

Eixo Temático ET-09-016 - Biologia Aplicada

PROSPECÇÃO DE PLANTAS FITORREMEIADORAS EM SOLOS CONTAMINADOS POR AGENTES QUÍMICOS

José Nunes Cordeiro¹, Yhasminie Karine da Silva², Elizabete Regina Silva Lucena dos Santos³,
Sandrine Maria de Arruda Lima⁴

¹Especialista em Ciências Ambientais. Faculdade de Formação de Professores de Serra Talhada.

²Especialista em Biologia Molecular. Universidade de Pernambuco.

³Licenciada em Ciências Biológicas. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

⁴Doutora em Biotecnologia. Universidade Federal de Pernambuco.

RESUMO

A busca por práticas e metodologias que contribuam para a sustentabilidade dos ambientes tem sido o foco de muitos profissionais e estudiosos das ciências ambientais. Muitos esforços são empreendidos na recuperação, preservação e manutenção de áreas degradadas com valor econômico, ambiental e produtivo. Um dos métodos para recuperação de ambientes degradados ou contaminados é a fitorremediação, feita usando plantas específicas, que atuam de modo preciso, retirando ou amenizando substâncias ou elementos químicos presentes no ambiente. As fontes destes contaminantes são variadas, como resíduos de matérias industriais, de mineração, lixo urbano, fertilizantes, herbicidas, pesticidas e derivados de petróleo. O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre uso de plantas com capacidades remediativas de solos contaminados por agentes químicos. Para isso, foram selecionados manuscritos em português da base de dados Google Acadêmico e Scielo Brasil usando as palavras-chave: remediação, fitorremediação e plantas fitorremediadoras, publicados entre 2012 e 2017. Com base na análise dos artigos foram identificadas quinze espécies pertencentes a cinco famílias (Fabaceae, Poaceae, Tamaricaceae, Euphorbiaceae e Pinaceae) e os processos fitorremediativos que cada família utilizava para retirar do solo o contaminante presente. Dentre os diversos contaminantes, os trabalhos revisados detectaram a presença de alguns metais (Cobre, Zinco e Cádmio) e substâncias orgânicas presente em herbicidas (Sulfentrazone e Picloram). Sabendo do potencial remediador das plantas, estudos mais específicos precisam ser realizados, visto que os processos envolvidos na fitorremediação são ecologicamente viáveis para a remoção de contaminantes em áreas infectadas.

Palavras-chave: Contaminantes; Remediação; Preservação ambiental.

INTRODUÇÃO

A remediação consiste em descontaminar o solo ou a água, contaminados com substâncias inorgânicas ou orgânicas, usando métodos físicos, químicos ou biológicos, utilizados conjuntamente na maioria das circunstâncias. Isso leva o ambiente a um nível seguro de contaminantes. A remediação pode ser realizada *in situ* (no local contaminado) ou *ex situ* (fora da área contaminada) ou ambas concomitantemente (SCHEID, 2016).

Quando a remediação biológica é feita por plantas, para degradar, conter ou imobilizar contaminantes do solo e da água, recebe o nome de fitorremediação. Esse termo científico surgiu, recentemente, na década de 1990. Na fitorremediação de áreas degradadas por contaminação, há o uso de plantas anuais, perenes nativas ou exóticas com a finalidade de realizar a extração, acumulação ou biotransformação dos contaminantes presentes em determinado local (TAVARES, 2017).

As plantas com potencial remediativo auxiliam na remoção de contaminantes como agrotóxicos, metais pesados, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria. Elas se adaptam a diversos tipos de ambientes, sendo tão eficientes, que quase todos os lugares

possuem a presença de uma espécie vegetal amenizadora, ou até mesmo, despoluidoras da totalidade de áreas contaminadas. Espécies para o mecanismo de fitorremediação devem possuir características, como boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e resistência ao poluente (PIRES et al., 2003).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), a área contaminada deve ser entendida como “um terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria constituída de quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger. E nessa área tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural”.

São diversos os mecanismos da fitorremediação. Eles variam de acordo com o contaminante que se quer capturar, retirar ou incorporar à massa biológica, ou ainda, quando se quer transformar o contaminante em um material que possa voltar aos ciclos biogeoquímicos. Entre os mecanismos temos: a fitoextração (absorção e translocação dos contaminantes, metais ou substâncias orgânicas, pelas raízes para a parte aérea, caule e folhas); a fitoestabilização (imobilização de metais no solo através da imobilização nos tecidos da planta, adsorção em raízes e precipitação na zona radicular); a fitodegradação (degradação ou mineralização dos contaminantes orgânicos por ação de enzimas específicas); a fitovolatilização (volatilização dos contaminantes através das folhas por transpiração, transformando-os em formas moleculares menos tóxicas, como exemplo compostos contendo Mercúrio); a fitoestimulação (estimulação das raízes para o desenvolvimento de uma rizosfera com microorganismos degradadores de contaminantes orgânicos); a fitofiltração (utilização das plantas para remover contaminantes da água, muito empregada para descontaminação de substâncias radioativas) e a rizofiltração (adsorção e precipitação sobre as raízes das plantas) (TAVARES, 2017).

