

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
CARLOS HENRIQUE SOUTO AZEVEDO**

**FITORREMEDIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO MAMONA**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
2016**

CARLOS HENRIQUE SOUTO AZEVEDO

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO MAMONA**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

Orientador: Me Alisson José Eufrásio de Carvalho

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

CARLOS HENRIQUE SOUTO AZEVEDO

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO MAMONA**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

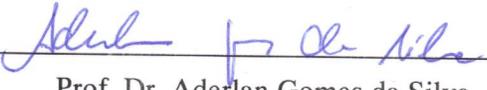
Orientador: Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

Aprovada em 28 de outubro de 2016

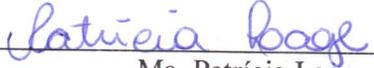
BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista


Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista


Ma. Patrícia Lages

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

FICHA CATALOGRÁFICA

A994f Azevedo, Carlos Henrique Souto
2016 Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone utilizando mamona. / Carlos Henrique Souto Azevedo. – 2016. 38f.

Monografia (Especialização em Meio Ambiente)
– Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2016.

Orientador: Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

1. Fitotoxicidade. 2. Sulfentrazone. 3. Herbicida. 4. Bioensaio.
I. Azevedo, Carlos Henrique Souto. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 632.95

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

À minha sobrinha Geovana.
Aos meus pais Geraldo e Geralda.
Ao meu irmão Wesley.

A todos aqueles que trabalham para assegurar um meio ambiente saudável para as
gerações futuras

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, bondade e amor infinito.

A Jesus Cristo, companheiro inseparável em todos os momentos da minha vida.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais Campus São João Evangelista pela oportunidade de realização deste curso e disponibilização de estrutura para realização desta pesquisa.

Ao Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho, pela orientação, amizade, confiança, atenção, sugestões e tempo dedicados que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva pela sua valiosa contribuição neste trabalho, com seus ensinamentos, paciência, conselhos e sugestões.

Aos meus pais, Geraldo de Azevedo e Geralda, pelo suporte, inspiração de vida, incentivo e amor.

Ao meu grande amigo irmão Wesley pela amizade, conselhos e companheirismo.

Aos funcionários do Viveiro de Produção de Mudas, em especial ao Adair pela prestatividade e a Patrícia pela dedicação e empenho que tornam o ambiente de trabalho muito mais agradável.

Aos funcionários da secretaria de Graduação e Pós-graduação, em especial ao Paulo, pelos serviços prestados e pelos momentos de descontração.

Aos amigos Alisson César e Aparecida Sardinha pela colaboração, companheirismo, amizade e incentivo que foram determinantes para a conclusão deste trabalho.

Ao amigo Fernando Elair, que é um incentivador e colega de todas as horas.

À Larissa Nara e aos colegas do curso de Agronomia pelas contribuições durante execução do trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho fosse possível.

“Decidi finalmente dar uma forma aos meus pensamentos, pô-los em prática, e assim determinar se o meu discernimento era verdadeiro ou falso”.

Masanobu Fukuoka

RESUMO

A fitorremediação é uma alternativa que tem potencial efetivo de reduzir os impactos de herbicidas persistentes no solo como o sulfentrazone, possibilitando o cultivo de espécies susceptíveis em sucessão. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da espécie mamona (*Ricinus communis* L.) em fitorremediar solo contaminado com herbicida sulfentrazone utilizando-se como planta bioindicadora sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS 655) cultivada em sucessão. O experimento foi instalado em casa de vegetação utilizando-se vasos de 26 dm³ de solo coletado na profundidade de 0-20 cm. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições, e os tratamentos foram compostos por quatro períodos de semeadura da espécie mamona (3, 10, 20 e 30 dias após aplicação de 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone) mais um tratamento sem aplicação (testemunha). Aos 60 dias após a emergência, foi avaliada, visualmente, a fitotoxicidade do herbicida nas plantas de sorgo, sendo determinada a altura, a matéria seca e área foliar das plantas. Quando *S. bicolor* foi cultivada após *R. communis* semeada 30 dias após aplicação de sulfentrazone, apresentou maior ganho em biomassa, área foliar, maior altura e os sintomas de fitotoxicidade foram menos acentuados.

Palavras-chave: Herbicida. Fitotoxicidade. Bioensaio.

ABSTRACT

Phytoremediation is an alternative that has the effective potential to reduce the impact of persistent herbicides in soil, such as sulfentrazone, allowing the cultivation of susceptible species in sequence. This study aimed to evaluate the efficiency by specie castor bean (*Ricinus communis* L.) to the phytoremediation of soil contaminated with the herbicide sulfentrazone using as plant sorgho (*Sorghum bicolor* cv. BRS 655) bioindicator plant in sequence. The experiment was carried out in a greenhouse using pots with 26 dm³, collected from the depth of 0-0.2 m. A randomized blocks design, with five replications, was used and treatments consisted of four seeding periods the castorbean species (3, 10, 20 and 30 days after the dose 600 g ha⁻¹ of sulfentrazone application) plus one treatment without application (control). At 60 days after emergence, the phytotoxicity of the herbicide in sorghum plants was visually, determined and plant height, the shoot dry matter and foliar area of these plants. It was concluded that *R. communis* acted effectively in the phytoremediation of contaminated soils, and the higher the seeding period after application, higher was its phytoremediation potential. When *S. bicolor* was grown after *R. communis* seeding 30 days after of sulfentrazone application, the fresh and dry matter, as well as plant height, foliar area, were higher, while the phytotoxicity symptoms were less evident.

Key-words: Herbicide. Phytotoxicity. Biotest.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	SULFENTRAZONE	11
2.2	FITORREMEDIÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS	14
2.3	A ESPÉCIE <i>RICINUS COMMUNIS</i> L. E SUA UTILIZAÇÃO	17
3	METODOLOGIA	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Objetivando o controle de plantas daninhas por longos períodos sem necessidade de muitas aplicações e grandes quantidades, parte dos herbicidas registrados para aplicação em lavouras apresentam atividade residual no solo, dessa maneira, a utilização de herbicidas persistentes em culturas que exigem extenso período total de prevenção da interferência das plantas daninhas (PTPI) permite assegurar a produtividade, reduzir custos e impactos gerados por aplicações periódicas, conseqüentemente otimizando o lucro (PROCÓPIO et al., 2009).

Elevados teores de compostos tóxicos acumulados ao longo do tempo podem incidir diretamente sobre a aptidão do solo ao cultivo agrícola. Segundo Belo et al. (2007) verifica-se comumente, que o fechamento do dossel do cultivo e o encerramento do PTPI sejam concomitantes, principalmente quando trata-se de culturas anuais. Sendo assim torna-se indesejável a presença do herbicida no solo ficando sujeito a *carryover*, ou seja, resíduos de moléculas de herbicidas que podem prejudicar a cultura subsequente.

Uma característica comum aos herbicidas utilizados na agricultura é o seu destino final, sejam estes aplicados em pré ou pós-emergência, geralmente em algum momento entrarão em contato com o solo, conseqüentemente, a sua dinâmica no sistema solo dependerá dos processos físico-químicos no sistema solo que ocorrem constantemente (MANCUSO, NEGRISOLI, PERIM, 2011; OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011).

A susceptibilidade à lixiviação, volatilização e ao carreamento por processos erosivos aumentam quanto maior o período de persistências do herbicida no solo, aumentando-se os riscos de contaminação ambiental, bem como causar lesões em plantas susceptíveis cultivadas em sucessão (DAN et al., 2012).

Ao aplicar-se um herbicida sobre uma cultura ou no solo, promove-se a sua entrada num ecossistema dinâmico, uma vez dentro do ecossistema, imediatamente inicia-se sua mobilidade entre os sistemas adjacentes. Ressalta-se que a degradação de herbicidas interrompe este processo tornando-o inofensivo, enquanto produtos que continuam ativos movimentam-se para outros sistemas aumentando os riscos de contaminações ambientais (EDWARDS, 1975).

Visto que a atividade de alguns herbicidas no solo ultrapassa o ciclo da cultura em que foi aplicado, além de *carryover*, podem atingir lençóis aquíferos subterrâneos, com isso surge como opção à técnica de fitorremediação, que por meio da utilização de plantas promove a redução da persistência destes herbicidas no solo (BELO et al., 2007).

