

FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Débora Luisa Silva Teixeira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
debora.teixeira@inpe.br, deboralsteixeira@gmail.com

Prof. Dr. Luiz Tadeu da Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
luiz.tadeu@inpe.br, luiz.tadeu.silva@gmail.com

Leon Balloni Gomes

Universidade de São Paulo - USP
ballonigomes@gmail.com

Luan Moreira Grilo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
luan.grilo@inpe.br, luanmgrilo@gmail.com

Thaís dos Santos Moraes

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
thais.moraes@inpe.br; thaismoraes4@gmail.com

Prof. MSc. José Felipe da Silva Farias

Universidade de Évora - UNEV
jfsfarias2000@gmail.com

1. Introdução

A contaminação de ambientes aquáticos e terrestres por compostos químicos perigosos é um dos graves problemas decorrentes da industrialização e do uso intensivo de agrotóxicos no Brasil. Essa contaminação pode ocorrer por descarte e derrame proposital ou acidental de resíduos provenientes de atividades agrícolas, industriais, domésticas ou por deposição atmosférica, que modificam as características naturais da água e do solo, produzindo impactos e limitando seus usos (MARQUES *et al.*, 2011).

No que se refere a ambientes aquáticos, tal contaminação representa uma das mais preocupantes, visto que a água é um insumo indispensável não só aos organismos vivos, mas também à produção e ao desenvolvimento socioeconômico, fortalecendo a necessidade de busca por métodos de prevenção e descontaminação (RODRIGUES, 2016).

Nesse contexto, a fitorremediação desponta como uma técnica acessível e de fácil aplicação, sendo muito utilizada em projetos de remediação de ambientes contaminados. Essa técnica consiste na utilização de plantas para remover, tornar inerte ou minimizar os riscos causados por poluentes dissolvidos nesse ambiente (PIO *et al.*, 2013).

Algumas das características das plantas aquáticas (macrófitas) como: seu fácil cultivo; elevada taxa de crescimento; produção de biomassa e tolerância a substâncias tóxicas, evidenciam o seu potencial na extração de metais pesados e outros poluentes quando cultivada *in vivo* em ambientes contaminados (PIO *et al.*, 2013). A remoção desses contaminantes pode ser realizada através da colheita das plantas, caso o processo envolver a absorção dos poluentes da água e translocação para a parte aérea, podendo as mesmas serem utilizadas posteriormente para fins não alimentares (GOMES *et al.*, 2016).

Com toda essa gama de aplicações, vem crescendo o número de estudos envolvendo plantas que sejam hiperacumuladoras de poluentes específicos e que ao mesmo tempo sejam interessantes do ponto de vista social, agrícola e/ou econômico. Diante disso, esse trabalho buscou elencar algumas dessas plantas e seus usos na remediação de águas contaminadas.

Palavras chave: Fitorremediação, águas contaminadas, plantas hiperacumuladoras.

2. Metodologia

Para a elaboração deste trabalho realizou-se um levantamento teórico científico, através de artigos publicados em jornais e revistas a níveis nacional e internacional, bem como de dissertações de mestrado e de teses de doutorado, sendo possível avaliar as pesquisas e conhecimentos ora produzidos e destacar as considerações, resultados e discussões mais importantes. Para demonstrar a capacidade de aplicação da fitorremediação de águas contaminadas no Brasil, foram apresentados alguns estudos com plantas remediadoras, atentando-se à seleção de plantas que sejam apropriadas e relevantes à realidade nacional.

3. Resultados e Discussões

As plantas desenvolvidas em um ambiente contaminado por substâncias químicas podem responder de diferentes formas a essa contaminação. Elas podem ser sensíveis, exibindo sintomas de toxicidade, ou tolerantes, desenvolvendo mecanismos que evitam os efeitos

deletérios desses elementos e, conseqüentemente, permitindo o melhor desenvolvimento das plantas (LASAT, 2002).

Muitos estudos têm apontado a existência de plantas que são tolerantes a alguns poluentes em específico e apresentam grande potencial de uso na remediação de águas contaminadas. Alguns desses estudos são apresentados a seguir, evidenciando plantas bastante comuns à realidade brasileira.

