiz com o caule até 2cm abaixo, com o auxílio de uma lâmina utilizando um isopor como suporte. Posteriormente as secções foram diafanizadas em uma solução de hipoclorito de sódio a 20% e corados com uma mistura de azul de astra com safranina (Safrablau). Foram montadas lâminas semipermanentes com gelatina glicerinada e feita a lutagem com esmalte incolor. As análises histológicas foram realizadas em um microscópio de luz, utilizando-se a mesma câmera anteriormente citada para os registros fotográficos.

3.4 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

No início do experimento todas as plantas foram pesadas para obtenção do peso inicial. Após 24 horas a partir do início do experimento, 15 plantas foram removidas dos vasos e ficaram um tempo em repouso, a fim de retirar o excesso de água aderido às raízes e folhas. Em seguida as plantas foram pesadas para obtenção da massa final. Após 144 horas da montagem do experimento as outras 15 plantas foram removidas dos vasos e ocorreram os mesmos procedimentos acima explicados. Para obtenção da taxa de crescimento relativo (TCR) utilizou-se a seguinte equação (modificado de HUA *et al.*, 2011) (EQUAÇÃO 1).

$$TCR = \frac{M_f}{M_0} * 100\% \quad \text{Equação 1}$$

Em que: m_0 = massa fresca inicial (g); m_f = massa fresca final (g).

3.5 COLETA DAS AMOSTRAS DA SOLUÇÃO

Alíquotas de 1 mL foram coletadas de cada vaso, inicialmente, de duas em duas horas, nas primeiras quatro horas do experimento. Posteriormente as alíquotas foram coletadas a cada 24 horas durante os seis dias. Todas as alíquotas foram armazenadas em microtubos com 15µl de ácido nítrico e mantidas sob refrigeração.

3.6 COLETA E DIGESTÃO DO MATERIAL VEGETAL

A cada coleta, as plantas foram pesadas, separadas em parte aérea (folhas) e parte submersa (raízes) e armazenadas em tubo falcon mantidos em refrigeração. Posteriormente todas as amostras foram secas em estufa convencional a 65°C durante 72 horas. Após a secagem, o material vegetal foi moído com o auxílio de um cadinho e pistilo, pesado e inserido em tubos micro digestor. A cada tubo foram adicionados 4 mL de uma mistura com duas partes (em volume) de ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65% p.a) mais uma parte (em volume) de ácido perclórico concentrado (HClO₄ 72% p.a).

Em seguida os tubos de digestão foram aquecidos em bloco digestor da seguinte maneira: 1ª temperatura de 80 °C, com permanência de 30 min; 2ª temperatura de 130 °C, com permanência de 30 min; 3ª temperatura de 160 °C, com permanência de 30 min; 4ª temperatura 210 °C, com permanência de 4 horas. Após resfriamento, os extratos contidos nos tubos foram diluídos com água deionizada para completar 14 mL.

3.7 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE Mn NAS PLANTAS E NAS SOLUÇÕES

Os teores de metais nas soluções, parte aérea e submersa das plantas foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Considerando as concentrações dos metais nas diferentes partes de *Pistia stratiotes*, foram calculados os fatores de bioconcentração (também conhecido como fator de bioacumulação) (FBC), que relacionam os teores absorvidos em relação à sua concentração no meio (solução). O fator foi calculado segundo Zayed, Gouthaman e Terry (1998) (EQUAÇÃO 3).

Equação 3

$$FBC_{RAÍZ}\% = \frac{METAL_{RAÍZ}}{METAL_{SOLUÇÃO}} \quad FBC_{FOLHA}\% = \frac{METAL_{RAÍZ}}{METAL_{SOLUÇÃO}}$$

O fator de translocação (FT), descrito como a concentração de metal pesado na parte aérea em relação à raiz da Alface-d'água foi calculado de acordo com Luo, Shen; LI, (2005), pela utilização da Equação 4.

Equação 4

$$FT = \frac{\text{Concentração do metal na parte aérea (mg.kg}^{-1}\text{)}}{\text{Concentração do metal raiz (mg.kg}^{-1}\text{)}}$$

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A variação do crescimento dos organismos nos diferentes tratamentos foi testada através da Análise de Variância ANOVA, após terem sido aceitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade. Para a avaliação das diferenças de bioacumulação de manganês nas plantas, foi utilizada uma ANOVA hierárquica, considerando como fatores a planta (folhas e raízes), o experimento (Controle, EXP1 e EXP2) e o tempo (T1 e T2) como fatores ortogonais a essa matriz.

As análises foram feitas no Software R (R Development Core Team, 2009), com o auxílio do pacote GAD (SANDRINI-NETO; CAMARGO, 2010).

4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO

4.1 SINTOMATOLOGIA

As macrófitas aquáticas *Pistia stratiotes* apresentaram sintomas de fitotoxicidade, a partir do terceiro dia de experimento, na parte aérea (folhas) de todos os tratamentos. Apesar do grupo CTR não ter sofrido a adição de doses do contaminante, o comportamento da maioria das folhas nele presente foi visualmente igual ao das plantas dos grupos EXP1 e EXP2. Os principais sintomas ocorridos foram clorose marginal, necrose, decomposição e infestação por fungos (FIGURA 5).