A utilização de plantas fitorremediadoras pode devolver o potencial agrícola a solos caracterizados como inaptos ao cultivo devido elevados teores de determinados resíduos tóxicos. Diversos estudos têm sido realizados no intuito de determinar a eficiência da fitorremediação sobre alguns herbicidas de longo efeito residual que representam riscos de contaminação (ASSIS et al., 2010).

Para Madalão et al. (2012a) a fitorremediação pode ser uma alternativa de descontaminação em áreas submetidas a intensas aplicações do herbicida sulfentrazone, cuja persistência residual no solo é estimada em períodos de aproximadamente dois anos, que além de representar riscos de contaminação, pode inviabilizar o cultivo de espécies susceptíveis ao mesmo, sendo seus efeitos nocivos maximizados quando realizadas aplicações sequenciais no decorrer de anos.

Considerando o longo efeito residual e potencial de ampla utilização nos solos brasileiros para controle de plantas daninhas, faz-se necessário a realização de pesquisas visando elucidar como o sulfentrazone comporta-se quando aplicado em tais solos (MADALÃO et al., 2015).

Para estudos de fitorremediação de herbicidas nos solos, pesquisadores têm aplicado como metodologia, o bioensaio, devido sua precisão satisfatória e o baixo custo de implantação. A técnica utiliza plantas dotadas de elevada sensibilidade à substância tóxica avaliada, essas plantas por sua vez atuam como bioindicadoras da presença de resíduos dessas substâncias no solo, que podem ser evidenciadas quando provocam alterações de características agronômicas da bioindicadora (MELO et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de plantas de mamona (*Ricinus communis* L.) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida sulfentrazone, utilizando-se a espécie sorgo (*Sorghum bicolor*) como planta bioindicadora.

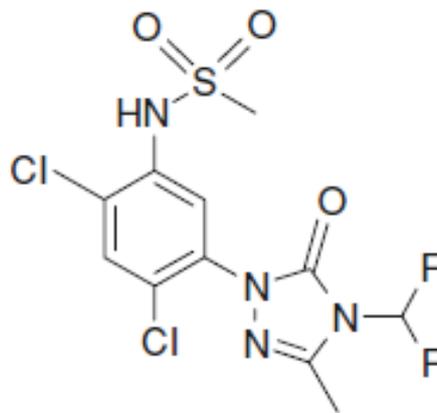
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SULFENTRAZONE

O sulfentrazone, N-[2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-di-hidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil]metanosulfonamida é um princípio ativo herbicida registrado no Brasil para as culturas de abacaxi, café, cana-de-açúcar, citros, eucalipto, fumo, soja e soja (AGROFIT, 2005).

Apresenta solubilidade de 780 mg L⁻¹ (pH 7), pressão de vapor de 1 x 10⁻⁹ mmHg a 25 °C, constante de dissociação (pKa) igual a 6,56, coeficiente de partição (Kow) 9,8 em pH = 7 (BLANCO e VELINI, 2005), solubilidade em água de 400 mgL⁻¹ (25°C), ponto de fusão entre 121-123 °C, fórmula molecular C₁₀H₁₀N₄O₃F₃SCl₂ (CHEN, 2003) e fórmula estrutural representada na figura 1.

Figura 1 – Fórmula estrutural da molécula de sulfentrazone.



Fonte: CHEN, A. Sulfentrazone. In: LEE, P. W. (Ed). **Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals**. Chichester: John Wiley & Sons, v. 1, 2003, p. 564-577.

O registro no Brasil prevê a aplicação do sulfentrazone em pré ou pós-emergência (BELO et al., 2011), seu amplo espectro de ação permite controlar a maioria das plantas daninhas dicotiledôneas, algumas gramíneas anuais e perenes, além das ciperáceas (MELO, 2015).

Pertence ao grupo das triazolinonas, aplicado preferencialmente em pré-emergência nas culturas de cana-de-açúcar, soja, café e eucalipto, apresenta eficiente controle utilizado de várias espécies de plantas invasoras monocotiledôneas quanto dicotiledôneas, além da sua utilização em pátios industriais (BACHEGA et al., 2009).

Entre as características do sulfentrazone que lhe confere diferencial na escolha do produto a ser aplicado no manejo de plantas daninhas podem ser citados índices elevados de seletividade condicional, eficiência e espectro no controle, porém, considera-se o longo efeito residual fator determinante ao optar-se por este produto, uma vez que permite um controle durante longos períodos de tempo sem a necessidade de um número elevado de aplicações, acarretando em redução de gastos para o produtor (MADALÃO et al., 2015).

A via de entrada deste herbicida nos vegetais se dá através do sistema radicular, posteriormente é translocado no interior da planta movimentando-se através do floema. Seu mecanismo de ação é classificado como herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox) (BELO et al., 2011), presente na membrana interna do envelope do cloroplasto (CARRETERO, 2008). Conforme afirmam Marchi; Marchi; Guimarães (2008), a Protox oxida protoporfirinogênio para produzir protoporfirina IX, precursores da clorofila e de grupamentos heme, que por sua vez promovem a transferência de elétrons. De acordo com estes autores, a inibição da Protox acarreta no acúmulo de protoporfirinogênio no cloroplasto, este protoporfirinogênio se difunde para o citoplasma, onde acontece uma oxidação não enzimática que produz protoporfirina IX, uma vez no citoplasma, na presença de luz a protoporfirina IX interage com oxigênio (O_2) que é levando ao estado singleto (1O_2), o qual é responsável pela peroxidação de lipídeos nas membranas celulares. A oxidação de lipídeos e proteínas resulta em déficit dos teores de clorofila e carotenoides, tal como, ocasiona a ruptura das membranas, desencadeando a desidratação e a consequente desintegração de organelas em curto período de tempo (OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

Quando aplicado no solo, diversos fatores influenciam o comportamento dos herbicidas. As propriedades físico-químicas, principalmente teor de argila e matéria orgânica estão intrinsecamente relacionadas à movimentação do sulfentrazone nos solos, que por sua vez, é altamente móvel em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, (FAUSTINO et al., 2015). De maneira geral o sulfentrazone é estável no solo, com permanência determinada pelo tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) em 121 dias em solos arenosos, já em solos argilosos observou-se aumento da sua persistência, com ($T_{1/2}$) de 302 dias (CHEN, 2003). Em relação aos teores de matéria orgânica, sulfentrazone apresenta baixa afinidade (MADALÃO et al., 2012b).

Freitas et al. (2014) observaram que em solos com elevados teores de matéria orgânica e de argila apresentam maior capacidade de adsorver o sulfentrazone. Em trabalho realizado com beterraba (*Beta vulgaris*) como planta bioindicadora, Blanco e Velini (2005) determinaram a persistência de sulfentrazone em 376 dias após a aplicação de $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$ e em

539 dias aplicando-se 1,2 kg ha⁻¹ em Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico de textura argilosa.

Sua aplicação em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica aumenta a possibilidade de lixiviação para camadas profundas, podendo acarretar em contaminação de lençóis freáticos além de reduzir a eficácia do produto no controle de plantas daninhas (FAUSTINO et al., 2015), já que o herbicida apresenta baixa afinidade pela matéria orgânica ($K_{oc} = 43$) (MADALÃO et al., 2013).

A incorporação de herbicidas aplicados em pré-emergência é crucial para que estes possam entrar em contato com as sementes ou plântulas emergentes desempenhando sua função (FAUSTINO et al., 2015). De acordo com os autores, a lixiviação em pequenas proporções é essencial para que a movimentação do produto no solo seja eficiente. Cabe ressaltar que, mesmo em solos onde a mobilidade do sulfentrazone é muito limitada, sua lixiviação aumenta conforme o índice pluviométrico se eleva (MONQUERO et al., 2010).

Bachega et al. (2009) utilizando como plantas bioindicadoras sorgo e corda-de-viola (*Ipomoea nil*) observaram a lixiviação do sulfentrazone até uma profundidade de 10 cm submetido a 106 mm de precipitação, concluíram ainda em seu trabalho que o herbicida apresenta baixa mobilidade em pH de 4,9 (BACHEGA et al., 2009). De acordo com Reddy e Locke (1998) em faixas de pH inferiores a 6,5 o sulfentrazone encontra-se na forma não iônica quando presente na solução do solo.