3.1. Aguapé (*Eichhornia crassipes*)

O aguapé é uma planta considerada daninha, com reprodução rápida e elevado potencial econômico e ecológico para muitas regiões subtropicais e tropicais do mundo. A capacidade da macrófita (Figura 1) em tolerar ambientes contaminados por metais pesados é atribuída a sua habilidade em sofrer modificações fisiológicas e anatômicas, que levam a adaptação ao ambiente estressante (PEREIRA, 2010).

Figura 1 – Aguapé (*Eichhornia crassipes*)



Fonte: JOHN (2017).

Em estudo com aguapé, OLIVEIRA *et al.* (2001) observaram que cerca de 80% de todo Cádmiio (Cd) absorvido pela macrófita foi acumulado nas raízes, mesmo estando as folhas em contato com a solução contaminada. As plantas de aguapé não apresentaram sintomas visíveis de toxidez ou qualquer outra indicação de que o metabolismo vegetal estivesse sendo alterado, nas concentrações mais baixas de Cd. Nas concentrações mais elevadas, foram observados alguns sintomas de toxidez que não puderam ser considerados específicos para toxidez de Cd, uma vez que várias deficiências minerais podem resultar em sintomatologia similar.

PEREIRA (2010), por sua vez, constatou que o aguapé é capaz de tolerar concentrações de 4,0 mg L⁻¹ de chumbo sem prejuízos em sua estrutura e que a presença do metal pesado promoveu um aumento da taxa fotossintética associada com modificações anatômicas e fisiológicas.

Além do acúmulo de metais pesados, de acordo com avaliações de GRECO (2010), o aguapé apresentou uma eficiência de remoção de 87,98% de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) e teor de celulose de 20,2% quando cultivado no efluente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Universidade de Santa Cruz do Sul - RS. A autora ainda apontou que espécies utilizadas em tratamento de efluentes, através da técnica de fitorremediação, têm grandes potenciais de serem reaproveitadas como futuros combustíveis e geradores de energia, devido a seus elevados teores de celulose.

3.2. Alface-d'água (*Pistia stratiotes*)

A alface-d'água é uma planta aquática flutuante, ou seja, independente do substrato, popularmente conhecida como Alface-d'água (Figura 2). Essa macrófita tem se destacado pelos inúmeros problemas nos usos múltiplos dos cursos d'água, sendo considerada daninha por sua elevada taxa de crescimento, que muitas vezes pode levar ao entupimento de tubulações e canais de irrigação, prejuízos a hidrelétricas, esportes náuticos, além da redução da biodiversidade (RODRIGUES, 2016; THOMAZ, 1999).

Figura 2 - Alface-d'água (*Pistia stratiotes*)



Fonte: MORESCO (2016).

RODRIGUES (2016) concluiu, a partir de dados experimentais, que a alface d'água possui capacidade de remoção dos metais pesados Zinco e Cádmiio de soluções contaminadas, proporcional ao tempo de cultivo dessa planta e aos níveis de contaminação da solução. A autora relatou, ainda, um maior acúmulo nas raízes, com elevação da taxa de translocação para parte aérea com o aumento da contaminação e tempo de cultivo.

A macrófita também foi resistente e adaptou-se a faixa de concentração do íon Cromo (IV) utilizada no estudo de MORESCO (2016), sendo eficiente na remoção do metal presente na solução utilizada em seu cultivo, com maior remoção evidenciada nos primeiros dias de contato. Foi indicado, então, que o uso da macrófita *Pistia stratiotes* em processos de fitorremediação deve ser considerado alternativo e viável, pelo menos em estágios

intermediários ou finais, visando à remoção complementar ou residual (baixas concentrações) de íons Cromo (VI) em sistemas de tratamentos para águas residuárias.