FIGURA 5 – Caracterização da sintomatologia visual das macrófitas com sinais deletérios mais evidentes comparadas com macrófitas com poucos sinais. A e B são plantas do grupo controle; C e D são plantas do grupo EXP1 (expostas à 0,6 mM de Mn); E e F são plantas do grupo EXP2 (expostas à 1,2 mM de Mn)

Fonte: Autoria própria

A clorose marginal seguida de necrose é um sinal de toxicidade à metais pesados também descrita em vários estudos com macrófitas (GIDDING; EDDLEMON, 1978; JARDIM; MALAVOLTA, 1984; SOLTAN; RASHED 2003). O surgimento desse sintoma pode estar relacionado à diminuição das concentrações de Ferro (Fe) e Magnésio (Mg), ocasionada pelo excesso de Mn pois esta ação promove um bloqueio na síntese de clorofila (SPILLER; CASTELFRANCO; CASTELFRANCO, 1982). No presente trabalho, não foram avaliadas as taxas de Fe e Mg nas plantas, no entanto outros estudos já observaram que há decréscimos significativos na concentração desses nutrientes em plantas expostas a excesso de Mn (SINHA; RAI; CHANDRA, 1994); SHI *et al.*, 2006; HUA, 2011).

Além dos sintomas de fitotoxicidade ao Mn acima descritos, acredita-se também que outro fator contribuinte, principalmente no grupo controle, está relacionado ao meio onde estas macrófitas foram submetidas, pois não haviam os macro e micronutrientes necessários para um bom desenvolvimento. De acordo com Zambolim, Vale e Costa (2001), quando a planta apresenta deficiência nutricional, aumenta a sua vulnerabilidade à ação de agentes patógenos, isso explica o surgimento das infestações por fungos e de outros sintomas deletérios.

Já o comportamento da parte submersa (raízes) das macrófitas apresentou diferenças visuais entre os grupos com contaminante (EXP1 e EXP2) e o grupo controle (FIGURA 6). As raízes que não foram submetidas ao Mn estavam densas, longas e com coloração clara. Já as raízes que foram submetidas ao Mn estavam menos densas, mais finas, curtas, escurecidas e com uma textura gelatinosa.



FIGURA 6 – Sintomatologia visual do sistema radicular de uma planta não exposta ao Mn (A) e uma planta exposta ao Mn (B).
Fonte: Autoria própria

De acordo com Fowler e Morgan (1972), bioquimicamente, o motivo pelo qual surgem estes efeitos nas raízes é um desequilíbrio causado pelo excesso de Mn, que leva à diminuição da concentração de auxina. As auxinas são substâncias fitorreguladoras fundamentais para a atividade metabólica desenvolvida nos tecidos constituintes do sistema radicular (BREEN; MURAOKA, 1973 *apud* HERRERA; ONO; LEAL, 2004).

Este mesmo efeito foi observado em um estudo feito por Farnese *et al.* (2014) também com *Pistia*, submetidas à arsênio, no qual relacionaram tais características às alterações provocadas por metais pesados na parede celular. Dentre as auxinas, a mais comum é o ácido indolilacético, um fitormônio sintetizado nos ápices das plantas (pontas da raiz e caule) e atua facilitando a distensão das paredes celulósicas das células vegetais. Neste contexto nas análises anatômicas das raízes deste estudo não foi possível analisar a parede

celular, entretanto as análises em microscopia óptica permitiram identificar que não houve alterações significativas nas estruturas anatômicas das raízes submetidas ao Mn quando comparadas às raízes controle (FIGURA 7).