O mecanismo primário de degradação decorre aparentemente via degradação microbiana (REDDY e LOCKE, 1998). Avaliando micro-organismos potencialmente degradadores de sulfentrazone, Martinez et al. (2010) observaram maior degradação do herbicida, aos 120 dias após aplicação, quando conduzidos às temperaturas de 30 e 40 °C, em relação ao teores de umidade do solo utilizados no estudo, concluíram que o mesmo não influenciou a degradação significativamente. Tais autores estimaram o $T_{1/2}$ em 91,6 dias à temperatura de 27 °C e com a manutenção de 70 % de capacidade de retenção de água.

Brum; Franco; Júnior (2013) concluíram que o sulfentrazone foi degradado mais rapidamente em condições de umidade de 80% da capacidade de campo, em temperatura de 40 °C em Latossolo Vermelho Distroférico Típico, salientam ainda que em a degradação foi mais rápida nas camadas superficiais de 0 a 30 cm de profundidade do solo.

O contato com a camada superficial do solo pulverizada em pré-emergência com herbicidas inibores da Protox leva às plantas germinadas à intoxicação e conseqüente morte, por sua vez, a aplicação e pós-emergência podem provocar injúrias de moderadas a severas, ainda que as espécies atingidas apresentem algum tipo de tolerância aos mesmos (OLIVEIRA

JUNIOR, 2011). Tais autores afirmam que sintomas como necrose nas folhas manifestam-se no período de um a três dias após a exposição, sendo que doses muito elevadas não letais podem acarretar em bronzeamento em folhas jovens, referindo-se à exposição via deriva, pequenas machas brancas podem ser observadas nas folhas.

Avaliando atividade residual de herbicidas em sorgo granífero plantado após cultivo de soja, Dan et al. (2010) visualizaram a ocorrência de clorose aos sete dias após a emergência (DAE), com progressão destes sintomas até o surgimento de necrose nas folhas jovens aos 15 DAE, acrescenta-se ainda queda na acumulação de fotoassimilados pelas plantas de sorgo que culminaram em um decréscimo de 1000 kg ha⁻¹ na produtividade. Utilizando-se o cultivo do milho como bioindicar em sucessão a soja, Artuzi e Contiero (2006) observaram fitotoxicidade muito elevada quando a semeadura do mesmo ocorreu até 60 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone.

Monquero et al. (2010) relataram que aos 210 DAA, o efeito de resíduos de sulfentrazone sobre plantas de pepino (*Cucumis sativus*) reduziu significativamente, sendo observada apenas leve amarelecimento nas folhas, não comprometendo crescimento em altura e desenvolvimento.

2.2 FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS

A fitorremediação, palavra cujo significado remete a remediação empregando-se plantas, refere-se ao processo de correção ou extração de substrato contaminado, técnica conhecida desde 1991, na qual vegetais são utilizados para que através de sua atuação seja possível degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes do solo e da água (VASCONCELOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

É uma alternativa utilizada na descontaminação hídrica e do solo de caráter ambientalmente correto promovendo a extração de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo o potencial desta técnica crescentemente estudado em pesquisas (GERHARDT et al., 2009; MADALÃO et al., 2012a).

De acordo com Pires et al. (2003) na Europa e Estados Unidos a fitorremediação vem sendo bastante estudada e divulgada. Segundo estes autores ao estudar contaminantes orgânicos, como os herbicidas, encontram-se maiores obstáculos, devido à diversidade e complexidade de moléculas a serem avaliadas, pois estas estão sujeitas a transformações constantemente.

A persistência de pesticidas é muito maior nos solos do que em plantas ou animais, devido ao crescimento ativo e metabolismo das plantas e dos animais que podem diluir as substâncias muito mais rapidamente quando comparado ao solo, que por sua vez favorece a adsorção nas suas frações, além disso, muitas das principais vias do metabolismo de compostos orgânicos são semelhantes em plantas, micro-organismos, insetos e mamíferos, embora haja exceções (EDWARDS, 1975).

Com o intuito de reduzir o número de aplicações e prolongar a ação de herbicidas desenvolveram-se moléculas com efeito residual, em contrapartida observa-se efeito fitotóxico em culturas sucedâneas sensíveis (*carryover*), podendo este efeito prolongar-se alguns meses até três anos ou mais (PIRES et al., 2003).

Selecionar plantas tolerantes aos pesticidas é a etapa inicial no processo de implantação de uma técnica fitorremediadora, cabendo ressaltar que é importante evitar a implementação de espécies de difícil controle subsequente, além disso, é desejável que ao selecionar uma espécie, a mesma apresente alguma particularidade que proporcione algum benefício agrônomo e ambiental, por exemplo, os adubos verdes (PROCÓPIO et al., 2004), e que seja adaptadas às condições edafoclimáticas da região (PIRES, 2003)

Ao verificar-se o potencial fitorremediador de certa espécie, inicialmente deve-se conhecer a seletividade da mesma em relação à molécula que se objetiva fitorremediar (MADALÃO et al., 2013). Diversas espécies daninhas que ocorrem em culturas agrícolas, desenvolveram ou naturalmente são dotadas de capacidade seletiva natural, o que lhes confere resistência quando expostas a determinados herbicidas ou compostos tóxicos, tais características são, entre outras, determinantes na escolha de espécies fitorremediadoras (PIRES et al., 2003).

A atuação das plantas é de fundamental importância na manutenção da estrutura do solo, assegurando as trocas gasosas, favorecendo o desenvolvimento da microbiota, incluindo os micro-organismos biorremediadores (atuam na degradação do herbicida), proporciona incremento dos teores de carbono orgânico, aumenta a porosidade e a infiltração da água no solo, além de reduzir processos erosivos (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

A eficiência da fitorremediação de solos contaminados com herbicidas é dependente da interação entre três fatores: fisiologia da planta, características físico-químicas do solo e composição química do herbicida.

A fitorremediação pode ser dividida em oito processos como descrito na Tabela 1, decorrentes em função das características morfofisiológicas de cada espécie vegetal,

ressaltando-se que tais processos não são exclusivos e sua ocorrência pode ser simultânea ou sequencial (PIRES et al., 2009).

Tabela 1 - Mecanismos biológicos envolvidos nos processos de fitorremediação.

MECANISMO	DESCRIÇÃO DO PROCESSO
Fitoextração	A espécie vegetal absorve o contaminante do ambiente em que está alocado
Fitoacumulação	Após a fitoextração a planta armazena o contaminante nas raízes ou em outros órgãos, sem modificação nas moléculas do xenobiótico (aprisionamento).
Fitodegradação	Bioconversão do contaminante em formas menos tóxicas ou atóxicas nas raízes ou em outros órgãos vegetais; em casos intensos a transformação resulta na mineralização do xenobiótico. Ocorre após a fitoextração, ou mesmo após a fitoacumulação
Fitovolatilização	Liberação na atmosfera de um contaminante fitotransformado a uma forma volátil. Ocorre após a fitoextração, ou mesmo após a fitoacumulação
Fitoestimulação	Estímulo à ativação/acúmulo de micro-organismos biodegradadores do contaminante, resultante da produção e liberação de exsudatos radiculares pela espécie vegetal
Rizodegradação	Biodegradação do contaminante pela comunidade microbiana associada à rizosfera da espécie vegetal. Normalmente ocorre após a fitoestimulação
Rizovolatilização	Volatilização de um contaminante transformado pela rizosfera numa forma volátil, a qual é liberada na atmosfera
Rizoestabilização	Imobilização, lignificação ou humificação do contaminante na rizosfera da espécie vegetal, ficando o contaminante inativo no solo, ainda que preserve sua integridade molecular

Fonte: PROCÓPIO, S. O.; PIRES, F. R.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009, 32p. (Documentos, 156).

A efetividade do processo fitorremediador na descontaminação de solo com contaminantes orgânicos depende da capacidade do solo absorver e sequestrar tais substâncias conforme suas propriedades físico-químicas, podendo citar como exemplo o comportamento em solos com alto teor de matéria orgânica, que por sua vez acarreta na redução da biodisponibilidade do herbicida ao longo do tempo, sendo necessária implantação da técnica o mais rápido possível, além disso, as raízes das plantas apresentam capacidade de absorver contaminantes de acordo com caráter lipofílico das moléculas (VASCONCELOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

A presença de herbicidas no solo representa potencial de alterar a dinâmica e atividade microbiana, a fertilidade, além disso, a interação da molécula de herbicida com o solo influencia diretamente na sua persistência, por sua vez incide sobre a eficiência da molécula no controle de plantas daninhas e conseqüentemente no crescimento e desenvolvimento das culturas (FARIA et al., 2014).