Algumas vantagens dos processos da fitorremediação são o menor custo em relação às técnicas tradicionalmente utilizadas envolvendo a remoção do solo para tratamento; os compostos orgânicos podem ser degradados a CO₂ e H₂O, removendo toda a fonte de contaminação; as propriedades biológicas e físicas do solo são preservadas; as plantas ajudam no controle do processo erosivo; a incorporação de matéria orgânica ao solo, quando não houver necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada; essas plantas podem ser implementadas com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado; e ainda, utiliza energia solar para realizar os processos (PIRES et al., 2003).

Enquanto desvantagens, a dificuldade na seleção de plantas para fitorremediação; o tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo; o clima e condições edáficas podem restringir o crescimento de plantas fitorremediadoras; os elevados níveis do contaminante no solo podem impedir a introdução de plantas no local contaminado; na fitorremediação de orgânicos, as plantas podem metabolizar os compostos; grande potencial de contaminação na cadeia alimentar e possibilidade da planta fitorremediadora tornar-se planta daninha (PIRES et al., 2003).

OBJETIVO

Analisar as principais espécies vegetais utilizadas no processo de fitorremediação de solos contaminados, bem como identificar os principais agentes químicos causadores da contaminação.

METODOLOGIA

Foram selecionados manuscritos da base de dados Google Acadêmico e Scielo Brasil empregando as seguintes palavras-chave “remediação”, “fitorremediação”, “plantas fitorremediadoras”. O principal critério de inclusão utilizado foi artigos no idioma português, publicados no período de 2012 a 2017, que abordassem o uso de plantas com capacidades remediativas de solos contaminados por agentes químicos. A partir dessa análise foi construída uma tabela com informações referentes às espécies fitorremediadoras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise dos artigos sobre o tema plantas fitorremediadoras de solos contaminados, foi possível identificar 15 espécies com esse potencial (Tabela 1). Os dados foram organizados de modo temporal (do mais antigo para o mais recente), indicando a espécie, seu nome vulgar ou comum, uma possível espécie bioindicadora de contaminação no ambiente remediado, a fonte geradora de contaminação, o contaminante, o processo de fitorremediação identificado e os autores que constataram tais informações.

Dentre as espécies fitorremediadoras: sete foram da família Fabaceae (*Senna multijuga*, *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Dolichos lablab*, *Vicia villosa* Roth e *Erythrina crista-galli* L.), quatro da família Poaceae (*Eleusine coracana*, *Avena strigosa* Schreb, *Avena brevis* L. e *Urochloa brizantha*), uma da família Tamaricaceae (*Tamarix aphylla*), uma da família Euphorbiaceae (*Jatropha curcas*) e duas da família Pinaceae (*Pinus elliotii* e *Pinus taeda*) (Figura 1).

As principais fontes geradoras de contaminação foram herbicidas, fertilizantes, resíduos de mineração, resíduos urbanos, resíduos industriais e resíduos derivados de hidrocarbonetos. Os metais pesados mais evidenciados nessa revisão foram Cobre com seis espécies fitorremediadoras, Cádmio com uma espécie e Zinco com três espécies vegetais fitorremediadoras. Esses metais estão presentes na composição de alguns herbicidas, fertilizantes, materiais industriais, derivados de petróleo e resíduos urbanos (Tabela 1).

O sulfentrazone de fórmula molecular $C_{11}H_{10}Cl_2F_2N_4O_3S$ é um herbicida com características carcinogênicas, sintetizado em laboratórios detentores de patente (BRUM et al., 2013). Nessa revisão foram observadas quatro espécies vegetais da família Fabaceae com capacidade fitorremediadora de sulfentrazone.

O picloram de fórmula molecular $C_6H_3Cl_3N_2O_2$, também herbicida, é muito característico pelo odor de Cloro e pela alta solubilidade em compostos polares. Por isso a grande preocupação de sua contaminação no lençol freático (FRANCO et al., 2014). Duas espécies vegetais, nessa revisão, foram capazes de fitorremediar o picloram. Essas espécies pertencem a família Poaceae, angiosperma monocotiledônea, o que justifica o uso do herbicida em dicotiledôneas, como é o caso do feijão (*Phaseolus vulgaris*) da família Fabaceae utilizado no trabalho de Franco et al. (2014) como planta bioindicadora da degradação do contaminante picloram no solo.

