



Seleção de espécies vegetais tolerantes ao herbicida hexazinone

Vanessa Silva SANTOS¹, Adriano Jakelaitis^{1*}, Leandro Spíndola PEREIRA¹,
Gustavo Dorneles de SOUSA¹, Gustavo Silva de OLIVEIRA¹, Jeovane Nascimento SILVA¹,
Simonny Montthiel Araújo VASCONCELOS¹, Paula Fabiane MARTINS¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, Brasil.

*E-mail: adriano.jakelaitis@ifgoiano.edu.br

Recebido em setembro/2018; Aceito em fevereiro/2019.

RESUMO: Hexazinone é um herbicida utilizado na cultura da cana-de-açúcar e apresenta alta persistência no ambiente. Para detoxificar ambientes contaminados com hexazinone foi investigada a tolerância de plantas à molécula, testando-se dez espécies: capim-marandu (*Urochloa brizantha*), capim-ruziensis (*Urochloa ruziensis*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), crotalaria (*Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), lab-lab (*Dolichos lablab*), mucuna (*Mucuna pruriens* e *Mucuna aterrima*) e milho (*Pennisetum glaucum*) tratadas com as doses de hexazinone de 0; 125,0; 187,5 e 375,0 g ia ha⁻¹. A pesquisa foi delineada em blocos casualizados com quatro repetições. O herbicida foi aplicado em vasos, contendo 6 kg de solo, e após 48 horas, foram semeadas as espécies vegetais. Foram avaliados a fitointoxicação e a altura das plantas (AP) aos 30 e aos 60 dias após a emergência (DAE) e a massa seca (MS) das plantas, aos 60 DAE. Na dose de 187,5 g ia ha⁻¹, a espécie *C. cajan* apresentou menor fitointoxicação e maiores valores de AP e de MS da parte aérea em relação às demais espécies. Não houve diferença para a MS de raízes entre as espécies. *C. cajan* foi a espécie mais tolerante, o que a torna boa candidata para fitorremediar solo contaminado com hexazinone.

Palavras-chave: fitorremediação; persistência; solo.

Selection of tolerant vegetable species to hexazinone herbicide

ABSTRACT: Hexazinone is a herbicide used in the cultivation of sugarcane and has high persistence in the environment. To detoxify environments contaminated with this herbicide, the tolerance of plants in the presence of the molecule was investigated, testing 10 species: palisade grass (*Urochloa brizantha*), *Urochloa ruziensis*, pigeonpea (*Cajanus cajan*), sunn hemp (*Crotalaria juncea*), showy rattlebox (*Crotalaria spectabilis*), jack bean (*Canavalia ensiformis*), indian bean (*Dolichos lablab*), millet (*Pennisetum glaucum*), velvet bean (*Mucuna pruriens* and *Mucuna aterrima*) at different doses of the herbicide: 0, 125.0, 187.5 and 375.0 g ai ha⁻¹. The research was outlined in randomized blocks with four replicates. At 30 and 60 days after emergence (DAE) the phytotoxication and plant height (PA) were evaluated. The dry mass (DM) of the plants was measured at 60 DAE. At the rate of 187.5 g ai ha⁻¹, the *C. cajan* species presented lower phytotoxication and higher values of PA and of DM of shoot above the other species. There was no difference for root DM between species. *C. cajan* was the most tolerant species, which makes it a good candidate for phytoremediation of soil contaminated with hexazinone.

Keywords: phytoremediation; persistence; soil.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é praticada em larga escala devido as extensas áreas agricultáveis, com quase 300 milhões de hectares ocupados com culturas, além de florestas plantadas e pastagens. Com isso, o país se torna alto consumidor de produtos fitossanitários, cujas vendas correspondem a 18,5% do total mundial, e deste percentual 32,5% referem-se aos herbicidas (SINDIVEG, 2017).

Na cana-de-açúcar, o controle químico de plantas daninhas é o mais utilizado em decorrência das extensas áreas de cultivo, dificuldade na obtenção de mão-de-obra, baixo custo, alta eficiência e rendimento desta modalidade de controle (DIAS et al., 2017). Herbicidas residuais aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e da cultura são os mais utilizados nas lavouras canavieiras e apresentam alta persistência nos solos (BLANCO et al. 2010).

