

A close-up photograph of a hand holding water over a small green seedling growing in dark soil. The background is a warm, golden glow, suggesting a sunrise or sunset. The water is dripping from the hand onto the plant. The image is divided into three horizontal sections: a top section with a hand, a middle green section with text, and a bottom section with soil and a plant.

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro
(Organizadores)

Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro
(Organizadores)

Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D441	Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas [recurso eletrônico] / Organizadores Carlos Antônio dos Santos, Júlio César Ribeiro. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web 978-85-7247-408-5 DOI 10.22533/at.ed.085191806 1. Agricultura – Pesquisa – Brasil. 2. Desenvolvimento sustentável – Brasil. 3. Produção agrícola – Brasil. I. Santos, Carlos Antônio dos. II. Ribeiro, Júlio César. CDD 634.92
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O Brasil é um país com a produção agrícola consolidada em função dos grandes investimentos tecnológicos realizados, vasta extensão territorial agricultável, ampla biodiversidade, além de clima favorável ao cultivo de inúmeras espécies de importância econômica. Atualmente, com a agricultura brasileira cada vez mais tecnificada, tornou-se necessária a adoção de práticas que assegurem a manutenção dos bons índices produtivos registrados e que, ao mesmo tempo, promovam a sustentabilidade de toda a produção agrícola.

O cultivo agrícola está sujeito a influência de diversos fatores bióticos e/ou abióticos, e que se apresentam como desafios a serem superados nas lavouras de todo o país. Dentro desse contexto, vale destacar a ocorrência de “plantas daninhas” como um dos principais limitantes à produção. Estas plantas, caso não sejam manejadas corretamente, podem trazer inúmeros prejuízos aos produtores em função da competição por água, luz e nutrientes com as culturas de interesse, além de ocasionarem uma série de outras interações negativas.

A continuidade do êxito da produção agrícola brasileira deverá ser baseada, portanto, na capacidade de contornar esses obstáculos e nos investimentos em novas tecnologias e práticas visando aumento da eficiência, sustentabilidade e competitividade a nível mundial. Uma outra demanda em expansão é a exploração sustentável dos recursos disponíveis em nossa flora, e que podem ter importância em segmentos, como o farmacêutico. A exploração dessas espécies vegetais necessita de estudos que validem as suas potencialidades de uso.

Nesta obra “Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas” foram selecionados trabalhos que priorizaram essas temáticas e que foram capazes de agrupar, sintetizar e oferecer informações passíveis de utilização por pesquisadores e técnicos. Em uma primeira parte, são apresentados trabalhos que trazem informações e questionamentos sobre estresse em plantas pela aplicação de herbicidas, resistência de “plantas daninhas” a herbicidas, e fitorremediação. Posteriormente, são apresentados trabalhos pontuais que compilam informações e resultados de experiências sobre mistura em tanques, interações e efeito residual de herbicidas.

Na segunda parte da obra é mostrada a eficiência terapêutica de metabólitos secundários da espécie *Achyrocline satureioides*, por meio da compilação e análise de informações disponíveis em bases de dados eletrônicas e da legislação brasileira.

Agradecemos aos autores vinculados às duas grandes instituições brasileiras, UFRRJ e UFSC, pelo empenho ao compartilhar seus conhecimentos e resultados de muitos anos de dedicação e investimentos em pesquisa.

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTRESSE EM PLANTAS PELA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS	
Junior Borella	
Ana Claudia Langaro	
Amanda dos Santos Souza	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
Gledson Soares de Carvalho	
Ana Carolina Oliveira Chapeta	
Rayana da Rocha Sarmiento	
Camila Ferreira de Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918061	
CAPÍTULO 2	17
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS	
Ana Claudia Langaro	
Gabriella Francisco Pereira Borges de Oliveira	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
José Maurício Fajardo da Cunha	
Luana Jéssica da Silva Ferreira	
Juliana Lima Diniz	
Camila Ferreira de Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918062	
CAPÍTULO 3	30
FITORREMEDIAÇÃO DE HERBICIDAS	
Amanda dos Santos Souza	
Gabriella Francisco Pereira Borges De Oliveira	
Ana Claudia Langaro	
Monara Abreu Mendes	
Jonathan Almeida Santos Simões	
Junior Borella	
Camila Ferreira De Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918063	
CAPÍTULO 4	42
MISTURA EM TANQUE E INTERAÇÕES ENTRE HERBICIDAS	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
Gabriella Francisco Pereira Borges de Oliveira	
Amanda Dos Santos Souza	
Marcelo Pereira Sampaio	
Eduardo Souza De Amorim	
Ana Claudia Langaro	
Camila Ferreira De Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918064	
CAPÍTULO 5	58
EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES EM MILHO CULTIVADO EM SUCESSÃO A SOJA	
Gledson Soares de Carvalho	
Samia Rayara de Sousa Ribeiro	
Cristiano Viana André	
Felipe Sant'Ana Marinho	