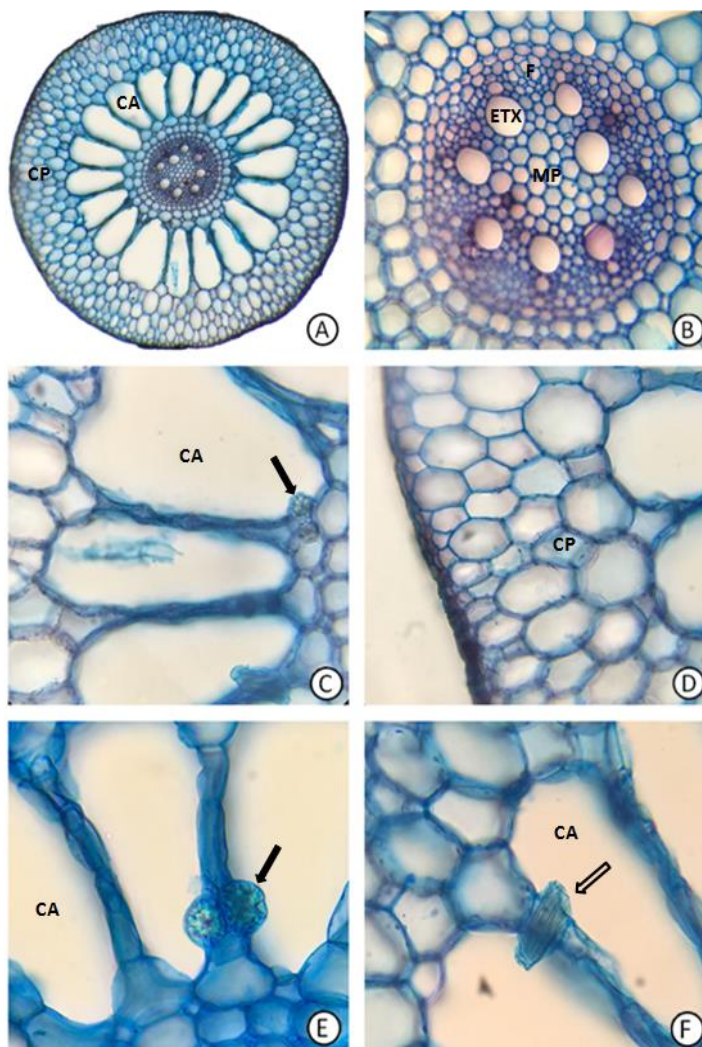


FIGURA 7 – A. Corte transversal da raiz em vista geral. B. Detalhe do cilindro vascular. C. Detalhe do córtex interno aerenquimático. D. Detalhe do córtex parenquimático externo. E. Idioblastos cristalíferos contendo cristais do tipo drusa no aerênquima. F. Idioblasto cristalífero contendo cristais do tipo ráfides no aerênquima. CA: Córtex interno aerenquimático; CP: Córtex externo parenquimático; ETX: Elemento traqueal do xilema; F: floema; MP: Medula parenquimática; Seta com preenchimento: drusa; seta sem preenchimento: ráfides.
Fonte: Autoria própria

De acordo com Zhou *et al.*, (2008), muitas plantas aquáticas respondem à contaminação por metais pesados exibindo modificações em sua estrutura interna. Diante disso pode-se afirmar que os resultados da anatomia radicular indicam que a planta possui mecanismos que evitam possíveis alterações em seu sistema interno, fazendo-a se adaptar ao meio contaminado.

4.2 CRESCIMENTO

No início do experimento todas as plantas foram pesadas para obtenção da biomassa inicial e o mesmo ocorreu no fim, para obtenção da biomassa final. Adiante, calculou-se a taxa de crescimento relativo das plantas expostas nos diferentes tempos (TABELAS 1 e 2).

TABELA 1 – Biomassa inicial e final e taxa de crescimento relativo em 24 horas.

24 HORAS

Conc. Mn (mg L ⁻¹)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	TCR (%)
0	12.88 ± 0.40	11.73 ± 0.43	86.31 ± 0.93
32	12.06 ± 0.30	11.99 ± 0.44	99.59 ± 2.04
65	12.23 ± 0.32	11.31 ± 0.41	92.48 ± 3.64

Fonte: Autoria própria

TABELA 2 – Biomassa inicial e final e taxa de crescimento relativo em 144 horas.

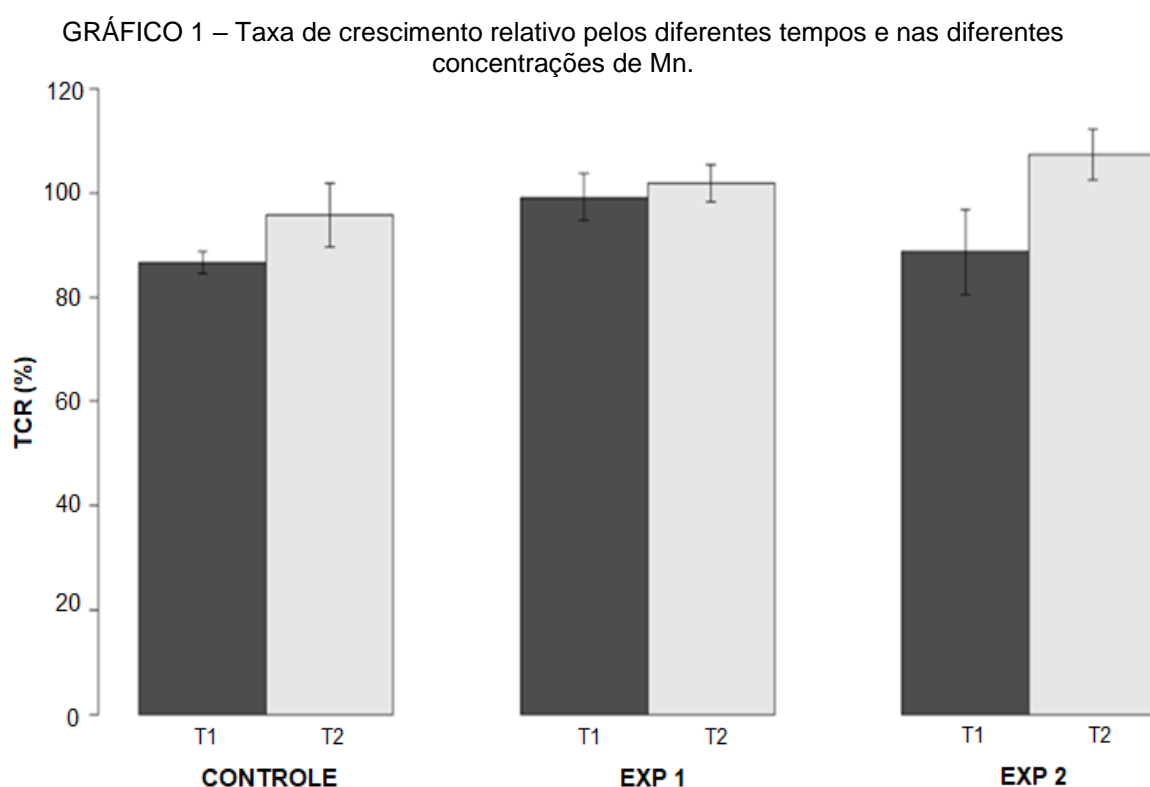
144 HORAS

Conc. Mn (mg L ⁻¹)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	TCR (%)
0	11.17 ± 0.58	10.74 ± 0.59	95.76 ± 2.70
32	12.52 ± 0.59	12.24 ± 0.7	101.91 ± 1.58
65	12.05 ± 0.59	12.52 ± 0.66	107.42 ± 2.19