Experimentos que avaliem a eficiência da fitorremediação podem ser conduzidos em laboratório, campo e casa de vegetação, que por sua vez, através de cultivo em vasos de plantas bioindicadoras em sucessão às fitorremediadoras permite obtenção de resultados importantes que podem desencadear experimentos mais aprofundados, que normalmente encontram embasamento nas determinações cromatográficas ou cintilação líquida; além disso, tratando-se da fitotecnia, tais pesquisas elucidam diversos questionamentos, que posteriormente são levados a aplicações práticas em campo (PIRES et al., 2005a).

Não se tem explicitado todos os mecanismos fitorremediadores em cada molécula de herbicida, entretanto, em alguns herbicidas, inclusive o sulfentrazone, o mecanismo desejável é a fitodegradação, dentre suas particularidades, objetiva-se a mineralização completa do herbicida (MADALÃO et al., 2012a). Entretanto, a fitodegradação atua em menor escala quando tratamos de herbicidas e agrotóxicos orgânicos não clorados, sendo que a sua remediação ocorre principalmente via fitoestimulação ou rizodegradação (PIRES et al., 2005b).

Há a necessidade de resultados mais aprofundados para que se possa assegurar o uso de plantas como remediadoras de solos contaminados com herbicidas, sendo necessário angariar maior número de informações acerca de variáveis como densidade e período efetivo de permanência de plantas para descontaminação, além de condições ideias de solo, umidade, e outros atributos que influenciam a eficiência do processo (ASSIS et al., 2010).

2.3 A ESPÉCIE *RICINUS COMMUNIS* L. E SUA UTILIZAÇÃO

Popularmente chamada de mamona, carrapateira, rícino, palma-de-cristo (GRANDI, 2014), a espécie *Ricinus communis* L. pertence à família Euphorbiaceae, é uma planta considerada arbustiva referindo-se ao hábito de vida, apresenta cerca de 2,5 metros de altura podendo atingir os 6 metros, caule com ramificações e coloração dos frutos de ocorrência verde ou avermelhada. Folhas simples, longo-pecioladas, palmatilobadas com 7 a 11 lobos de bordos serrados e ápice acuminado. Flores em racemos terminais, com flores femininas ocupando a porção superior da inflorescência. Frutos cápsulas tricocas, com sementes lisas,

negras com manchas brancas (OLIVERIA; GIMENEZ; GODOY, 2007). Planta rústica, heliófita e que possui resistência a regiões e períodos de secas, podendo ser encontrada em diversas regiões do Brasil (SOUZA et al., 2010).

A mamona é uma oleaginosa anual, em ocasiões exclusivas ocorre bienalmente. A sua ocorrência se dá em regiões tropicais, com ciclo médio de 150 dias, na maioria das cultivares anuais, e de 120 a 130 dias em caso de cultivar anual precoce (ZUCHI et al., 2010).

As plantas não apresentam desenvolvimento simultâneo de racemos, uma vez que o florescimento da espécie é botanicamente denominado simpodial, em que da inflorescência ocorre em sequências temporais diferentes, em intervalos médios de 20 a 35 dias entre a emissão das inflorescências primárias, secundárias e terciárias, o que obriga à realização de colheitas parceladas, para as variedades deiscentes, à medida que os racemos vão amadurecendo, quando mais de 60 % dos frutos estão secos (SAVY FILHO, 2005)

A mamoneira desenvolve-se melhor em solos bem drenados, profundos, de textura média, porosos, com faixa ideal de pH em torno de 6,5 e que apresentem fertilidade natural boa, equilibrados nutricionalmente e que não apresentem altos índices de salinidade ou alcalinidade, considerando que sua capacidade de tolerar sais no ambiente edáfico é baixa, além de sua pequena capacidade de resistir à anoxia, ou mesmo à hipoxia, no meio edáfico (WEISS, 1983) citado por Biscaro et al. (2012).

Por apresentar germinação lenta e irregular, a espécie apresenta desvantagem na competição inicial com plantas invasoras e vulnerabilidade à estiagem durante a emergência em campo, que pode chegar a 20 dias, nas principais regiões produtoras (MENDES et al., 2009).

Na produção da cultura a mão-de-obra intensiva é utilizada e pode-se implantar sistemas consorciados com outras culturas, tendo em vista a baixa necessidade de utilização de agroquímicos e sua adaptabilidade em regiões semiáridas nordestinas.

Segundo Melo et al. (2008), a cultura da mamona sempre foi considerada uma atividade de agricultores familiares, especialmente na região do semiárido. Entretanto, programas governamentais tem dado enfoque no intuito de maximizar a produção na região nordeste e seus quase 4 milhões de hectares localizados em regiões em que as condições edafoclimáticas permitiriam alcançar um rendimento de até 1,5 t ha⁻¹ de sementes onde atualmente produz-se a metade dessa quantia apenas.

Dentre os subprodutos da mamona, destaca-se o óleo que pode ser utilizado para produção de biodiesel que vem despontando como a nova fonte energética potencial e limpa (PAIXÃO et al., 2013).

Apresentando teores de óleo em média 48%, a planta é bem vista para o setor de produção de biocombustíveis. O óleo de mamona ou de rícino apresenta características singulares que lhe conferem status de um dos mais versáteis compostos da natureza (SILVA et al., 2013). Pode ser empregado para usos diversos este óleo, pode ser usado na fabricação de tintas e isolantes, utiliza-se como lubrificante na aeronáutica, produtos manufaturados da indústria cosmética, farmacologia, além de processos industriais variados. Uma vantagem do óleo de mamona comparado a outros óleos vegetais é que ele não perde viscosidade em faixas de variações estreitas de temperatura, nem se solidifica a baixas temperaturas como os demais, além disso, possui estabilidade a oxidação (SANTOS et al., 2014).

Embora os resultados sejam ainda incipientes, pesquisas avaliando o potencial da mamona como fitorremediadora, hiperacumuladora e fitoestabilizadora de metais pesados tem sido realizadas e ganhado atenção na comunidade acadêmica, podendo ser citados alguns estudos como os de Chaves et al. (2010), Lima et al. (2010), Romeiro et al. (2007) e Zeittouni; Berton; Abreu (2007). Entretanto estudos envolvendo a fitorremediação de herbicidas utilizando a espécie são escassos na literatura.

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada em São João Evangelista, MG, no campus do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG-SJE (18° 55' 182" S, 42° 75' 349" W e altitude de 720 m) entre os meses de maio e agosto, de 2016.

Como unidade experimental utilizou-se vaso de polietileno com furos na parte inferior, preenchidos com solo classificado como Latossolo Amarelo (LA) de textura muito argilosa que foi utilizado como substrato para o crescimento das plantas. O solo foi coletado na profundidade de 0-20 cm, em área de pastagem pertencente ao IFMG-SJE, sem histórico de aplicação de herbicida, posteriormente foi destorroado, seco ao ar, peneirado em malha de 4 mm. Uma amostra desse solo foi coletada e peneirada em malha de 2 mm, obtendo-se, dessa maneira, uma amostra de terra fina seca ao ar (TFSA), posteriormente analisada física e quimicamente (Tabela 2).

Tabela 2 – Atributos químicos e textura do Latossolo Amarelo (LA), na profundidade de 0 – 20 cm.

Análise química							
MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	K	H + Al	P (Mehlich-1)	
dag Kg ⁻¹	—————		cmol _c dm ⁻³	—————		mg dm ⁻³	
0,77	0,40	0,30	0,65	0,08	2,74	1,3	
pH H ₂ O	m	V	CTC _{pH 7,0}	SB	Análise granulométrica		
(1:2,5)	————— % —————		— cmol _c dm ⁻³ —		Textura (g Kg ⁻¹)		
					Argila	Silte	Areia
4,82	45,5	22,2	3,52	0,78	640	30	330

Análises químicas realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Campus São João Evangelista – Instituto Federal de Minas Gerais e análise granulométrica no Laboratório de Análise de Solo Viçosa. Seguiu-se metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1997). Fonte: Elaborada pelo autor.