Mariana Araújo Alves Gomes de Souza
Monique Macedo Alves
Camila Ferreira de Pinho

DOI 10.22533/at.ed.0851918065

CAPÍTULO 6 69

EFICIÊNCIA TERAPÊUTICA DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE *Achyrocline satureioides*

Aline Nunes
Caroline Schmitz
Deise Munaro
Marcelo Maraschin

DOI 10.22533/at.ed.0851918066

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 79

FITORREMEDIAÇÃO DE HERBICIDAS

Amanda dos Santos Souza

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Gabriella Francisco Pereira Borges De Oliveira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Ana Claudia Langaro

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Monara Abreu Mendes

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Jonathan Almeida Santos Simões

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Junior Borella

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

Camila Ferreira De Pinho

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro

RESUMO: A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas como agentes remediadores de solos, sedimentos e recursos hídricos contaminados, a fim de imobilizar, reter, degradar ou reduzir a níveis não tóxicos os contaminantes ambientais. A técnica apresenta uma série de

benefícios, como o baixo custo, o potencial para ser aplicados em grandes áreas e menor agressão ao ambiente. Dessa forma, estudos relacionados à avaliação do sistema solo- planta-poluente são necessários para elucidar a capacidade das plantas fitorremediadoras e promover avanços na promissora área de pesquisa de descontaminação do ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: solo; contaminação; controle químico; biorremediação.

ABSTRACT: Phytoremediation is a technique that uses plants as remediation agents of soils, sediments and water that are contaminated in order to immobilize, retain, degrade or reduce environmental contaminants to non-toxic levels. The technique has a lot of benefits, such as low cost, potential to be applied in large areas and less harmful to the environment. Thus, studies that promote evaluation of soil-plant-pollutant system are necessary to elucidate the capacity of phytoremediation plants and to promote advances in this promising area of environmental decontamination researches.

KEYWORDS: soil; contamination; chemical control; bioremediation.

1 | INTRODUÇÃO

Diante dos problemas ambientais presenciados pela população mundial, a

responsabilidade por soluções sustentáveis tem se tornado crescente. Várias são as iniciativas locais e globais para preservação dos recursos naturais e para consolidação de manejos ecologicamente corretos. Dentro deste âmbito, a agricultura apresenta-se como um grande desafio, considerando que soluções sustentáveis para esse setor devem estar aliadas ao aumento da produção agrícola.

Na agricultura, os insumos agrícolas são largamente utilizados, sendo os agrotóxicos os mais relevantes mundialmente, com seu consumo diretamente relacionado com a evolução da área cultivada e da produtividade agrícola (ANVISA & UFPR, 2012). Ressalta-se que, no Brasil, os herbicidas representam 45% do total comercializado (ANVISA & UFPR, 2012).

Os herbicidas realizam o controle de plantas daninhas e, geralmente, são empregados em áreas de grande extensão. Especificamente para culturas que necessitam de um longo período total de prevenção de interferência, os herbicidas com efeito residual no solo são imprescindíveis para o controle efetivo das plantas daninhas (PIRES et al., 2006). Dessa forma, na grande maioria das vezes, apenas uma aplicação do herbicida no solo já é suficiente para manter a cultura livre da presença das plantas daninhas até o término desse período. Por outro lado, dependendo de fatores, como o tipo de solo, as características dos herbicidas e as condições climáticas, a dinâmica das moléculas dos herbicidas no solo pode ser modificada, facilitando processos de lixiviação para camadas mais profundas no perfil do solo com potencial de atingir o lençol freático (VIVIAN et al., 2006) ou de escoamento superficial, podendo ocasionar a contaminação de águas superficiais (MARTINI et al., 2012).

A grande maioria dos herbicidas utilizados são moléculas orgânicas, oriundas de rotas sintéticas não encontradas na natureza, sendo denominados xenobióticos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A destinação dos diferentes xenobióticos aplicados no solo tem recebido atenção especial da comunidade científica, visando, além de orientar seu emprego de forma correta, racional e eficiente, possibilitar que sua ação cause o mínimo de danos ao ambiente (MANDALÃO et al., 2012).