Fonte: Autoria própria

Os valores encontrados não apresentaram diferenças significativas entre as concentrações de Mn e também entre os tempos de cultivo (Gráfico 1). Diante disso tal acontecimento pode não estar relacionada ao excesso de Mn acumulado pelas plantas. Em um trabalho realizado por Kurscheidt (2011) com *P. stratiotes* foi observado redução do crescimento da planta quando exposta a soluções de cultivo com ausência de nutrientes. A indisponibilidade dos elementos essenciais para o desenvolvimento da planta, desencadeia uma série de disfunções dentre eles a redução do crescimento (MALAVOLTA *et al.*, 1979). Outro fator também

descrito na pesquisa anteriormente citada foi a pouca incidência de luz. Discutiu-se esse efeito pelo fato de que o crescimento vegetativo é afetado pela intensidade de luz que recebe, e exerce efeitos diretos sobre a fotossíntese e síntese de clorofila. A luz absorvida pode ser ativada quimicamente, e a clorofila é o pigmento absorvente principal (KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991). A deficiência de clorofila, observada pela aparência amarelada das plantas, reduz a taxa de fotossíntese (KURSCHEIDT, 1991 *apud* LARCHER, 2000).



Fonte: Autoria própria

4.3 TEOR DE Mn NAS SOLUÇÕES

A partir da análise das soluções a cada tempo de coleta, verificou-se o efeito do cultivo de *Pistia stratiotes* na contaminação inicial de cada dose testada. A Tabela 3 apresenta as variações nos teores de manganês das soluções nas diferentes doses ao longo do tempo.

TABELA 3 – Concentrações de Mn nos diferentes tratamentos e tempos.

Conc. Nominal (mg L ⁻¹)	Tempo de cultivo (horas)				
	0 horas	2 horas	4 horas	24 horas	144 horas
0	0,011 a	0,006 a	0,002 a	0,005 a	35,6 b
32*	2,6 c	23,7 c	26,2 c	82,2 d	33,5 c
65*	2,8 e	55,4 e	57,3 e	127,1 f	124,9 f

Letras minúsculas representam diferenças significativas na concentração de Mn nas soluções entre os diferentes tempos de cultivo em cada tratamento. O * representa diferença entre os tratamentos, em um nível de 5% da ANOVA.

Fonte: A autoria própria

No grupo CTR não houve incremento de Mn, ou seja, o valor apresentado é proveniente do próprio meio (água da torneira desclorificada). Entretanto observa-se que no tempo 144 houve um aumento significativo da concentração do metal nessa solução, tal evento pode estar relacionado com alguma contaminação ou liberação de Mn pela planta.

Avaliando o efeito do tempo de cultivo de *P. stratiotes* nas soluções contaminadas (EXP1 e EXP2), pode-se observar que os valores obtidos no tempo 0 são inferiores à concentração nominal esperada, pois o meio de cultivo não deve ter sido homogeneizado adequadamente. Entre os tempos 2 horas e 4 horas os valores apresentam-se próximos à concentração nominal colocada, ou seja, pode-se afirmar que durante esse período não houve redução da concentração do

contaminante pela planta. Este resultado também foi descrito por Hua *et al.* (2011), na qual somente após 7 dias de cultivo houve uma diminuição significativa de Mn pela planta estudada. Já os valores apresentados nos tempos 24 horas e 144 horas são superiores à concentração final esperada, uma vez que, com o passar do tempo as concentrações tenderiam à diminuição e não ao aumento. Novamente pode-se relacionar este fato com falhas na coleta das soluções, pois a parcela retirada estava no fundo do vaso, então acreditasse que está era uma região de sedimentação do metal.

4 TEOR DE Mn NAS PLANTAS

Todas as plantas, após o processo de secagem e moagem, foram pesadas para a obtenção da biomassa seca (TABELA 4). As análises de bioacumulação foram descritas de acordo com os teores de Mn no tecido vegetal seco.

TABELA 4 – Biomassa das macrófitas distribuídas nas amostras.

Tratamento	Quintuplicata (2 repetições)	Folhas (g)	Raízes (g)
CTR	1	0,318	0,021
	2	0,236	0,040
	3	0,359	0,021
	4	0,422	0,068
	5	0,220	0,010
	6	0,226	0,022
	7	0,267	0,058
	8	0,133	0,020
	9	0,237	0,019
	10	0,227	0,044

EXP 1	1	0,293	0,036
	2	0,299	0,056
	3	0,394	0,064
	4	0,507	0,079
	5	0,239	0,037
	6	0,280	0,056
	7	0,198	0,047
	8	0,185	0,035
	9	0,209	0,038
	10	0,309	0,027
EXP 2	1	0,284	0,055
	2	0,261	0,077
	3	0,287	0,040
	4	0,493	0,079
	5	0,270	0,059
	6	0,317	0,034
	7	0,343	0,067
	8	0,221	0,016
	9	0,297	0,023
	10	0,277	0,036

Fonte: Autoria própria

Segundo Agunbiade, Olu-owolabi e Adebowale (2009) uma das características que define uma planta como fitorremediadora é a sua capacidade em acumular níveis elevados do contaminante. Os limites de toxicidade do manganês situam-se no intervalo de 400 a 1000 mg/kg, enquanto os valores usuais variam de 30 a 300 mg/kg, ambos considerados em base seca (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Sendo assim os valores de bioacumulação de Mn na biomassa seca nos diferentes tempos, demonstraram que a macrófita *Pistia stratiotes* possui eficiência na acumulação deste metal, podendo ser considerada

hiperacumuladora, pois apresentou valores acima 10.000 mg/ kg do metal no tecido vegetal (TABELAS 5 e 6).