Os tratamentos foram compostos por quatro épocas de semeadura da espécie vegetal fitorremediadora mamona (*R. communis*): 3, 10, 20 e 30 dias após aplicação (DAA) do herbicida sulfentrazone, mais testemunha sem aplicação de herbicida dispostos no delineamento em blocos casualizados com cinco repetições.

Antes do preenchimento dos vasos com 26 dm³ de solo, realizou-se uma calagem utilizando-se o equivalente a 1,23 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT = 80%. A quantidade

de calcário aplicada foi calculada com base na análise de solo conforme recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Após a aplicação e homogeneização do calcário junto ao solo as amostras foram incubadas durante 90 dias, com teor de umidade suficiente para que ocorresse o processo de neutralização da acidez.

Após o preenchimento, os vasos foram dispostos em área externa anexa à casa de vegetação e submetidos à irrigação durante 48 h, após este período, com o substrato úmido procedeu-se a aplicação do herbicida sulfentrazone em pré-emergência na dose de 600 g ha⁻¹, utilizando um pulverizador costal manual com pressão máxima de trabalho de 5 Bar, com bico Teejet 110.02 de jato plano (tipo leque) e consumo de calda equivalente a 300 L ha⁻¹. A aplicação foi realizada posicionando-se a barra do pulverizador a 0,5 m acima da borda superior dos vasos.

Após 72 h da aplicação do herbicida os vasos foram transportados para o interior da casa de vegetação onde foram mantidos até o final do experimento. Todos os vasos foram irrigados quatro vezes ao dia, totalizando uma lâmina de irrigação diária de 10 mm, objetivando manter a umidade do solo na capacidade de campo.

A semeadura da espécie fitorremediadora foi realizada nos respectivos DAA pré-estabelecidos, distribuindo-se 12 sementes por vaso na profundidade de 5 cm, 10 dias após a emergência (DAE) realizou-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. Decorridos 60 dias após a semeadura (DAS) do respectivo tratamento, parte aérea e raízes das plantas foram removidas, sendo imediatamente semeado o sorgo (*S. bicolor* cultivar BRS 655), como espécie bioindicadora, distribuindo-se 10 sementes por vaso numa profundidade de 0,5 cm. Com base na análise química do solo, procedeu-se a adubação de plantio recomendada para a cultura do sorgo, conforme Alves et al., (1999), aplicando-se superficialmente, sem revolvimento do solo, 4,97 g/vaso do formulado N-P-K (08-28-16), diluído em água. Aos 10 DAE efetuou-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por vaso. A utilização do sorgo como planta bioindicadora justifica-se devido à altíssima suscetibilidade ao herbicida sulfentrazone (BELLO et al., 2011; FAUSTINO et al., 2015; MELO et al., 2010).

Para uniformização dos teores nutricionais durante o bioensaio, visando assegurar que, os sintomas foliares e perda de massa fossem provenientes da aplicação do herbicida, aos 20 dias após a emergência (DAE), foi feita adubação de cobertura, com 50 mL por vaso de solução nutritiva contendo (g L⁻¹): N (3,75), P₂O₅ (3,75), K₂O (4,33), Ca (0,29), S (1,15), Mg (0,29), Fe (0,06), B (0,14) e Zn (0,29) (BELO et al., 2011; 2016).

Aos 60 DAE a altura de plantas (cm) foi mensurada utilizando-se escala graduada tomando-se como referencial a extremidade da folha mais alta. No mesmo período avaliou-se visualmente a intoxicação de plantas, atribuindo-se notas de acordo com os sintomas de intoxicação da parte aérea, variando de um (ausência de intoxicação) a nove (morte da planta), conforme escala da EWRC (1964) (Tabela 3), sendo as observações realizadas por três avaliadores.

Tabela 3 - Índice de avaliação e sua respectiva descrição de fitointoxicação.

Índice de avaliação	Descrição da fitointoxicação
1	Sem dano
2	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas
3	Pequenas alterações visíveis em muitas plantas (clorose e encarquilhamento)
4	Forte descoloração ou razoável deformação, sem ocorrer necrose
5	Necrose de algumas folhas, acompanhada de deformação em folhas e brotos
6	Redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas
7	Mais de 80% das folhas destruídas
8	Danos extremamente graves, sobrando pequenas áreas verdes nas plantas
9	Morte da planta

Fonte: EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd and 4 rd meetings of EWRC. Committee of methods in weed research. Weed Research, v. 4, n. 1, p.88, 1964.

Para determinação da área foliar (AF), as plantas de sorgo foram cortadas rente ao solo, todas as folhas com limbo foliar totalmente expandido foram coletadas e digitalizadas em laboratório com auxílio de um escâner de mesa, posteriormente as imagens foram carregadas no software Image J, após seu processamento gerou-se a AF ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Após a digitalização das folhas, toda a parte aérea foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa de circulação forçada de ar ($65 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por aproximadamente 72 h até atingirem peso constante, determinando-se massa da matéria seca da parte aérea (g) (MSPA) em balança analítica de precisão.

Os valores de altura e MSPA das plantas de sorgo foram transformados em porcentagem em relação à altura e MSPA da testemunha, que recebeu valor igual a 100% para os valores obtidos de altura e MSPA da testemunha.

Os dados de altura, MSPA e AF obtidos foram submetidos à análise de variância e teste F ($p < 0,05$); quando significativo, o efeito dos dias após aplicação do sulfentrazone foi estudado por regressão ($p < 0,05$). Os valores de MSPA foram transformados em \ln para atender os pressupostos necessários para a análise de variância. Na representação dos resultados foram utilizados os dados sem transformação. Para avaliação da fitotoxicidade as notas atribuídas foram submetidas ao teste de Kruskal-Wallis. Para análise dos dados empregou-se os softwares Statistic e Sigma Plot.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se os resultados apresentados nas tabelas 4 e 5, constatou-se efeito significativo dos DAA sobre a altura, massa seca da parte aérea e área foliar na espécie bioindicadora *S. bicolor*. Houve influência dos DAA nas variáveis agrônômicas analisadas, o aumento dos DAA acarretou no incremento em altura, acúmulo progressivo de massa seca e aumento de área foliar (Figuras 2, 3 e 4) respectivamente.

Tabela 4 – Resumo das análises de variância para valores médios de altura, massa seca e área foliar aos 60 DAE de plantas de *S. bicolor* cultivada em sucessão a espécie fitorremediadora *R. communis* semeadas aos 3, 10, 20, 30 e 40 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha.

Altura				
FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	1	8852,27	8852,27	10,97*
Resíduo	23	18551,99	806,61	
Total	24	27404,27	1141,84	
Massa seca				
FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	1	2,85	2,85	7,49*
Resíduo	23	8,74	0,38	
Total	24	11,59	0,48	
Área foliar				
FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	1	1001,08	1001,08	41,79*
Resíduo	23	551,01	23,96	
Total	24	1552,08		

* Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Fonte: Elaborada pelo autor.

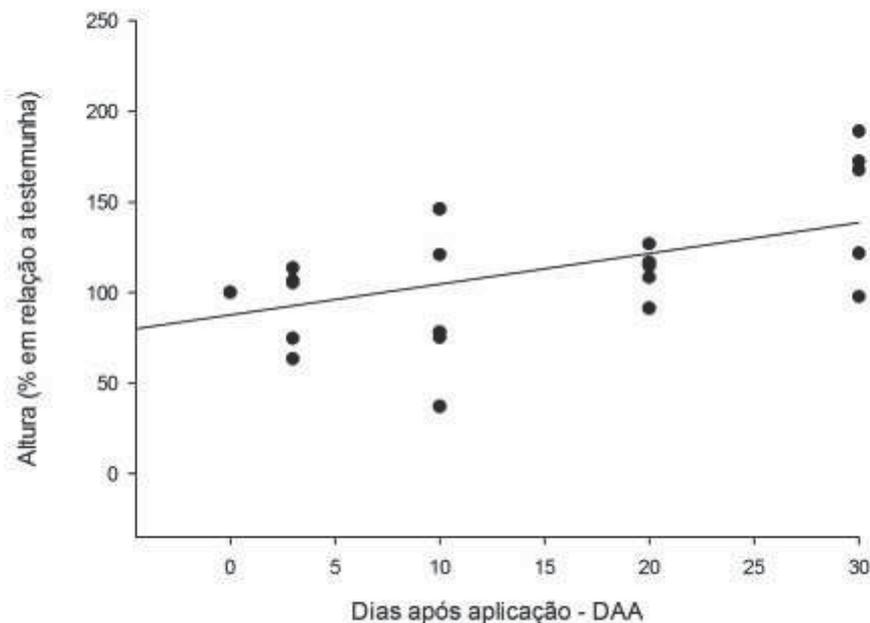
Tabela 5 – Equações de regressão para valores médios de altura, massa seca e área foliar aos 60 DAE de plantas de *S. bicolor* cultivada em sucessão a espécie fitorremediadora *R. communis* semeadas aos 3, 10, 20, 30 e 40 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha.