Na busca de alternativas para minimizar os problemas supracitados, diversos métodos têm sido empregados para recuperação de solos contaminados. Nesse contexto, a biorremediação tem se difundido sendo uma técnica que utiliza organismos vivos para reduzir e/ou remover do ambiente os contaminantes do solo (PEREIRA & FREITAS, 2012). Entre as técnicas de biorremediação disponíveis, a fitorremediação emprega plantas tolerantes para a remoção de determinados produtos presentes em áreas contaminadas com substâncias orgânicas e inorgânicas (D'ANTONINO et al., 2009). No Brasil, estudos com fitorremediação têm sido conduzidos em áreas agricultáveis, uma vez que a técnica é considerada vantajosa, por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo, além do caráter ambiental (SCRAMIN et al., 2001).

A técnica de fitorremediação para os solos contaminados com herbicidas possui certas limitações, pois as plantas fitorremediadoras, além de sobreviverem na presença

do herbicida, devem possuir características adequadas do ponto de vista agrônomo, como rápida propagação, excelente crescimento e fácil controle (PIRES et al., 2003). Sendo assim, a seleção de espécies com potencial para a fitorremediação apresenta grande importância no sentido de aprimorar a eficiência da técnica conforme cada caso.

2 | CONTROLE QUÍMICO

Os métodos de controle que podem ser utilizados para o manejo de plantas daninhas são o mecânico, químico e cultural, podendo ser utilizados isoladamente ou em conjunto (SILVA et al., 2012). Sempre que possível, deve-se utilizar dois ou mais métodos de manejo, visando minimizar ou mesmo eliminar a interferência causada pelas plantas daninhas na cultura, oferecendo assim maior eficácia, redução de custos, e maior segurança para o homem e menor dano ao ambiente (SIQUEIRA et al., 2014).

O controle químico é o mais utilizado quando comparado a outros métodos de controle devido sua rápida ação e maior eficiência no controle de plantas daninhas. Esse tipo de manejo consiste na utilização de herbicidas, os quais atuam nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas alvo, podendo retardar ou inibir o crescimento de plantas daninhas (BUENO et al., 2013).

Os herbicidas podem ser classificados conforme a época de aplicação em relação à cultura de interesse e às plantas daninhas, podendo ser de pré-emergência ou pós-emergência. A utilização de herbicidas pré-emergentes com residual longo é o que confere grande sucesso a essas moléculas no controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição da cultura (ESQUIVEL et al., 2010; MANCUSO et al., 2011).

Os herbicidas pré-emergentes são aqueles aplicados diretamente ao solo com objetivo de eliminar as plantas daninhas logo após sua emergência, proporcionando que a cultura de interesse cresça sem a interferência precoce das plantas daninhas (INOUE et al., 2011). Os herbicidas aplicados em pré-emergência dependem de diversos fatores para efetivo controle de plantas daninhas, considerando que ao entrar em contato com o solo os herbicidas estão sujeitos a processos químicos, físicos e biológicos que regulam o seu destino no ambiente (DAN et al., 2012). Tais processos são importantes, porque influenciam na disponibilidade do produto, afetando sua eficiência, além de alterar processos como degradação, sorção e transporte destas moléculas (MONQUERO et al., 2013).

3 | RESIDUAL DE HERBICIDAS E CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE

Os herbicidas pré-emergentes com efeito residual longo possibilitam o controle das plantas daninhas por um maior período de tempo e conseqüentemente, reduzem

o número de aplicações de herbicidas necessárias para o controle efetivo das plantas daninhas. Porém, devido ao efeito residual longo apresentado por essas moléculas no solo, é possível que ocorra fitotoxicidade em culturas sensíveis plantadas em sucessão, sendo esse efeito conhecido como *carryover* (MELO et al., 2016). Esse fenômeno tem sido observado para os herbicidas atrazina e imazapic (SIQUEIRA et al., 1991; PINTO et al., 2009), além de outros, como tebuthiuron, fomesafen (PIRES et al., 2006), flumioxazin e metribuzim (RIBEIRO et al., 2018).