Esse resultado também foi encontrado em um trabalho comparando as macrófitas *Enydra anagallis* Gardner, *Hydrocotyle ranunculoides* L.f, *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga, *Lemna valdiviana* Phil, *Pistia stratiotes* e *Sagittaria montevidensis*, na qual a espécie que apresentou maior concentração de Mn foi a *Pistia stratiotes* (DEMARCO, 2016), demonstrando sua eficiência na acumulação desse metal.

Em relação ao Fator de Translocação (FT) o valor também deve ser superior à 1, indicando que a quantidade de metal na parte aérea da planta é maior que a quantidade de metal na parte submersa. Nos resultados obtidos os valores de FT foram inferior à 1, demonstrando que a macrófita estudada acumula o contaminante principalmente na raiz, translocando poucas concentrações para brotos e folhas.

De acordo com Hua *et al.* (2011), tal característica sugere que a fitorremediação deste metal pela *P. stratiotes*, pode estar relacionada com a rizofiltração, na qual a planta remove o contaminante do meio através das raízes. Entretanto, mesmo o FT sendo inferior à 1, a planta pode ser empregada como fitoacumuladora, uma vez que, por ser considerada uma planta flutuante, suas raízes podem ser colhidas facilmente. Além disso, na maioria dos casos documentados de remediação com macrófitas, os metais são mais concentrados nas raízes com um processo de translocação para a parte aérea lento.

TABELA 5 – Concentração de Mn na biomassa de *Pistia stratiotes* em 24 horas.

Conc. Nominal (mg L ⁻¹)	Teor de metal na biomassa (mg kg ⁻¹) 24 horas	Fator de Translocação (FT)
0	Raiz	2.738 a
	P. aérea	598 a
32	Raiz	60.962 b
	P. aérea	15.465 c
65	Raiz	92.114 d
	P. aérea	22.627 e

Letras minúsculas representam diferenças significativas na concentração de Mn e letras maiúsculas comparam o FT nas diferentes concentrações de Mn, em um nível de 5% da ANOVA.

Fonte: Autoria própria

Como acima descrito os valores de Mn no tecido vegetal evidenciam que já em 24 horas a planta acumula altas concentrações do contaminante em suas estruturas. Tal característica contribui para seu uso na técnica de fitorremediação, uma vez que, o período de remediação da solução contaminada foi considerado curto. Entretanto estudos ainda precisam ser feitos expondo a planta ao ambiente contaminado na qual as respostas fisiológicas apresentadas podem ser diferentes.

Os valores obtidos no tempo 144 horas nos grupos EXP1 e EXP2 também apresentaram altas concentrações do contaminante possuindo um aumento significativo ($p < 0,01$) em comparação ao tempo 24 horas (TABELA 5). Isso deve-se ao fato de que possivelmente em 24 horas a planta ainda não consegue acumular todo o contaminante.

TABELA 6 - Concentração de Mn na biomassa de *Pistia stratiotes* em 144 horas.

Conc. Nominal (mg L ⁻¹)	Teor de metal na biomassa (mg kg ⁻¹) 144 horas	Fator de Translocação (FT)
0	Raiz	1.048 a
	P. aérea	318 a
32	Raiz	79.512 b
	P. aérea	21.817 b
65	Raiz	114.966 c
	P. aérea	40.718 c

Letras minúsculas representam diferenças significativas na concentração de Mn e letras maiúsculas comparam o FT nas diferentes concentrações de Mn, em um nível de 5% da ANOVA.
Fonte: Autoria própria

Avista do que foi apresentado entende-se que os maiores valores de Mn no tecido vegetal foram proporcionais às maiores concentrações de Mn colocadas nas soluções. Entretanto através dos cálculos do Fator de Bioconcentração (FBC) os níveis mais altos de concentração de Mn na parte submersa das macrófitas foi no grupo EXP1 (FBC= 248%) sendo superior ao grupo EXP2 (FBC= 176%). Este resultado evidencia que entre estes dois pontos pode haver um limite, a partir do qual a planta ative mecanismos de defesa contra a entrada do metal. Já na parte aérea os valores de FBC não apresentaram diferença significativa entre os grupos (FBC= 65%).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que a ausência dos macro e micro nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta juntamente com o excesso de Mn nas soluções causou efeitos tóxicos no metabolismo de *Pistia stratiotes*, levando à redução do crescimento e alterações na morfologia foliar e radicular. Entretanto, a espécie estudada pode ser considerada hiperacumuladora de Mn, pois apresentou níveis elevados do metal em seus tecidos. Mesmo não translocando o contaminante para a parte aérea, acredita-se que a planta pode ser considerada também fitoacumuladora/fitoextratora, pois como se trata de uma macrófita aquática submersa suas raízes podem ser colhidas facilmente possibilitando a retirada do contaminante do meio.