3.3. Capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

O capim vetiver é uma planta de crescimento rápido, de sistemas radiculares penetrantes, altamente tolerantes a condições climáticas adversas e a níveis elevados de metais pesados, herbicidas, podendo atuar, ainda, com grande eficiência na absorção de nitrogênio, fósforo e sulfato (DHANYA e JAYA, 2013). A espécie não é classificada como macrófita aquática, entretanto, pode ser introduzida nos ambientes aquáticos, desde que plantada em uma estrutura projetada para a mesma flutuar (ALMEIDA, 2011).

Figura 3 - Parte superior e parte inferior (raízes) do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*)



Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2017).

Em um estudo com *Vetiveria zizanioides*, ALMEIDA (2011) avaliou o potencial da espécie na fitorremediação dos metais-traço, tais como Cádmiio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), presentes na água. Após um período de 28 dias, observou-se as seguintes variações na concentração dos metais: redução de 2,6 mgCd/L para <0,02 mgCd/L; 4,1 mg/L iniciais de Cr para concentração abaixo do limite de detecção do aparelho; 11,3 mgNi/L para 1,18 mgNi/L; 7,46 mgPb/L para 0,18 mgPb/L e 63,1% de redução na concentração inicial de 31,03 mg/L de Zn. Segundo apontamentos da autora, o vetiver é uma espécie promissora para os programas de fitorremediação, podendo ser aplicado como polimento no tratamento de efluentes, maximizando a eficiência do mesmo.

OLIVEIRA *et al.* (2017) também constataram a eficiência da espécie na remoção de matéria orgânica em efluentes suinícolas. Após 105 dias de tratamento, foi observada uma redução de matéria orgânica de 4980 mg/L para 390 mg/L, demonstrando grande potencial de uso suinocultura industrial, uma vez que grande parte dos processos de remoção da carga orgânica apresentam custo relativamente elevado.

3.4. Taboa (*Typha domingensis*)

Typha domingensis, da família *Typhaceae* e conhecida como taboa (Figura 4), é uma planta perene, herbácea, rizomatosa, aquática, com caule cilíndrico e podendo atingir até 3 m de altura. É muito frequente em margens de lagos, reservatórios, canais de drenagem e várzeas. Quando em povoamentos densos, essas plantas provocam desequilíbrio, tornando-se infestantes em açudes e várzeas úmidas, diminuindo ou impedindo seu aproveitamento adequado; em contrapartida, possui importância comercial, servindo de matéria-prima para confecção de móveis e de celulose (BIANCO *et al.*, 2003; MARTINS *et al.*, 2007).

Figura 4 - Taboa (*Typha domingensis*)



Fonte: BAGATINI (2015).

MARTINS *et al.* (2007) avaliaram a capacidade da *Typha* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí - PR. No melhor tratamento, observou-se uma remoção na água de até 87% de nitrogênio e 54% de fósforo adicionados, significando ser uma planta bastante promissora nesta linha de investigação. Entre outros poluentes, altas concentrações de nitrogênio e fósforo são apontadas como agentes eutrofizantes das águas, provocando um aumento de biomassa e posterior acúmulo de matéria orgânica em decomposição nesses ambientes.

A planta também foi analisada quanto a capacidade de extração de zinco e manganês em áreas de mineração em Siderópolis - SC (ZOCHE *et al.*, 2010). Segundo os autores, as tendências observadas para ambos os metais em *Typha domingensis*, comprovam o comportamento das plantas em concentrar elementos de forma diferenciada em suas diferentes estruturas. Este fato viabiliza a utilização da espécie na extração de elementos tóxicos dos efluentes de mineração, possibilitando a descontaminação desses ambientes por meio de colheitas sucessivas das partes aéreas das plantas.

4. Conclusões

Após a elaboração deste trabalho concluiu-se que a fitorremediação de águas contaminadas pode se tornar ainda mais interessante e vantajosa quando há a utilização de plantas que aliem a capacidade remediadora a características desejáveis do ponto de vista econômico, já que segundo ABHILASH e YUNUS (2011), a biomassa depois de avaliada sua ecotoxicidade, pode ser usada na produção de energia e etanol e incorporada a materiais cerâmicos. Além disso, a técnica pode ser aplicada no tratamento de águas residuárias de atividades de mineração, suinocultura, piscicultura, entre outras, tornando-se uma alternativa muito viável economicamente para quem desenvolve essas atividades.