O residual de um herbicida no solo depende das características do solo, como tipo, teor de matéria orgânica e umidade, das características físico-química das moléculas e das condições ambientais ou também da interação desses fatores (REFATTI et al., 2014; BUNDT et al., 2015). Como foi observado em experimento, sobre a lixiviação do herbicida imazapir+imazapic em diferentes teores de umidade no solo, solos onde havia maior teores de umidade houve maior lixiviação da molécula de herbicida e em solos com menor umidade houve maior retenção da molécula no solo (SOUZA, 2018). Desta forma, a recomendação correta de herbicidas com residual longo deve considerar a interação solo-planta-herbicida, visando maior eficiência no controle de plantas daninhas e mínima contaminação do ambiente.

Os processos que propiciam a interação com o solo, a água e os organismos fazem parte de uma complexa coleção de reações químicas, físicas e biológicas, que destinam a molécula no ambiente (GAVRILESCU, 2005). Os processos podem ser divididos em: retenção, transporte e transformação.

A retenção da molécula no solo refere-se à habilidade do solo em reter uma molécula orgânica ou um herbicida, evitando que ela se mova tanto para dentro como para fora da matriz do solo (OLIVEIRA & BRIGHENTI, 2011). Esse processo envolve mecanismos específicos de dissipação de herbicidas, como precipitação, absorção e adsorção, que são regulados com as características do solo, como, textura, profundidade do solo, pH, teor de matéria orgânica, entre outros (ALLETTO et al., 2010).

Quando uma molécula do herbicida não está retida no solo, ela passa a sofrer o processo de transporte no solo e migrar dentro do perfil podendo contaminar cursos de água. O transporte de herbicida no solo é dependente das características do herbicida e de fatores externos, como propriedades físico-químicas dos solos, condições de umidade e temperatura (MENDES et al., 2014). Entre as principais formas de transporte, pode-se destacar a volatilização, o escoamento superficial e subsuperficial e a lixiviação, que podem contaminar a atmosfera e os recursos hídricos (ALLETTO et al., 2010).

O terceiro processo que o herbicida está suscetível é a transformação, que é decorrente da degradação dessas moléculas a compostos secundários ou mesmo a sua completa mineralização. No geral, a degradação refere-se ao conjunto de transformações químicas, físicas e biológicas, que levam à formação de metabólitos não-tóxicos ou à completa degradação a CO₂, água e compostos inorgânicos

(ANDRIGHETTI et al., 2014).

4 | BIORREMEDIAÇÃO

As estratégias de descontaminação do solo e das águas podem ser físicas, químicas, biológicas ou uma combinação de todas essas abordagens (PASCAL-LORBER & LAURENT, 2011). Dentro das técnicas envolvidas para remediar o solo, existe a biorremediação, definida como um processo de conversão parcial ou completa dos poluentes do ambiente, para o qual são utilizados organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos. A eficiência da biorremediação é dependente da biodisponibilidade do contaminante e do potencial de remediação dos organismos (EEVERS et al., 2017).

O processo de biorremediação é uma alternativa ecologicamente eficaz para o tratamento de ambientes contaminados por moléculas orgânicas de difícil degradação. A realização desta prática pode ser feita no local da contaminação (*in-situ*) ou realizada fora do local onde ocorreu a contaminação (*ex-situ*) (ANDRADE et al., 2010). As principais técnicas *ex-situ* conhecidas são por meio de biorreatores, *landfarming* e biopilhas ou compostagem. Entre as técnicas *in-situ*, pode-se citar a bioestimulação, o bioaumento e a biodegradação (JACQUES et al., 2007).

5 | FITORREMEDIAÇÃO

Inserida na biorremediação, a fitorremediação consiste na utilização de plantas para o controle e/ou descontaminação de resíduos (EEVERS et al., 2017). Essa técnica visa degradar, reter, imobilizar ou reduzir os poluentes do solo a níveis não tóxicos, por meio de processos que procuram recuperar a matriz do solo ou da água subterrânea e estabilizar o contaminante (CUNNINGHAM et al., 1996; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

A técnica de fitorremediação apresenta grande potencial de uso, já que é considerada economicamente viável. Além disso, outras vantagens são observadas como facilidade no monitoramento da técnica, manutenção das propriedades do solo, possibilidade de incorporação das plantas ao solo servindo como fonte de adubo, entre outras (OLIVEIRA et al., 2006). Entretanto, ainda há diversas limitações no uso da técnica em áreas agrícolas como dificuldade na seleção das plantas, o contaminante deve estar dentro da zona de alcance radicular das fitorremediadoras, as condições ambientais podem restringir o crescimento das plantas, as plantas fitorremediadoras podem se tornar daninhas, entre outras (OLIVEIRA et al., 2006; MARIANO & OKUMURA, 2012).