Pesquisas deverão ser conduzidas, posteriormente, para investigar os mecanismos que conferem a esta espécie a capacidade em acumular elevadas concentrações de Mn. Assim como estudos sobre a anatomia radicular com microscopia eletrônica, a fim de compreender melhor possíveis alterações na parede celular de *Pistia stratiotes*.

A condução de um novo experimento utilizando solução nutritiva e adição de Mn possibilitará entender como ocorre o processo de acúmulo e resposta ao Mn, na qual o surgimento de efeitos deletérios podem ou não estar relacionados à presença do contaminante. Diante disso a adequação da metodologia indicará se o uso desta espécie serve para a técnica de fitorremediação e/ou técnica de bioindicação. Pesquisas com essa abordagem precisam ser incentivadas, visto que a toxidez por Mn tem se tornado um importante problema ambiental.

REFERÊNCIAS

- AGUNBIADE, Foluso O.; OLU-OWOLABI, Bamidele I.; ADEBOWALE, Kayode O. Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 19, p. 4521-4526, out. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409003708>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- BARRETO, André Baxter. **A seleção de macrófitas aquáticas com potencial para remoção de metais**: traço em fitorremediação. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/941M.PDF>. Acesso em: 9 out. 2019.
- BOWLER, Chris *et al.* Superoxide dismutase in plants. **Critical Reviews In Plant Sciences**, London, v. 13, n. 3, p.199-218, jul./set. 1994. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1080/07352689409701914>. Acesso em: 15 out. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 142, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.
- CHAVES, Lúcia Helena Garófalo *et al.* Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 263-277, jul./set. 2010. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1258&article=476&mode=pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.
- CÍCERO, E. A. S. *et al.* Variabilidade genética e sensibilidade de acessos de *Pistia stratiotes* ao herbicida Glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 579-587, jul./set. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pd/v25n3/18.pdf>. Acesso em: 31 out. 2019.
- CLARKSON, David T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. **Manganese in Soils and Plants**, Dordrecht, p.101-111, 1988. Disponível em: https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6_8. Acesso em: 21 out. 2019.
- COSTA JUNIOR, Ismael Laurindo. **Cinética de bioacumulação do íon Pb+2 na macrófita aquática *Pistia stratiotes***. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/1867>. Acesso em: 6 out. 2019.
- COUTINHO, Henrique Douglas; BARBOSA, Alyne Rats. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15,

n. 1, p.104-117, jun. 2007. Disponível em:
<http://www.scielo.mec.pt/pdf/slu/v15n1/v15n1a08.pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.

CRUZ, Michelle Barbeiro da. **Macrófitas aquáticas cultivadas em águas de drenagem ácida de mina**. 2011. 90 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em:
<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6586/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CUNNINGHAM, Scott D.; OW, David W. Promises and prospects of phytoremediation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 110, n. 3, p.715-719, March 1996. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC157769/pdf/1100715.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

DEMARCO, Carolina Faccio. **Seleção de macrófitas aquáticas com potencial de fitorremediação no arroio Santa Bárbara, município de Pelotas/RS**. 2016. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. Disponível em:
<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/seleo-de-macrfitas-aquticas-com-potencial-de-fitorremedio-no-arroio-santa-brbara-municpio-de-pelotasrs-2393>. Acesso em: 28 out. 2019.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. *E-book*. Disponível em:
https://www.academia.edu/8124473/Fundamentos_de_Limnologia_-_Francisco_de_Assis_Esteves_1_. Acesso em: 31 out. 2019.

FARNESE, Fs *et al.* Evaluation of the potential of Pistia stratiotes L. (water lettuce) for bioindication and phytoremediation of aquatic environments contaminated with arsenic. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 74, n. 3 Supl., p. S103-S112, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v74n3s1/1519-6984-bjb-74-03s1-S108.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

FERREIRA, Samantha Faim. **Efeitos da exposição sub-aguda de manganês sobre a marcha dos ratos**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:
http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/312460/1/FaimFerreira_Samantha_M.pdf. Acesso em: 2 jul. 2019.

FLEMING, A. L. Enhanced Mn accumulation by snapbean cultivars under FE stress. **Journal Of Plant Nutrition**, London, v. 12, n. 6, p. 715-731, June 1989. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904168909363986>. Acesso em: 11 nov. 2019.

FOWLER, James L.; MORGAN, Page W. The relationship of the peroxidative indoleacetic acid oxidase system to in vivo ethylene synthesis in cotton. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 49, n. 4, p. 555-559, 1 abr. 1972. Disponível em:
<http://www.plantphysiol.org/content/49/4/555>. Acesso em: 10 nov. 2019.

GAYLARDE, Christine Claire; BELLINASSO, Maria de Lourdes; MANFIO, Gilson Paulo. Biorremediação. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, [S. l.], n. 34, p. 36-43, jan./jun. 2005. Disponível em: <http://www1.esb.ucp.pt/twt/olimpiadasbio07/MyFiles/MyAutoSiteFiles/FontesInformacao253906202/samorais/Biorremediacao.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2019.

HERRERA, Tatiana Isabel; ONO, Elizabeth Orika; LEAL, Fernando Perez. Efeitos de auxina e boro no enraizamento adventício de estacas caulinares de louro (*Laurus nobilis* L.). **Biotemas**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 65-77, jan./jun. 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/23268/21002>. Acesso em: 24 out. 2019.

HORIGUCHI, Kaoru. Effect of cooling rate on freezing of a saturated soil. **Cold Regions Science And Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 147-153, ago. 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165232X87900309>. Acesso em: 10 nov. 2019.