Variável analisada	Equação de regressão	R ²
Altura	$\hat{Y} = 87,7744 + 1,6964 * X$	0,32
Massa seca	$\hat{Y} = 4,2928 + 0,0304 * X$	0,25
Área foliar	$\hat{Y} = 8,5255 + 0,5705 * X$	0,64

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando a semeadura da mamona foi realizada aos 3 DAA, as plantas de sorgo cultivadas em sucessão demonstraram redução média de 7% na altura em relação a testemunha, decréscimo aproximado também foi observado para 10 DAA, 8% (Figura 2).

Figura 2 – Altura das plantas de *S. bicolor* cultivadas em sucessão a *R. communis* aos 3,10,20 e 30 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha sem aplicação (0 DAA).



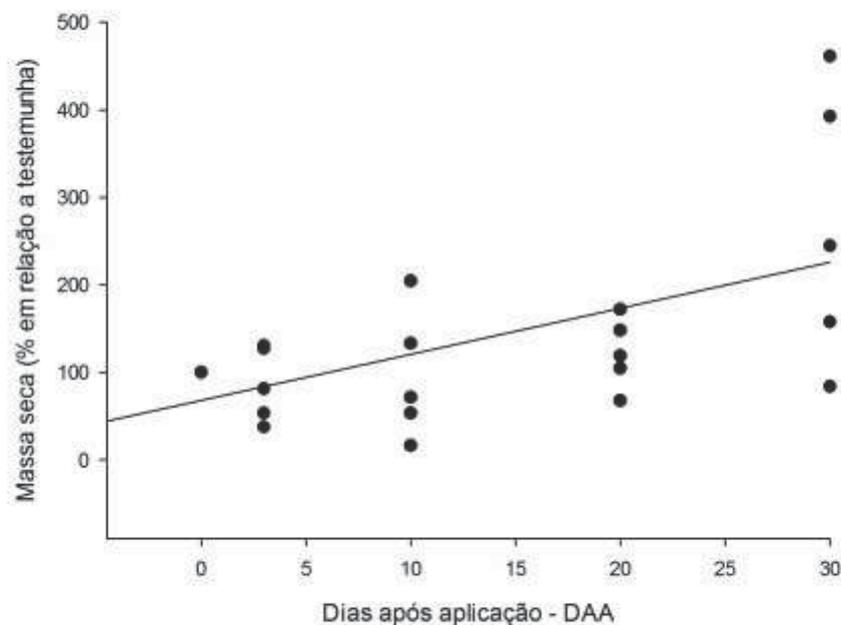
Fonte: Elaborada pelo autor.

A MSPA determinada na planta bioindicadora demonstrou o mesmo comportamento da altura, em que observou-se uma redução de 14% em relação à testemunha para o

tratamento conduzido aos 3 DAA, aos 10 DAA este decréscimo foi menos pronunciado, em torno de 4% (Figura 3). Dan et al. (2010) verificou redução considerável no acúmulo de massa seca da parte aérea comparada à testemunha (52,3%) cultivada em sucessão à soja aos 115 DAA de sulfentrazone.

Associa-se o acúmulo de massa seca ao potencial de absorção do herbicida pelas raízes das espécies fitoremediadoras (NEWMAN et al., 1998), bem como maior acúmulo e/ou degradação na parte aérea (MADALÃO et al., 2013), tornando uma característica importante na seleção destas plantas.

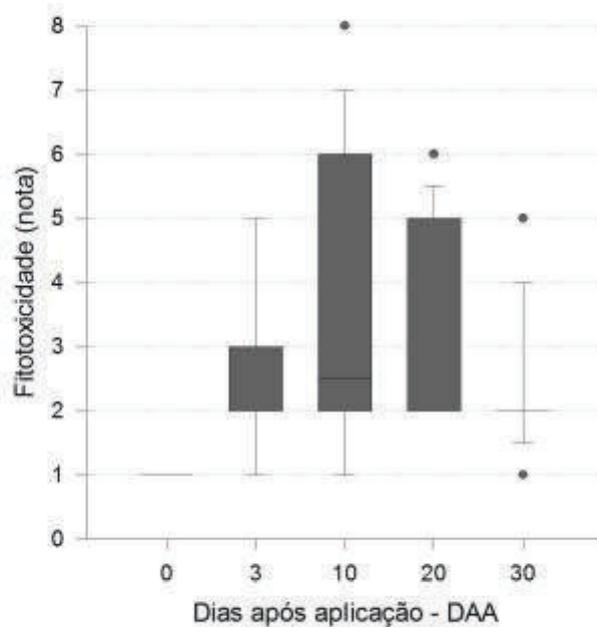
Figura 3 – Massa seca da parte aérea das plantas de *S. bicolor* cultivadas em sucessão a *R. communis* aos 3,10,20 e 30 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha sem aplicação (0 DAA).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em todos os períodos da aplicação do sulfentrazone avaliados, a espécie fitoremediadora apresentou alguma efetividade na extração do herbicida, o que se evidencia na toxicidade baixa em *S. bicolor* comparada à testemunha cultivada sem aplicação. Em nenhuma das observações os sintomas de toxicidade atingiu nota máxima, conseqüentemente não houve morte de plantas por intoxicação, a nota máxima atribuída foi observada aos 10 DAA (Figura 4).

Figura 4 – Sintomas de fitotoxicidade das plantas de *S. bicolor* cultivadas em sucessão a *R. communis* aos 3,10,20 e 30 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha sem aplicação (0 DAA).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na avaliação de fitotoxicidade somente aos 10 e 20 DAA houve diferença quando comparados à testemunha sem aplicação do herbicida, não tendo efeito significativo para os tratamentos conduzidos após 3 e 30 DAA (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparações múltiplas entre notas de sintomas visuais fitotoxicidade atribuídas a plantas de *S. bicolor* em relação à testemunha aos 3, 10, 20 e 30 DAA de sulfentrazone.

Tratamento	Comparação				
	Dias após aplicação				
	0	3	10	20	30
Testemunha	-	0,457209 ^{ns}	0,045709*	0,024523*	0,191964 ^{ns}

* Significativo ($p < 0,05$); ^{ns} Não significativo ($p < 0,05$). Fonte: Elaborada pelo autor.

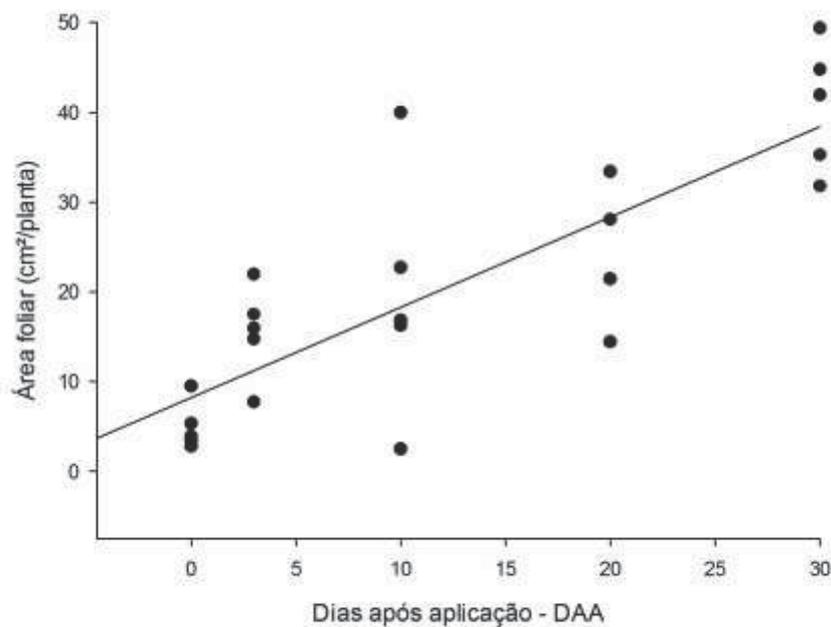
Na figura 4 são apresentadas as notas atribuídas de acordo com os sintomas de fitotoxicidade, em que aos 10 e 20 DAA 25 a 75 % das notas encontram-se entre 2 e 6 e 2 e 5

respectivamente, valores segundo a escala EWCR (Tabela 3) variam desde pequenas alterações até redução do porte de plantas, encarquilhamento e necrose. Nos demais tratamentos avaliados a concentração de 25 a 75% das notas restringiu-se a um intervalo de 2 a 3 (Figura 4), correspondente a valores abaixo de 30% de toxicidade, que segundo Madalão et al., (2013) pode ser considerado aceitável para fitorremediação do ponto de vista agrônomo.