No Brasil estão registrados 42 princípios ativos com ação herbicida para uso em cana-de-açúcar (AGROFIT, 2018). Dentre os principais encontram-se o hexazinone, amicarbazone, clomazone, a mistura formulada de diuron + hexazinone, imazapic, sulfentrazone e tebuthiuron. Para avaliação da presença de herbicidas em compartimentos ambientais torna-se imperativo o conhecimento de suas propriedades químicas, tais como solubilidade, coeficiente de adsorção no solo, meia-vida no solo e taxa de volatilização (HUNTER; SHANER, 2012). Essas características, associadas aos atributos ambientais, distinguem os herbicidas no que diz respeito à persistência, mobilidade e ecotoxicidade (WARNER et al., 2018).

O hexazinone pertence à classe das triazinonas e atua na inibição do fluxo de elétrons no fotossistema II (FLORES et al., 2013). É registrado para o controle de plantas daninhas em aplicações em pré e pós-emergência inicial na cultura da cana-

de-açúcar (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Apresenta alta mobilidade no solo, devido a sua alta solubilidade (33 g L⁻¹ a 25°C), não volátil, com coeficiente de sorção (K_{oc}) de 54 mL g⁻¹, suscetibilidade à degradação por microrganismos e fotodegradação. De acordo com Martins (2015) torna-se relevante a avaliação dos riscos que esse herbicida pode ocasionar ao meio ambiente, devido à alta persistência e mobilidade, principalmente em águas superficiais e subterrâneas, o que resulta em risco potencial para a humanidade.

A fitorremediação é uma tecnologia que utiliza plantas para detoxificar ambientes contaminados por substâncias orgânicas e inorgânicas em diversos compartimentos do ambiente. A planta utilizada atua na degradação, adsorção, volatilização, acumulação de poluentes, bem como na estimulação da atividade microbiana no solo (NEWMAN; REYNOLDS, 2004). Essa técnica apresenta vantagens como o baixo custo, simplicidade no método e não gera impactos negativos, sendo uma técnica promissora (IBRAHIM et al., 2013). Portanto, as espécies vegetais devem apresentar características específicas como tolerância e capacidade de reduzir resíduos tóxicos de produtos fitossanitários, além da facilidade de cultivo (SANTOS et al., 2007). Essas características podem ser avaliadas através de testes preliminares de desenvolvimento da planta, como avaliações biométricas ou avaliação da atividade residual no solo.

Sandermann (1994) descreve a capacidade das plantas de se adaptarem às tensões induzidas por contaminantes orgânicos. Elas podem, dentro das células, estabelecer sistemas de desintoxicação nos quais os poluentes orgânicos são reduzidos, convertidos ou eliminados, minimizando os efeitos deletérios causados pelos xenobióticos. Porém, os conhecimentos acerca dos processos envolvidos no metabolismo dos contaminantes orgânicos pelas plantas ainda são limitados (FENG, 2017).

Neste contexto, objetivou-se neste trabalho selecionar espécies vegetais tolerantes ao herbicida hexazinone para fins de aplicação em fitorremediação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação climatizada na cidade de Rio Verde, GO (17°48'55" S e 50°56'28" O, altitude de 754 m), no período de março a maio de 2017. Cada unidade experimental correspondeu a vasos de 6 dm³, preenchidos com 6 kg de Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013) de textura média (70% de areia, 4% de silte, 26% de argila), com as seguintes características químicas: pH 5,3; matéria orgânica e carbono orgânico: 13 e 7,5 g dm⁻³; P e K: 0,98 e 15 mg dm⁻³; K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, H⁺ Al e CTC, foram de, respectivamente: 0,04; 1,18; 0,45; 0,02; 1,67; 3,34 cmol_c dm⁻³.