HUA, Jianfeng *et al.* Phytoremediation potential of three aquatic macrophytes in manganese-contaminated water. **Water And Environment Journal**, New Jersey, v. 26, n. 3, p. 335-342, Nov. 9 2011. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00293.x>. Acesso em: 29 set. 2019.

INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. **Phytotechnology technical and regulatory guidance document**. Columbia: ITRC, 2009. Disponível em: <https://www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=64>. Acesso em: 9 out. 2019.

JARDIM, Lia M. Beatriz F.; MALAVOLTA, E. Efeitos do manganês sobre o desenvolvimento e a composição mineral de quatro leguminosas forrageiras tropicais. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 41, n. 2, p. 725-759, 1984. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v41n2/13.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

JOHANSEN, Donald Alexander. **Plant microtechnique**. New York: Mcgraw-hill, 1940. Disponível em: <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.271824/page/n1>. Acesso em: 2 nov. 2019.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. Disponível em: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ffbf/547a23bfa7c8830d14ad04392e678f0daa8c.pdf>. Acesso em: 31 out. 2019.

KURSCHEIDT, Elãine Cristina de Souza. **Avaliação da fitorremediação como alternativa de pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando macrófitas**. 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/31740/R%20-%20D%20-%20ELAINE%20CRISTINA%20DE%20SOUZA%20KURSCHEIDT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 out. 2019.

LASAT, Mitch M. Phytoextraction of toxic metals. **Journal Of Environment Quality**, [S. l.], v. 31, n. 1, p.109-120, 2002. American Society of Agronomy. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/31/1/109>. Acesso em: 10 nov. 2019.

LIDON, Fernando Cebola; BARREIRO, Maria Graça; RAMALHO, José Cochicho. Manganese accumulation in rice: implications for photosynthetic functioning. **Journal Of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 161, n. 11, p. 1235-1244, Nov. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161704000501>. Acesso em: 10 nov. 2019.

LORENZI, Harri. **Plantas daninhas do Brasil: terrestre, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa: Plantarum, 1982.

LUO, Chunling; SHEN, Zhenguog; LI, Xiangdong. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 1-11, March 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504009579>. Acesso em: 31 ago. 2019.

MAGRO, Clinei Dal et al. Biossorção passiva de cromo (VI) através da microalga *Spirulina platensis*. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1139-1145, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n8/v36n8a11.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2019.

MALAVOLTA, E. et al. Deficiência de macro e micronutrientes e toxidez de Cl, Mn e Al no sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 36, p. 173-202, 1979. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v36/11.pdf>. Acesso em: 16 set. 2019.

MARMIROLI, Nelson; MAESTRI, Elena. Health implications of trace elements in the environment and the food chain. In: PRASAD, M. N. V. **Trace elements as contaminants and nutrients**. New Jersey: Wiley, 2008. p. 23-54. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=FRJsgZXxUMC&oi=fnd&pg=PA23&dq=Health+implications+of+trace+elements+in+the+environment+and+the+food+chain.&ots=U5QMYz7EeL&sig=wpuPssRfW7OvuEy7xLq009Zkgdk#v=onepage&q=marmiroli&f=false>. Acesso em: 15 out. 2019.

MARQUES, Marcia; AGUIAR, Christiane Rosas Chafim; SILVA, Jonatas José Luiz Soares da. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, jan./fev. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n1/a01v35n1.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2019.

MARSCHNER, Horst. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=phnpH1XeBkC&printsec=frontcover&dq=Mineral+nutrition+of+higher+plantssecond+edition&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwiuiJyH_p7IAhUSGbKGHWSgAH0Q6AEILDAA#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 15 out. 2019.

MARTINS, Ana Paula Lang. **Capacidade do *Polygonum hydropiperoides* e *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na região da Bacia do Iraí**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3459/Ana%20Paula%20Lang%20Martins.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 out. 2019.

MIRETZKY, Patricia; SARALEGUI, Andrea; CIRELLI, Alicia Fernández. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. **Chemosphere**, Oxford, v. 62, n. 2, p. 247-254, Jan. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505007204>. Acesso em: 31 out. 2019.

MUFARREGE, M. M.; HADAD, H. R.; MAINE, M. A. Response of *Pistia stratiotes* to Heavy Metals (Cr, Ni, and Zn) and Phosphorous. **Archives Of Environmental Contamination And Toxicology**, New York, v. 58, n. 1, p. 53-61, 9 jun. 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-009-9350-7>. Acesso em: 10 nov. 2019.

OLIVEIRA, Cynthia de. **Características morfoanatômicas e fisiológicas na avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Pistia stratiotes* L. na presença de cádmio, chumbo e arsênio**. 2010. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: encurtador.com.br/BLQ57. Acesso em: 10 nov. 2019.

OLIVEIRA, Luciana Fernandes de et al. Single and combined effects of Zn, Mn and Fe on the Neotropical freshwater bivalve *Anodontites trapesialis*: Bioaccumulation and biochemical biomarkers. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.l.], v. 161, p.735-745, out. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651318305128>. Acesso em: 11 nov. 2019.

OLIVEIRA, Luciana Fernandes de et al. Triple-mixture of Zn, Mn, and Fe increases bioaccumulation and causes oxidative stress in freshwater neotropical fish. **Environmental Toxicology And Chemistry**, [S.l.], v. 37, n. 6, p.1749-1756, 11 abr. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29528133>. Acesso em: 11 nov. 2019.