Em relação aos mecanismos de fitorremediação, Chaves e Souza (2014) constataram que o elemento Cádmio se acumulou na planta *Jatropha curcas* (pinhão-mansão) na seguinte ordem: raiz > caule > folhas, reduzindo o seu crescimento em altura, diâmetro caulinar, área foliar e produção de fitomassa. Isso sugere uma não adequação da planta para fitoextração de Cádmio em solos contaminados com este elemento. Campos et al. (2017) verificaram que a fitoestimulação usando fungos ectomicorrízicos é mais eficiente na remediação do Cobre.

Uma planta pode apresentar mais de um mecanismo de fitorremediação, condição encontrada nos trabalhos de Madalão et al. (2012) e Silva et al. (2012) com as espécies *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* e *Eleusine coracana*, sendo os processos de fitoestimulação e fitoextração nas duas primeiras plantas e, fitodegradação e fitoestabilização na última planta. Uma justificativa em relação a outras espécies que apresentam apenas um mecanismo de fitorremediação seria as três espécies, anteriormente mencionadas, fitorremediarem substâncias orgânicas com estrutura mais complexas. Como os nomes dos processos sugerem há de forma natural fenômenos físico-químico-biológicos que estimulam ou desencadeiam reações ou comportamentos dos contaminantes com a finalidade de degradá-los ou transformá-los, deixando-os estáveis ou ecologicamente viáveis no ambiente. Depois de estáveis os mesmos naturalmente são metabolizados pelas plantas fitorremediadoras.

Tabela 1. Informações gerais sobre as principais espécies verificadas com potencial fitorremediador na descontaminação de solos.

ESPÉCIE VEGETAL FITORREMEIADORA	NOME COMUM OU NOME VULGAR	ESPÉCIE BIOINDICADORA	FONTE GERADORA DE CONTAMINAÇÃO (CONTAMINANTE)	MECANISMOS DE FITORREMEIAÇÃO IDENTIFICADO	AUTORES QUE RELATARAM
1	<i>Cajanus cajan</i> Andu, ervilha de pombo, anduzeiro, guandeiro, guando, feijão-guandu, feijão moer.	<i>Pennisetum glaucum</i>	Herbicida (Sulfentrazone)	Fitoestimulação e Fitoextração	Madalão et al. (2012)
2	<i>Crotalaria juncosa</i> Crotalaria	<i>Pennisetum glaucum</i>	Herbicida (Sulfentrazone)	Fitoestimulação e Fitoextração	Madalão et al. (2012)
3	<i>Eleusine coracana</i> Capim pé de galinha	-	Herbicida (Picloram)	Fitodegradação e Fitoestabilização	Silva et al. (2012)
4	<i>Tamarixaphylla</i> Pinho de Athel e cedro de sal	-	Herbicida e resíduos de minas (Cobre)	Fitoextração	Andreazza et al. (2013)
5	<i>Dolichos lablab</i> Orelha de Padre, Mangalô, feijão de padre.	-	Herbicida (Sulfentrazone)	Fitoestabilização	Madalão et al. (2013)
6	<i>Avena strigosa</i> Schreb Aveia, aveia-estrigosa, aveia-negra ou aveião.	-	Herbicida e fertilizantes (Cobre)	Fitoestabilização	Vendruscolo (2013)
7	<i>Avena brevis</i> L. Aveia	-	Herbicida e fertilizantes (Cobre)	Fitoestabilização	Vendruscolo (2013)
8	<i>Vicia villosaroth</i> Ervilhaça dos cachos roxos, ervilhaça-peluda ou ervilhaça-vilosa.	-	Herbicida e fertilizantes (Cobre)	Fitoextração	Vendruscolo (2013)
9	<i>Jatropha curcas</i> Pinhão-manso	-	Resíduos urbanos e industriais (Cádmio)	Fitoextração	Chaves e Souza (2014)
10	<i>Urochloa brizantha</i> Braquiária	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Herbicida (Picloram)	Fitoestabilização	Franco et al. (2014)
11	<i>Erythrina cristina-galli</i> Corticeira, corticeira-do-banhado, crista-de-galo.	-	Resíduos urbanos e industriais (Zinco)	Fitoextração	Scheid (2016)
12	<i>Senna multijuga</i> Pau cigarra, caçura, aletuia, canafistula.	-	Resíduos urbanos e industriais (Zinco)	Fitoestabilizadora	Scheid (2016)
13	<i>Pinus elliptica</i> Pinheiro ou pinho amarelo	-	Resíduos derivados de hidrocarbonetos (Cobre e Zinco)	Fitoestabilização	Silva (2016)
14	<i>Pinus taeda</i> Pinheiro-rabo-de-taposa, pinheiro-do-banhado, pinos, pinho-americano.	-	Resíduos industriais (Cobre)	Fitoestabilização	Campos et al. (2017)
15	<i>Canavalia ensiformis</i> Feijão-de-porco	<i>Pennisetum glaucum</i>	Herbicida (Sulfentrazone)	Fitoestabilização	Ferrago et al. (2017)