De acordo com Madalão et al. (2010, 2012b) fitotoxicidade e altura são inversamente relacionadas, constatação que foi corroborada neste trabalho, uma vez que aos 10 DAA os sintomas de persistência do herbicida foram mais pronunciados nas plantas de sorgo e conseqüentemente foi observado maior redução no percentual de altura em relação à testemunha. Este comportamento se repete nos demais tratamentos, ou seja, quanto maior a fitotoxicidade menor a altura (Figuras 2 e 4).

Os valores de área foliar (AF) foram superiores aos valores da testemunha em todos os períodos estudados (Figura 5).

Figura 5 – Área foliar das plantas de *S. bicolor* cultivadas em sucessão a *R. communis* aos 3,10,20 e 30 DAA de sulfentrazone e tratamento testemunha sem aplicação (0 DAA).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa maneira percebe-se um aumento progressivo nessa característica, semelhante à altura e massa seca, porém a aplicação do herbicida não provocou redução de AF em relação à testemunha. No período de 10 DAA em que foi observado maior efeito de fitotoxicidade sobre as plantas de sorgo, houve redução de 50% de AF em relação ao período de 30 DAA que apresentou os maiores valores para todas as variáveis avaliadas e testemunha.

Pires et al. (2006) avaliando o potencial de sete espécies utilizadas como adubo verdes na fitorremediação de solo sob aplicação de 0,5 kg ha⁻¹ tebuthiuron, obtiveram valores de AF em plantas de soja cultivada em sucessão superior aos valores observados na testemunha sem aplicação do herbicida quando precedida pelo cultivo de cinco espécies, destacando-se tremoço-branco e milheto.

Em contrapartida, Franco et al. (2014) ao avaliarem efeitos de fitotoxicidade em plantas de feijão cultivadas em solo tratado com picloram em sucessão à diferentes períodos de cultivo de braquiária observaram tendência de acréscimo nos valores de AF com o aumento dos dias em que a braquiária permaneceu nos vasos porém todos valores de área foliar permaneceram abaixo da testemunha, sem aplicação do herbicida, mesmo no maior período de cultivo da fitorremediadora, que foi de 300 dias.

Segundo Monquero et al. (2010) a mobilidade das moléculas de herbicidas é dependente de suas características físico-químicas (pKa, S, Kow), e também dos atributos físico-químicos e biológicos do solo, como textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, pH, CTC, atividade microbiana, entre outros. O solo utilizado na realização do bioensaio apresentou baixo teor de matéria orgânica (0,77 dag Kg⁻¹) e elevado teor de argila (64%), considerando o percentual das moléculas do herbicida que se encontrava na forma molecular, que era 86,59%, calculada por meio da equação 1 em função da constante de ionização do sulfentrazone e do pH do solo após correção (5,75), pode-se afirmar que há uma tendência de que a sorção do herbicida aos colóides do solo seja favorecida.

$$Forma\ molecular\ (\%) = 100 - \left(\frac{100}{1 + anti\ \log(pKa - pH)} \right) \quad (1)$$

Considerando que aos 3 e 10 DAA os valores de altura, MSPA e AF observados foram os menores inclusive em relação à testemunha, exceto para AF, é possível que não houve disponibilização imediata do herbicida devido o mesmo estar adsorvido no solo, sendo disponibilizado à medida que aumentaram-se os DAA e conseqüentemente houve maior absorção de água via lâmina de irrigação aplicada diariamente. Tal comportamento

provavelmente influenciou na fitotoxicidade aos 10 e 20 DAA (Tabela 6) que foram os únicos tratamentos que diferiram estatisticamente da testemunha.

Assis et al. (2010) em seu estudo concluíram que ao aumentarem a reposição de água de 80 para 110% aos 15 e 40 DAE houve aumento na fitotoxicidade de plantas de soja, pressupondo que durante o cultivo precedente de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*) o herbicida picloram (160 g ha^{-1}) estava adsorvido à argila do solo e com o aumento do teor de água a sua liberação foi promovida para a solução do solo. Resultados semelhantes foram observados por Rossi, Alves, Marques Junior (2005) ao observarem que a mobilidade do sulfentrazone comporta-se de maneira distinta em solos de classes diferentes, tendo o sulfentrazone sido retido na camada superficial de Latossolo-Vermelho e com aumento na precipitação para 90 mm o produto foi disponibilizado, mesmo que o herbicida tenha apresentado menor mobilidade para tal solo devido aos teores de matéria orgânica e de argila do mesmo.

O menor período de cultivo total durante o bioensaio foi de 127 dias para o tratamento com plantio da fitorremediadora aos 3 DAA e testemunha, e o maior período para 30 DAA, 154 dias de cultivo total e 134 e 144 dias para 10 e 20 DAA respectivamente. Aos 30 DAA observou-se persistência do herbicida no solo, porém foram os menores valores de fitotoxicidade (Tabela 6 e Figura 4) e que não acarretaram em interferências nas características agrônômicas avaliadas.

O período de meia-vida do sulfentrazone em solos brasileiros é estimado em torno de 180 dias, porém apresenta atividade elevada no solo até 150 DAA, dissipando-se rapidamente a partir desse período até atingir 210 DAA (MONQUERO et al., 2010). Estes autores utilizando pepino (*Cucumis sativus*) como espécie bioindicadora relataram que aos 120 DAA o sulfentrazone residual no solo apresentaram 77,5 e 80% em escala de fitotoxicidade nas doses de 600 e 800 g ha^{-1} respectivamente.

Belo et al. (2011) utilizando dose de 250 g ha^{-1} de sulfentrazone não observaram sintomas aos 20 e 50 DAE, em plantas de sorgo após o cultivo com *Helianthus annuus*, apenas na dose de 500 g ha^{-1} verificou-se, intoxicação (55%) aos 20 DAE do sorgo em sucessão a *H. annuus*, *Dolichos lab lab*, *Arachis hypogaea* e *Canavalia ensiformis*, entretanto, embora tenha ocorrido intoxicação nas plantas de sorgo nestes tratamentos com 500 g ha^{-1} de sulfentrazone, aos 50 DAE estes sintomas foram menores quando comparados aos do tratamento sem cultivo prévio.

O tempo de meia-vida do sulfentrazone foi estimado em 70,8 dias (MUELLER et al., 2014), resultado corrobora com o que foi observado neste trabalho, uma vez que após 154

dias do bioensaio (30 DAA) os sintomas de fitotoxicidade não influenciaram no desenvolvimento das plantas em relação a testemunha apresentando os maiores valores de altura, MSPA e AF, evidenciando que a persistência do herbicida no solo foi muito baixa.

5 CONCLUSÃO

Aos 3 e 10 DAA o herbicida sulfentrazone reduziu os valores de massa seca da parte aérea e altura das plantas de *S. bicolor*.

O sulfentrazone não causou redução de área foliar nas plantas de *S. bicolor* em relação à testemunha.

Os sintomas de fitotoxicidade nas plantas de *S. bicolor* cultivadas em sucessão à *R. communis* foram mais acentuados quanto maiores os períodos de semeadura após aplicação de sulfentrazone, exceto aos 30 DAA.

Recomenda-se o plantio de *R. communis* aos 30 DAA de sulfentrazone para fitorremediação de solo contaminado com este herbicida.