PAULO, Carlos; PRATAS, João. Environmental contamination control of water drainage from uranium mines by aquatic plants. In: PRASAD, M. N. V. **Trace elements as contaminants and nutrients**. New Jersey: Wiley, 2008. p. 623-654. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/229930328_Environmental_Contamination_Control_of_Water_Drainage_from_Uranium_Mines_by_Aquatic_Plants. Acesso em: 28 out. 2019.

PEUKE, Andreas D.; RENNENBERG, Heinz. Phytoremediation. **Embo Reports**, Heidelberg, v. 6, n. 6, p. 497-501, jun. 2005. Disponível em: <https://www.embopress.org/doi/pdf/10.1038/sj.embor.7400445>. Acesso em: 09 out. 2019.

RAMOS, Thalita Dallapícula. **Avaliação da exposição ambiental ao manganês na população residente no entorno de um estaleiro no município de Angra dos Reis, RJ**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/24556/1/658.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

RODRIGUES, Ana Carolina Dornelas. **Potencial da alface-d'água (*Pistia stratiotes*) para descontaminação de águas contaminadas por Zn e Cd**. 2016. 129 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/2346#preview-link0>. Acesso em: 21 jul. 2019.

ROMEIRO, Solange *et al.* Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 328-334, abr./jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n2/17.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2019.

SANDRINI-NETO, Leonardo; CAMARGO, Mauricio G. **GAD**: an R package for ANOVA designs from general principles. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=GAD>. Acesso em: 1 out. 2019.

SANTOS, Claudineia Lizieri dos. **Acúmulo e toxidez de manganês em macrófitas aquáticas flutuantes livres**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2513/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jul. 2019.

SANTOS, J. B. *et al.* Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas. In: SILVA, Antonio Alberto da; SILVA, José Francisco da (Ed.) **Tópicos em manejo integrado de plantas daninhas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 211–232. Disponível em: <http://www.fag.edu.br/professores/acprodrigues/Controle%20de%20Plantas%20Daninhas/Capitulo6%20-%20Fitorremedia%E7%E3o.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SHI, Qinghua *et al.* Effect of excess manganese on the antioxidant system in

Cucumis sativus L. under two light intensities. **Environmental And Experimental Botany**, New York, v. 58, n. 1-3, p. 197-205, dez. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847205001607>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SINHA, S.; RAI, U.n.; CHANDRA, P.. Accumulation and toxicity of iron and manganese in Spirodela polyrrhiza (L.) scheidt. **Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology**, [s.l.], v. 53, n. 4, p.610-617, out. 1994. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8000191>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SKINNER, Kathleen; WRIGHT, Nicole; PORTER-GOFF, Emily. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 145, n. 1, p.234-237, Jan. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749106002004>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SOLTAN, M. E.; RASHED, M. N. Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentrations. **Advances In Environmental Research**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 321-334, jan. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1093019102000023>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SPILLER, Susan C.; CASTELFRANCO, Ann M.; CASTELFRANCO, Paul A. Effects of iron and oxygen on chlorophyll biosynthesis'. **Plant Physiology**, Rockville, v. 69, n. 1, p. 107-111, Jan. 1982. Disponível em: <https://sci-hub.tw/10.1104/pp.69.1.107>. Acesso em: 25 set. 2019.

SUSARLA, Sridhar; MEDINA, Victor F.; MCCUTCHEON, Steven C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, Washington, v. 18, n. 5, p. 647-658, Jun. 2002. Disponível em: [https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5). Acesso em: 09 out. 2019.

THE WEEDS SOCIETY OF WESTERN AUSTRALIA. **Monocotyledons**. Disponível em: http://wswa.org.au/western_weeds/alstoemeia_araceae.htm. Acesso em: 10 nov. 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Introduction to phytoremediation**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, 2000. Disponível em: <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.

VIDALI, M. Bioremediation: An overview. **Pure and Applied Chemistry**, Padova, v. 73, n. 7, p. 1163-1172, 2001. Disponível em: <https://sci-hub.tw/10.1351/pac200173071163>. Acesso em: 9 out. 2019.

YANG, Xiaoe *et al.* Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. **Journal of Trace Elements in Medicine And Biology**, [S. l.], v.

18, n. 4, p.339-353, jun. 2005. Disponível em: <https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.007>. Acesso em: 9 out. 2019.

ZAMBOLIM, Laércio; VALE, Francisco X. R. do; COSTA, Hécio. Nutrição Nutrição contra doenças: equilíbrio nutricional proporciona aumento da resistência fisiológica das plantas. **Cultivar Grandes Culturas**, Viçosa, p. 28-30, 2001. Disponível em: https://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/gc29_nutricao.pdf. Acesso em: 25 set. 2019.

ZAYED, A; GOWTHAMAN, S; TERRY, N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plantas: I. Duckweed. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 27, n. 3, p. 715-721, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250107077_Phytoaccumulation_of_Trace_Elements_by_Wetland_Plants_I_Duckweed. Acesso em: 31 ago. 2019.

ZHOU, Qunfang et al. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 606, n. 2, p.135-150, jan. 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18082645>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ZIMMELS, Y.; KIRZHNER, F.; MALKOVSKAJA, A. Application of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel. **Journal Of Environmental Management**, London, v. 81, n. 4, p.420-428, dez. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706000065>. Acesso em: 10 nov. 2019.