As espécies vegetais foram escolhidas a partir de dados levantados na literatura, com base na tolerância das plantas apresentada para herbicidas inibidores do FSII. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial (10x4), sendo o primeiro fator representado pelas espécies: capim-marandu (*Urochloa brizantha*), capim-ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), crotalaria (*Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), lab-lab (*Dolichos lablab*), mucuna (*Mucuna pruriens* e *Mucuna aterrima*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) e o segundo fator pelas doses

do herbicida: 0; 125,0; 187,5 e 375,0 g ia ha⁻¹, que representam 0; 33,33; 50 e 100% da dose comercial.

O herbicida foi aplicado com pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra de 2,0 m, bicos tipo leque AXI 110 02, com pressão constante de 2 bar e volume de calda de 260 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas no período matutino com temperatura de 27°C, velocidade do vento de 1m s⁻¹, e umidade relativa do ar de 72,3%. Transcorridas as 48 horas da aplicação do herbicida, realizou-se a semeadura das espécies vegetais. Após a emergência, foi realizado um desbaste, deixando três plantas por vaso.

A umidade do solo foi mantida através de irrigação manual uma ou duas vezes por dia, ou de acordo com a necessidade das espécies. Foram realizadas três adubações com 20 g L⁻¹ Forth Jardim[®] da marca Tecnutri do Brasil, contendo N: 13; P₂O₅: 5; K₂O: 13; B: 0,04; Ca: 1; Cu: 0,05; S: 5; Fe: 0,2; Mg: 1; Mn: 0,08; Mo: 0,005 e Zn: 0,15%, aplicando 50 mL em cada vaso, em intervalos quinzenais.

Conduziram-se as avaliações de altura (cm), aos 30 e 60 DAE – dias após a emergência, com o auxílio de régua graduada, tomando-se como base o meristema apical para dicotiledôneas e a borda da folha superior para as demais espécies. Simultaneamente, avaliou-se a fitointoxicação (%) aos 30 e 60 DAE, atribuindo notas variando de 0 a 100% de acordo com os sintomas apresentados pelas plantas, sendo 0 (zero) representando a ausência de sintomas e 100 (cem) a morte da planta (EWRC, 1964). Aos 60 DAE, a parte aérea e as raízes foram separadas para avaliação da produção de massa seca. As amostras foram acondicionadas em estufa, a 65 °C por 72 horas, e posteriormente pesadas em balança analítica.

As médias referentes à altura de plantas e as massas secas da parte aérea e das raízes obtidas pela testemunha de cada espécie (dose zero) foram transformadas, atribuindo-se índice igual a 1, e convertidas proporcionalmente os demais valores concernentes as demais doses. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias entre espécies foram comparadas pelo teste Scott-Knott (p<0,05), por meio do programa estatístico para análise de variância (SISVAR) versão 5.6. As médias entre doses foram submetidas à análise de regressão pelo programa Sigmaplot (SISTAT SOFTWARE, versão 12.0, São José).

3. RESULTADOS

Aos 30 DAE, observaram-se interação entre os fatores espécies e doses de hexazinone para fitointoxicação (Tabela 1). Para a dose de 125,0 g ia ha⁻¹, as espécies que apresentaram maior fitointoxicação foram *C. juncea* e *D. lablab*, com 100 e 98%, respectivamente. Os sintomas nas plantas sensíveis foram caracterizados por clorose e necrose marginal das folhas. As espécies que apresentaram sintomas intermediários foram: *U. brizantha*, *P. glaucum*, *M. pruriens* e *M. aterrima*. Maior tolerância foi observada para as espécies *C. cajan*, *U. ruziziensis*, *C. ensiformis* e *C. spectabilis*. Na dose de 187,5 g ia ha⁻¹, observou-se maior tolerância apenas para *C. cajan* e para *C. juncea*, *D. lablab* e *M. aterrima* constataram-se a morte das plantas. Na maior dose, 375,0 g ia ha⁻¹, nenhuma espécie apresentou tolerância ao herbicida (Tabela 1).