Figura 2. Espécies de Fabaceae. (A) *Senna multijuga*. (B) *Canavalia ensiformis*. (C) **Cajanus cajan**. (D) **Crotalaria juncea**. (E) *Dolichos ablax*. (F) *Vicia villosa* Roth. (G) *Erythrina crista-galli*. Espécies de Poaceae - (H) *Eleusine coracana*. (I) *Avena strigosa* Schreb. (J) *Avena brevis* L. (K) *Urochloa brizantha*. Espécies de Tamaricaceae - (L) *Tamarix phylla*. Espécies de Euphorbiaceae - (M) *Jatropha curcas*. Espécies de Pinaceae - (N) *Pinus elliottii*. (O) *Pinus taeda*.

CONCLUSÃO

Os processos envolvidos na fitorremediação são ecologicamente viáveis para a remoção de contaminantes em áreas infectadas, qualquer que seja o contaminante. Em cada caso, deve ser analisado e identificados padrões de comportamento das substâncias tóxicas, bem como as características físico-químicas de cada substância e seu nível de toxicidade.

Além de espécies fitorremediadoras, fonte geradora de contaminação, contaminante e processo fitorremediativo verificado, como exposto na tabela, mais informações se fazem necessárias. É preciso realizar estudos mais detalhados. Algo que se possa catalogar de acordo com a família das espécies, localização geográfica, solos mais propícios, condições climáticas, nível de precipitação, padrões de comportamento das espécies em relação ao metabolismo de biotransformação dos contaminantes na interface solo-raiz. Não apenas isso, como também o

quantitativo percentual de massa seca (ou concentração volumétrica) do contaminante em cada região da planta (raiz, caule e folhas). Sem esquecer da análise de como se comportaria cada espécie submetida ao solo contaminado e sem componentes tóxicos.

REFERÊNCIAS

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O.; ANTONIOLLI, Z. I.; QUADRO, M. S.; BARCELOS, A. A. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013.

BRUM, C. S.; FRANCO, A. A.; SCORZA Jr, R. P. Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 558-564, 2013.

CAMPOS, R. F. F.; OLIVEIRA, L. P.; SCHVEITZER, B. Fitorremediação do cobre em mudas de *Pínu staeda* inoculadas com fungos ectomicorrizicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 690-698, 2017.

CHAVES, L. H. G.; SOUZA, R. S. Crescimento, distribuição e acumulação de cádmio em plantas de *Jatropha curcas*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 286-291, 2014.

FERRAÇO, M.; PIRES, F. R.; BELO, A. F.; CELIN-FILHO, A.; BONOMO, R. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 32-40, 2017.

FRANCO, M. H. R.; FRANÇA, A. C.; ALBUQUERQUE, M. T.; SCHIAVON, N. C.; VARGAS, G. N. Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 460-467, 2014.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; PROCÓPIO, S. O. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; PROCÓPIO, S. O.; BONOMO, R.; NASCIMENTO, A. F. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 111-121, 2013.

MMA - Ministério Do Meio Ambiente. **Áreas contaminadas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areascontaminadas>>. Acesso em: 14 set. 2017.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

SCHEID, D. L. **Crescimento e tolerância de *Senna multijuga* e *Erythrina crista-galli* com a utilização de turfa em solo contaminado com zinco**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016. (Dissertação de mestrado).

SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; ROCHA, P. R. R.; D'ANTONINO, L. Ação de *Eleusine coracana* na remediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 627-632, 2012.

SILVA, T. J. **Fitorremediação em escala piloto: proposta para recuperação de solos contaminados com cobre e zinco.** Sorocaba: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016. (Dissertação de mestrado).

TAVARES, S. R. L. Técnicas de remediação. p. 61-89. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/983651/1/Cap2LivroCASilvioTavares.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

VENDRUSCOLO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. (Dissertação de mestrado).