A fitorremediação de herbicidas é fundamentada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies apresentam a certos tipos de mecanismos de ação e compostos. A seletividade apresentada por essas plantas é devida à capacidade

de acumulação, degradação ou transformação dos herbicidas em compostos menos tóxicos ao ambiente (PIRES et al., 2003).

6 | MECANISMOS DE FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação pode ser classificada em cinco processos fisiológicos das plantas, denominados: fitoestabilização, fitovolatilização, fitodegradação, fitoestimulação/rizodegradação e fitoextração (PILON-SMITS, 2005).

A fitoestabilização é usada quando o propósito é manutenção do solo e dos sedimentos contaminados no local, prevenindo perdas por erosão ou lixiviação (PILON-SMITS, 2005). Os tecidos vegetais imobilizam, lignificam ou humidificam os contaminantes (TAVARES, 2013)

A fitovolatilização ocorre quando a planta absorve e converte as substâncias químicas orgânicas voláteis em formas menos ou não tóxicas que são posteriormente liberadas na atmosfera (WATANABE, 1997). Após a absorção, o contaminante pode passar por uma série de transformações e processos metabólicos, para posteriormente ser liberado pela superfície das folhas, podendo esta liberação ocorrer da forma original ou transformada (ANDRADE et al., 2007).

Os processos que envolvem a fitodegradação são baseados na absorção do contaminante pela planta, que realiza processos metabólicos degradando-os a formas menos tóxicas. Esse tipo de processo envolve ação de enzimas específicas, como as nitroreduases, desalogenases e lacases (CUNNINGHAM et al., 1996). A fitodegradação é muito eficaz para poluentes orgânicos que possuem mobilidade na planta, como é o caso dos herbicidas. Em sua degradação há ação de complexos enzimáticos, tais como glutatona e citocromo P-450 monooxigenases (LAMEGO; VIDAL, 2007).

A fitoestimulação ou rizodegradação compreende a degradação do contaminante orgânico do solo pelos microrganismos, localizados na região da rizosfera, estimulados pelas plantas (FAVAS et al., 2014). O estímulo causado pelas plantas na liberação de exsudatos radiculares promove a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, os quais usam os metabólitos exsudados pela planta como fonte de carbono e energia (OLIVEIRA et al., 2006; FAVAS et al., 2014).

A fitoextração ocorre quando as plantas absorvem por meio das raízes o contaminante do solo, onde são armazenados ou transportados e acumulados na parte aérea (SUSARLA et al., 2002; FAVAS et al., 2014). Cabe ressaltar que neste processo não há degradação do contaminante pela planta, sendo este processo eficiente apenas se a planta for removida do solo, uma vez que, a planta é considerada hiperacumuladora do contaminante. Após a retirada das plantas, estas devem passar por processos físicos, químicos ou biológicos para extração dos contaminantes (LAMEGO & VIDAL, 2007).

7 | SELEÇÃO DE ESPÉCIES FITORREMEIADORAS

A escolha da espécie para a fitorremediação é de extrema importância, pois essas devem reunir características favoráveis que serão usadas como indicativo para seleção. Para ser considerada uma planta fitorremediadora satisfatória, as seguintes características devem ser observadas (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000; PIRES et al., 2003, MARIANO & OKUMURA, 2012):

- Capacidade de sobreviver em meio ao contaminante;
- Rápido crescimento;
- Elevada produção de biomassa;
- Competitividade;
- Capacidade de absorver, concentrar e/ou metabolizar o contaminante;
- Sistema radicular profundo e denso;
- Fácil controle ou eliminação;
- Resistência a pragas e doenças.

A seleção de plantas para remediação de compostos herbicidas tem limitações mais complexas, uma vez que herbicidas apresentam uma grande diversidade molecular e maior complexidade nas análises, uma vez que podem passar por diversas transformações (PIRES et al., 2003). A seleção deve ser baseada, nas características químicas e físicas do contaminante, como o tempo de contaminação, composição e concentração do contaminante no solo; do solo a ser tratado; da topografia da área e das condições climáticas e ambientais (PIRES et al., 2003; PROCÓPIO et al., 2005)

Diversas plantas já foram relatadas com potencial para fitorremediar solos contaminados com herbicidas, como apresentado na Tabela 1.