Para cada espécie, a partir da análise de regressão, com base na equação sigmoidal ($\hat{Y} = a / (1 + \exp(-(x - x_0) / b))$), observaram-se altos valores para o coeficiente "a", expressos pela elevada diferença entre o ponto máximo e mínimo de porcentagem de fitointoxicação, que foi provocada pelo efeito observado nas menores doses e pela morte das plantas na

maior dose. As espécies com maiores valores para a variável “ x_0 ”, coeficiente que representa a dose que expressa 50% do valor da variável resposta, apresentaram-se mais tolerantes em relação ao aumento da dose, sendo que o maior valor foi

encontrado para *C. cajan* com “ x_0 ” = 195,53 g ia ha⁻¹. *M. pruriens* apresentou baixa tolerância, com “ x_0 ” = 96,91 g ia ha⁻¹.

Tabela 1. Fitotoxicação, promovidas por doses de hexazinone, nas espécies testadas *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) e *Mucuna aterrima* (MUCAT) avaliada aos 30 e aos 60 dias após a emergência (DAE).

Table 1. Phytotoxication, promoted by doses of hexazinone, in the tested species *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) and *Mucuna aterrima* (MUCAT) evaluated at 30 and 60 days after emergence (DAE).

Espécies	Doses de hexazinone (g ia ha ⁻¹)				Equação da regressão	R ²
	0	125	187,5	375		
30 DAE						
UROBR	0,0 a	59,2 b	88,3 a	100,0 a	$\hat{Y} = 98,85 / (1 + \exp(-(x - 113,51) / 31,72))$	0,99
URORU	0,0 a	30,8 c	93,3 a	100,0 a	$\hat{Y} = 99,99 / (1 + \exp(-(x - 139,65) / 18,13))$	1,00
CAJCA	0,0 a	34,2 c	47,5 b	100,0 a	$\hat{Y} = 107,29 / (1 + \exp(-(x - 195,53) / 69,93))$	0,98
CROJU	0,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 (1 - \exp(-0,17x))$	1,00
CROSP	0,0 a	15,0 c	78,3 a	98,0 a	$\hat{Y} = 98,00 / (1 + \exp(-(x - 159,57) / 20,21))$	1,00
CANEN	0,0 a	15,8 c	98,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 143,77) / 11,24))$	1,00
DOLLA	0,0 a	98,0 a	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,13 (1 - \exp(-0,03x))$	1,00
PENGL	0,0 a	64,2 b	90,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 98,43 / (1 + \exp(-(x - 107,50) / 29,68))$	0,99
MUCPR	0,0 a	69,7 b	81,7 a	100,0 a	$\hat{Y} = 94,69 / (1 + \exp(-(x - 96,91) / 32,31))$	0,97
MUCAT	0,0 a	58,3 b	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 124,04) / 2,86))$	1,00
F (Espécie)						3,71**
F (Dose)						329,35**
F (Espécie x Dose)						2,62*
CV (%)						19,90
60 DAE						
UROBR	0,0 a	9,2 b	85,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 160,58) / 15,51))$	1,00
URORU	0,0 a	33,3 b	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 126,89) / 2,73))$	1,00
CAJCA	0,0 a	6,7 b	17,5 b	100,0 a	$\hat{Y} = 120,81 / (1 + \exp(-(x - 286,89) / 56,14))$	0,99
CROJU	0,0 a	97,5 a	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 112,48) / 3,41))$	1,00
CROSP	0,0 a	15,8 b	70,0 a	97,5 a	$\hat{Y} = 97,51 / (1 + \exp(-(x - 164,83) / 24,27))$	1,00
CANEN	0,0 a	14,2 b	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 129,73) / 2,62))$	1,00
DOLLA	0,0 a	94,2 a	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 116,06) / 3,21))$	1,00
PENGL	0,0 a	41,7 b	73,3 a	85,0 a	$\hat{Y} = 84,73 / (1 + \exp(-(x - 126,56) / 31,83))$	0,99
MUCPR	0,0 a	59,2 a	93,3 a	100,0 a	$\hat{Y} = 99,63 / (1 + \exp(-(x - 115,32) / 25,95))$	0,99
MUCAT	0,0 a	80,0 a	100,0 a	100,0 a	$\hat{Y} = 100,00 / (1 + \exp(-(x - 120,80) / 3,02))$	1,00
F (Espécie)						5,67*
F (Dose)						215,07*
F (Espécie x Dose)						3,07*
CV (%)						24,4

* (Teste F, p<0,05). Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, p<0,05).