Portanto, a fitorremediação de águas contaminadas é extremamente pertinente à realidade nacional, uma vez que reúne as vantagens econômicas listadas a benefícios socioambientais, como descontaminação/aumento da qualidade da água e a extração de contaminantes de efluentes industriais e domésticos, evitando o carregamento dos mesmos para corpos hídricos.

5. Referências

- ABHILASH, P.C.; YUNUS, M. Can we use biomass produced from phytoremediation? **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.1371-1372, 2011.
- ALMEIDA, E. A. P. e. **Avaliação do potencial da espécie *Vetiveria Zizanioides* na fitorremediação de metais-traço presentes em ambientes aquáticos**. 2011. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BAGATINI, J. A. ***Typha domingensis* Pers.** 2015. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=13826>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Leaf area estimation in *Typha latifolia* using leaf blade linear dimensions. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.257-261, 2003.
- DHANYA, G.; JAYA, D. Pollutant Removal in Wastewater by Vetiver Grass in Constructed Wetland System. **IJERT**. v. 2, ed. 12, p. 1361-1368, 2013.
- GOMES, M. A.; HAUSER-DAVIS, R. A.; DE SOUZA, A. N.; VITORIA, A. P. Metal phytoremediation: General strategies, genetically modified plants and applications in metal nanoparticle contamination. **Ecotox. and Environ. Safe.**, v. 134, Parte 1, p. 133-147, 2016.
- GRECO, M. F. P. de S. **Estudo exploratório de macrófitas aquáticas: potencial de fitorremediação (N-NH₃) e de aproveitamento de biomassa**. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul- Unisc, Santa Cruz do Sul.
- JOHN, L. **Aguapé remove poluentes pesados da água e ainda tem múltiplas utilidades**. 2017. Disponível em: <<http://conexaoplaneta.com.br/blog/aguape-remove-poluentes-pesados-da-agua-e-ainda-tem-multiplas-utilidades/>>. Acesso em: 26 mar. 2019.
- LASAT, M. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. **J. Environ. Qual.**, v. 31, p. 109-120, 2002.

- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; DA SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. vol.35, n.1, p.1-11, 2011.
- MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B.; FAVARETTO, N.; BOEGER, M. R. T.; OLIVEIRA, E. B. de. Capacidade da *Typha domingensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí - Paraná. **AGRIAMBI**, v.11, n. 3, p. 324-330, 2007.
- MORESCO, C. **Avaliação do potencial da macrófita na exposição de íon cromo (VI): biossorção e tolerância**. 2016. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvinia. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.
- OLIVEIRA, E. de; CYPRIANO, K. N.; TEIXEIRA, L. G. D.; SKORKA, M. **Avaliação do potencial da espécie *Vetiveria Zizanioides* na fitorremediação de metais-traço presentes em ambientes aquáticos**. Araquari - SC: Instituto Federal Catarinense. Trabalho Final do Projeto de Iniciação Científica Integrada (PIC-QUIMI). 2017.
- PEREIRA, F. J. **Características anatômicas e fisiológicas de Aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivados na presença de Arsênio, Cádmio e Chumbo**. 2010. 116 p. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia/fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.
- PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amaz.**, v.43, n.2, p. 203-210, 2013.
- RODRIGUES, A. C. D. **Potencial da Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) para Descontaminação de Águas Contaminadas por Zn e Cd**. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária, p. 21-108.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: **HENRY, R. (Ed.). Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu, FUNDIBIO: FAPESP, p. 599-625, 1999.
- ZOCHE, J. J.; FREITAS, M.; QUADROS, K. E. de. Concentração de Zn e Mn nos efluentes do beneficiamento de carvão mineral e em *Typha domingensis* Pers. (*Typhaceae*). **Revista Árvore**, v. 34, n.1, p. 177-188, 2010.