A *R. communis* apresenta potencial de avaliação quanto à capacidade fitorremediadora de solos contaminados com doses de 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone.

REFERÊNCIAS

- Ministério da Agricultura. 2005. **AGROFIT**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 28 out. 2016.
- ALVAREZ V., V.H., RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E. de. Sugestões de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.325-327.
- ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1119-1123, 2006.
- ASSIS, R.L. de; PROCÓPIO, S. de O.; CARMO, M. L. do; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1131-1135, 2010.
- BACHEGA, T. F.; PAVANI, M. C. M. D.; ALVES, P. L. C. A.; SAES, L. P.; BOSCHIERO, M. Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 363-370, 2009.
- BELO, A. F.; COELHO, A. T. C. P.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 821-828, 2011.
- BELO, A. F.; SANTOS, E. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; SILVA, L. L. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 251-258, 2007.
- BELO, A. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, E. A.; AGUIAR, L. M.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.2, p.165-174, 2016.
- SCARO, G. A.; VAZ, M. A. B.; GIACON, G. M.; GOMES, E. P.; DA SILVA, S. B.; MOTOMIYA, A. V. A. Produtividade de duas cultivares de mamona submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.925-930, 2012.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005.

- BRUM, C. S.; FRANCO, A. A.; SCORZA JÚNIOR, R. P. Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.558–564, 2013.
- CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 263-277, 2010.
- CHEN, A. Sulfentrazone. In: LEE, P. W. (Ed). **Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals**. Chichester: John Wiley & Sons, v. 1, 2003, p. 564-577.
- DAN, H. de A.; DAN, L. G. de M.; BARROSO, A. L. de L.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; GUERRA, N. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 86-91, 2012.
- DAN, H. A., DAN, L. G. M., BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR., R.S.; SILVA, A. G.; LIMA, M. D. B.; FELDKIRCHER, C. Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, v. 28, p.1087-1095, 2010. Número Especial.
- DIEGO MARTINS CARRETERO. **Efeitos da inibição da protoporfirinogênio IX oxidase sobre as trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill)**. 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- EDWARDS, C. A. Factors that affect the persistence of pesticides in plants and soils. **Pure and applied chemistry**, v. 42, n. 1-2, p. 39-56, 1975.
- EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd and 4 rd meetings of EWRC. Committee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, n. 1, p.88, 1964.
- FARIA, A. T.; SARAIVA; D. T.; PEREIRA; A. M.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; FERREIRA, E. A.; SILVA, G. S. Efeitos de herbicidas na atividade da microbiota rizosférica e no crescimento da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1024-1032, 2014.
- FAUSTINO, L. A.; FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; SARAIVA, D. T.; FARIA, A. T.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 795-802, 2015.
- 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.
- FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; FAUSTINO, L. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 385-392, 2014.

GERHARDT, K. E.; HUANG, X.; GLICK, B. R.; GREENBERG, B. M. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and Challenges. **Plant Science**. v.176, p.20-30, 2009.

GRANDI, T. S. M. **Tratado das Plantas Mediciniais: mineiras, nativas e cultivadas**. 1. ed. Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 2014. 1024 p., il. (Color). Recurso Eletrônico.

LIMA, A. M.; MELO, J. L. S.; MELO, H. N. S.; CARVALHO, F. G. Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L) utilizando efluente sintético contendo chumbo. **Holos**, v. 26, n. 1, v. 1, p. 51-61, 2010.

MADALÃO, J. C.; FREITAS, M. A. M.; FERNANDES, I. L.; JAKELAITIS, A. Sorção e dessorção do sulfentrazone em solos brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Química, 55. 2015, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Química, 2015. ISBN 978-85-85905-15-6. Disponível em:< <http://www.abq.org.br/cbq/2015/trabalhos/4/8274-21074.html>> Acesso em 26 ago. 2016.

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

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A. F.; GARCIA, G. de O. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 288-296, 2012b.

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, 2012a.

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.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, 36 p. (Documentos, 227). ISSN 1517-5111.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, P. 1-11., 2011.

MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; ABAKERLI, R. B.; MAIA, A. H. N. DURRANT, L. R. Microbial degradation of sulfentrazone in a brazilian rhodic hapludox soil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, p. 209-217, 2010.

MELO, C. A. D. **Biorremediação de solo contaminado com sulfentrazone associada a plantas e micro-organismos**. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, G. L.; PAES, F. A. S. V.; REIS, M. R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

MENDES; R. C.; DIAS, D. C. F. S.; PEREIRA, M. D.; BERGER, P. G. Tratamentos pré-germinativos em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p.187-194, 2009.

MELO, W. C.; SILVA, D. B.; PEREIRA JUNIOR, N.; SANT'ANNA, L. M. M.; SANTOS, A. S. Produção de etanol a partir de torta de mamona (*Ricinus communis* L.) e avaliação da letalidade da torta hidrolisada para camundongos. **Química Nova**, v. 31, n 5, p. 1104-1106, 2008.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V.; SILVA HIRATA, A. C.; TABLAS, D. C.; ORZARI, I. Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 185-195, 2010.

MUELLER, T. C.; BOSWELL, B.W.; MUELLER, S. S.; Steckel, L. E. Dissipation of Fomesafen, Saflufenacil, Sulfentrazone, and Flumioxazin from a Tennessee Soil under Field Conditions. **Weed Science**, v. 62, n.4, p. 664-671, 2014.

OLIVERIA, R. B.; GIMENEZ, V. M. M.; GODOY, S. A. P. Intoxicações com espécies da família Euphorbiaceae. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 50, p. 69-71, 2007. Suplemento 1.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011, p.141-192, cap.7.

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

PAIXÃO, F. J. R.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, D. B.; WANDERLEY, J. A. C. Produção de sementes e óleo de mamona com déficit de água e doses de nitrogênio. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.28, n.1, p.51-55, 2013.

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

PIRES, F. R. **Seleção de espécies para Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron**. 2003. 65 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R.; SANTOS, J. B.; TÓTOLA, M. R.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SILVA, C. S. W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.627-634, 2005b.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com tebutiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 711-717, 2005a.

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.

PROCÓPIO, S. O.; PIRES, F. R.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009, 32p. (Documentos, 156). ISSN 1678-1953. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=fixas&pagina=publicacoesonline>> Acesso em: 18 fev. 2015.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F.R.; SILVA, A. A.; SANTOS, E. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron sodium after *Stizolobium aterrimum* and *Canavalia ensiformis* cultivation. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 87-96, 2007.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, E. A.; FERREIRA, L. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.315-322, 2004.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, p. 494-500, 1998.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. ; ABREU, M. F.; ERISMANN, N. M. Lead uptake and tolerance of *Ricinus communis* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n. 4, p. 483-489, 2006.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.

SANTOS, F. F. P.; ALMEIDA, F. D. L.; MOTA, F. A. S.; RIOS, M. A. S.; LIMA, A. A. S. Análise de superfície de resposta dos blends do óleo de mamona e babaçu. **Geintec**, v. 4, n. 3, p.1139-1149, 2014.

SAVY FILHO, A.; AMORIM, E. P.; RAMOS, N.P.; MARTINS, A. L. M.; CAVICHIOLI, J. C. IAC-2028: nova cultivar de mamona. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.449-452, 2007.

SILVA, J. E. B.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D., BARROS JÚNIOR; G.; FORMIGA, L. A. Produção e qualidade do fruto da mamona em semeio e rebrote sob estresse hídrico fenológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1167-1172, 2013.

Software Image J ref: Rasband, W. S. 2006. **Image J, U.S. National Institutes of Health, Bethesda**, Maryland, USA. Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij>> Acesso em: 20 ago. 2016.

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.478–484, 2010.

VASCONCELLOS, M. C., PAGLIUSO, D., SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**. v. 34, n. 83, p. 261-267, 2012.

WEISS, E. A. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983. 659p.

ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um Latossolo Vermelho-Amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p.649-657, 2007.

ZUCHI, J.; BEVILAQUA, G. A. P.; ZANUNCIO, J. C.; PESKE, S. T.; SILVA, S. D. A.; SEDIYAMA, C. S. Características agronômicas de cultivares de mamona em função do local de cultivo e da época de semeadura no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.40, n.3, p.501-506, 2010.