Plantas	Herbicidas	Referência
<i>Acorus calamus</i>	Atrazina	Wang et al., 2012
<i>Andropogon gerardii</i>	Atrazina, metolachlor, pendimentalina	Zhao et al., 2005; Henderson et al., 2006
<i>Digitaria sp.</i>	Atrazina, metolachlor, trifluralina	Anderson, Kruger, & Coats, 1994
<i>Lemna punctate</i>	Atrazina, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, picloram	Reinhold et al., 2010
<i>Lolium perenne</i>	2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	Shaw & Burns, 2004
<i>Nicotiana tabacum</i>	Sulfentrazone	Ferrell et al., 2003
<i>Panicum virgatum</i>	Atrazina, metolachlor, pendimethalin	Zhao et al., 2005; Henderson et al., 2006
<i>Zea mays</i>	Endosulfan	Mukherjee & Kumar, 2012

<i>Canavalia ensiformes</i>	Tebuthiuron	Pires et al., 2003
<i>Pennisetum typhoides</i>	Tebuthiuron	Pires et al., 2003

Tabela 1. Visão geral das espécies vegetais que possuem potencial de fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. Adaptado de EEVERS et al., 2017.

8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de agrotóxicos deve ser realizado de forma racional, responsável e com mínimo de contaminação ao ambiente. Dessa forma, estratégias devem ser traçadas no sentido de promover a descontaminação total ou parcial de áreas agrícolas que utilizam essas moléculas, com objetivo de viabilizar o uso destas áreas para o cultivo de espécies sensíveis. Nesse sentido, a fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas, é considerada uma importante ferramenta para a descontaminação do solo pelas vantagens que apresenta em relação a outras técnicas, como a viabilidade econômica e a facilidade de monitoramento.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. **Contaminação química e biorremediação do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 299-352.
- ALLETTO, L.; COQUETE, Y.; BENOIT, P.; HEDDADJ, D.; BARRIUSO, E. **Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review**. *Agronomy For Sustainable Development*, v. 30, n. 2, p.367-400, 2010.
- ANDERSON, T. A.; KRUGER, E. L.; COATS, J. R. **Enhanced degradation of a mixture of three herbicides in the rhizosphere of a herbicide-tolerant plant**. *Chemosphere*, v. 28, n. 8, p.1551-1557, 1994.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. **Biorremediação de Solos contaminados por Petróleo e seus derivados**. *Eclética Química*, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007. 176p.
- ANDRIGHETTI, S. M.; NACHTIGALL, G.R.; QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; AYUB, M. A. Z. **Biodegradação de glifosato pela microbiota de solos cultivados com macieira**. *Revista Brasileira de Ciências no Solo*, v. 38 n.5, 2014.
- ANVISA; UFPR. **Seminário de mercado de agrotóxico e regulação**. Brasília: Anvisa, 2012.
- BUENO, M. R.; ALVES, G. S.; PAULA, A. D. M.; CUNHA, J. P. A. R. **Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate**. *Planta Daninha*, v. 31, n. 3, p. 705-713, 2013.
- BUNDT, A.D.C.; AVILA, L.A.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M.A.; VARGAS, H.C. **Carryover of imazethapyr + imazapic on ryegrass and non-tolerant rice as affected by thickness of soil profile**. *Planta Daninha*, v. 33, n. 2, p. 357-364, 2015.

- CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. **Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants.** *Advances in Agronomy*, v. 56, n. 1, p. 55-114, 1996.
- D'ANTONINO, L.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; CECON, P. R.; QUIRINO, A. L. S.; FREITAS, L. H. L. **Efeitos de culturas na persistência de herbicidas auxínicos no solo.** *Planta Daninha*, v. 27, n. 2, p. 371-378, 2009.
- DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR., R. S.; BRAZ, G. B. P.; ALONSO, D. G. **Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão.** *Ciência Rural*, v.42 n. 11, 2012.
- EEVERS, N.; WHITE, J. C.; VANGRONSVELD, J.; WEYENS, N. **Bio- and Phytoremediation of Pesticide-Contaminated Environments.** *Advances in Botanical Research*, 2017, p 277–318.
- ESQUIVEL, V. A. E.; GONZÁLEZ, X. R.; LEOR, E. N. B. **Evaluación de herbicidas residuales para el control de malezas em Guanábana (*Annona muricata* L.).** *Revista Chapingo: Serie Horticultura*, v.16, n.1, p.5-12, 2010.
- FAVAS, P. J. C.; PRATAS, J; VARUN, M.; D'SOUZA, R; PAUL, M. S. **Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora.** In: SOARIANO, M.C.H. (Ed.). *Environmental risk assessment of soil contamination*. Rijeka: InTech, 2014. p.485-451.
- FERRELL, J. A.; WITT, W. W.; VENCILL, W. K. **Sulfentrazone absorption by plant roots increases as soil or solution pH decreases.** *Weed Science*, v.51, p.826-830, 2003.
- GAVRILESCU, M. **Fate of pesticides in the environment and its bioremediation.** *Engineering in Life Sciences*, v. 5, n. 6, p. 497-526, 2005.
- HENDERSON, K. L. D.; BELDEN, J. B.; ZHAO, S.; COATS, J. R. **Phytoremediation of pesticide wastes in soil.** *Verslag der Zeitschrift f€ur Naturforschung*, v.61, p.213-221, 2006.
- INOUE, M.H.; MENDES, K.F.; SANTANA, C.T.; POSSAMAI, A.C.S. **Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes.** *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.10, n.3, p.232-242, 2011.
- JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. **Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons.** *Rural Science*, v.37, n.4, p. 1192-1201, 2007.
- JÚNIOR, C. H. A.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal.** In: *Tópicos em Ciência do Solo*, v.4, Viçosa: SBCS, 2005. p.391-470.
- LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. **Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição?** *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 17, p. 9-18, 2007.
- MANDALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A. F.; GARCIA, G. O. **Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes.** *Revista Ciências Agrárias*, v. 55, n. 4, p. 288-296, 2012.
- MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. **Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”).** *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.10, n.2, p.151-164, 2011.
- MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S. **Aspectos agrônômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão.** *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.5, n. Edição Especial, p. 85-101, 2012.

MARTINII, L. F. D.; S S.; CALDAS, L. F. D.; BOLZAN, C. M.; BUNDT, A. C. **Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado.** Ciência Rural, v. 42, n. 10, p.1715-1721, 2012.

MELO, C., DIAS, R., MENDES, K., ASSIS, A., & REIS, M. **Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com olerícolas.** Revista Brasileira De Herbicidas, v.15, n.1, p. 67-78, 2016.

MENDES, K. F.; REIS, M. R.; DIAS, A. C. R.; FORMIGA, J. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; TORNISIELO, V. L. **A proposal to standardize herbicide sorption coefficients in Brazilian tropical soils compared to temperate soils.** Journal of Food, Agriculture & Environment. v.12 n.3 & 4, p. 424-433, 2014

MONQUERO, P.A.; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. S. **Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo.** Revista Agroambiente, v. 7, n. 3, p. 331-337, 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Xenobióticos do solo.** Microbiologia e Bioquímica do Solo. Cap. 6. p. 263-311, 2006.

MUKHERJEE, I., KUMAR, A. **Phytoextraction of endosulfan: A remediation technique.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v.88, p.250-254, 2012.

OLIVEIRA, D. M.; Cara, D. V. C.; Xavier, P. G.; Paula, M. S.; Sobral, L. G. S.; Lima, R. B.; Loureiro, A. **Fitorremediação: o estado da arte.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. 49p.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Comportamento de herbicidas no ambiente.** In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. *Biologia e manejo de plantas daninhas.* Curitiba: Omnipax, 2011. p.263-304.

PASCAL-LORBER, S.; LAURENT, F. **Phytoremediation Techniques for Pesticide Contamination.** Alternative Systems of Agriculture, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilization, p.77-105, 2010.

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. **Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes impactados.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 6, n. 6, p. 975-1006, 2012.

PILON-SMITS, E. **Phytoremediation.** Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v.56, p.15-39, 2005.

PINTO, J. O.; NOLDIN J. A.; MACHADO, A.; PINHO, C. F.; ROSENTHAL, M. D.; DONIDA, A.; GALON, L.; DURIGAN, M. **Milho (*Zea mays*) como espécies bioindicadora da atividade residual de (imazapyr + imazapic).** Planta Daninha, v.27, n. especial, p. 1005-1014, 2009.

PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA C. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, G. P. **Adbos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron.** Caatinga, v. 19, n. 1, p. 92-97, 2006.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J. B.; SANTOS, E. A.; CECON, P. R. **Seleção de plantas tolerantes ao Tebuthiuron e com potencial para fitorremediação.** Revista Ceres, v. 50, n. 291, p. 583-594, 2003.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; PIRES, F.R.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; SANTOS, E.A. **Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida Trifloxysulfuron-Sodium.** Planta Daninha, v. 23, n. 1, p. 9-16, 2005.

RAIMONDI, M.A.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D.F.; ARANTES, J.G.Z.; FRANCHINI, L.H.; RIOS, F.A.; BLAINSKI, E.; OSIPE, J. B. **Atividade residual de herbicidas aplicados ao solo em relação ao controle de quatro espécies de *Amaranthus*.** Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 28, p. 1073-1085, 2010.

REFATTI, J. P.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; BUNDT, A. C.; ELGUEIRA, D. B. **Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapir em solo de cultivo de arroz irrigado.** *Ciência Rural*, v. 44, n.6, p. 1008-1014, 2014.

REINHOLD, D.; VISHWANATHAN, S.; PARK, J. J.; OH, D.; SAUNDERS, F. M. **Assessment of plant-driven removal of emerging organic pollutants by duckweed.** *Chemosphere*, v.80, n.7, p.687-692, 2010.

RIBEIRO, S. R. S.; MARINHO, F. S.; SOUZA, A. S.; CARVALHO, G. S.; MENDES, M. A.; AMORIM, E. S.; PINHO, C. F. Efeito residual de flumioxazim e metribuzim em melancia cultivada em sucessão a soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 31., 2018, Rio de Janeiro. **DESAFIOS E SUSTENTABILIDADE NO MANEJO DE PLANTAS DANINHAS.** Rio de Janeiro: SBCPD, 2018. p. 892 – 892

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. **Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.** In: MELO, I. S. et al. *Biodegradação.* Jaguariúna, SP: EMBRAPA, p. 369-371, 2001.

SHAW, L. J.; BURNS, R. G. **Enhanced mineralization of [U-14C]2,4-dichlorophenoxyacetic acid in soil from the rhizosphere of *Trifolium pratense*.** *Applied and Environmental Microbiology*, v.70, n.8, p.4766-4774, 2004.

SILVA, D.V.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; FRANÇA, A.C.; SEDIYAMA, T. **Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca.** *Planta Daninha*, v. 30, n. 4, p. 901-910; 2012.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. **VA-mycorrhizae and mycorrhizal stimulating isoflavonoid compounds reduce plant herbicide injury.** *Plant Soil*, v. 34, p. 233-242, 1991.

SIQUEIRA, R. H. S.; ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M.; CARVALHO, R. C. S.; **Agregação de um latossolo vermelho-amarelo submetido a métodos de controle de plantas invasoras na cultura do café.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1128-1134, 2014.

SOUZA, Amanda dos Santos. **Lixiviação e residual em solo da mistura comercial dos herbicidas imazapir+imazapic.** 2018. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. Tecnológica,** Santa Cruz do Sul, v. 1, n. 15, p.15-21, jun. 2011.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; McCUTCHEON, S. C. **Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination.** *Ecological Engineering*, v. 18, n. 5, p. 647-658, 2002.

TAVARES, S. R. L. Técnicas de remediação. In: TAVARES, S. R. L. (Org.). **Remediação de solos e águas contaminadas: conceitos básicos e fundamentos.** São Paulo: Clube de Autores, 2013. p.59- 90.

VARGAS, L.; ADEGAS, F.; GAZZIERO, D.; KARAM, D.; AGOSTINETTO, D.; DA SILVA, W. T. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção.** Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico, 2014.

VIVIAN, R.; REIS, M. R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; GUIMARÃES, A. A. SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. **Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** *Planta Daninha*, v.24, n.4, p.741-750, 2006.

WANG, Q.; ZHANG, W. X.; LI, C.; XIAO, B. **Phytoremediation of atrazine by three emergent hydrophytes in a hydroponic system.** *Water Science and Technology*, v.66, n.6, p.1282-1288, 2012.

WATANABE, M. E. **Phytoremediation on the brink of commercialization**. Environmental Science & Technology, v.31, p.82-186, 1997.

ZHAO, S., ARTHUR, E. L., MOORMAN, T. B., & COATS, J. R. **Evaluation of microbial inoculation and vegetation to enhance the dissipation of atrazine and metolachlor in soil**. Environmental Toxicology and Chemistry, v.24, n.10, p.2428-2434, 2005.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-408-5