Valores expressos para a variável “ b ”, que demonstra a declividade da curva, foram baixos para *U. ruziziensis*, *M. aterrima*, *C. ensiformis* e *P. glaucum*, evidenciando baixo crescimento e evolução rápida dos sintomas de fitotoxicação. Para uma curva mais pronunciada como *C. cajan*, que apresentou maior declividade, denota-se maior tolerância. Os sintomas nas espécies *C. juncea* e *D. lablab* foram explicadas pelo modelo exponencial, expressando elevada fitotoxicação, mesmo em baixas doses de hexazinone (Tabela 1).

Aos 60 DAE para a dose de 125,0 g ia ha⁻¹ as espécies que apresentaram maior fitotoxicação foram *C. juncea*, *D. lablab*, *M. pruriens* e *M. aterrima*. As demais espécies apresentaram maior tolerância, sendo o menor valor observado para *C. cajan*, com 6,67%. Na dose de 187,5 g ia ha⁻¹, apenas *C. cajan* apresentou menor fitotoxicação (Tabela 1). Referente as doses, os resultados se ajustaram ao modelo

sigmoidal com altos valores para o coeficiente “ a ” para todas as espécies (Tabela 1). Em relação aos coeficientes “ x_0 ” e “ b ” os maiores valores observados foram para a espécie *C. cajan*, confirmando maior tolerância em função do aumento das doses do herbicida.

Para altura das plantas avaliadas, aos 30 DAE observou-se interação entre os fatores testados e maior índice de altura foi verificado para as testemunhas (Tabela 2). Na dose de 125 g ia ha⁻¹ de hexazinone, as espécies que apresentaram maior índice de altura foram *U. brizantha*, *U. ruziziensis*, *C. cajan*, *C. spectabilis* e *C. ensiformis*. Porém, com diminuição de 33%, 43%, 17%, 27% e 23%, respectivamente, em relação às testemunhas. Menor crescimento foi observado para *P. glaucum*, *M. pruriens* e *M. aterrima* e não se observou crescimento para *C. juncea* e *D. lablab* (Tabela 2).

Para as doses de 187 g ia ha⁻¹ de herbicida aplicado, apenas *C. cajan* apresentou crescimento de 54% em relação ao

controle, sendo que as demais espécies apresentaram alta sensibilidade. Para a maior dose, já constatado pelos sintomas de fitointoxicação, todas as espécies foram sensíveis.

As respostas para *C. cajan*, *U. brizantha*, *C. spectabilis* e *pruriens* foram explicadas pelo modelo sigmoidal, as quais expressaram 50% de crescimento (x_0) nas doses de 193, 137, 146 e 91 g ia ha⁻¹, respectivamente, sendo *C. cajan* que apresentou maior tolerância ao herbicida hexazinone entre as espécies e em relação à testemunha (Tabela 2). Foi observado

também maior crescimento para *C. cajan*, que também apresentou valor mais alto para “b”, com maior declividade da curva. Crescimento menos pronunciado foi observado para *M. pruriens*. Todos os valores de “a” foram altos em decorrência do efeito deletério na dose de 375 g ia ha⁻¹. O comportamento de *U. ruziziensis* foi explicada por modelo linear simples, com redução na altura de plantas de 0,27% para cada aumento de 1 g ia ha⁻¹ na dose do herbicida (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de altura das espécies testadas *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) e *Mucuna aterrima* (MUCAT) avaliada aos 30 e aos 60 dias após a emergência (DAE) em função das doses do herbicida hexazinone.

Table 2. Height index of the tested species *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) and *Mucuna aterrima* (MUCAT) evaluated at 30 and 60 days after emergence (DAE) as a function of the doses of the herbicide hexazinone.

Espécies	Doses de hexazinone (g ia ha ⁻¹)				Equação da regressão	R ²
	0	125	187,5	375		
30 DAE						
UROBR	1,00 a	0,67 a	0,06 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,00 / (1 + \exp(- (x - 137,6695) / -17,80))$	1,00
URORU	1,00 a	0,57 a	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 0,8583 - 0,0027x$	0,75
CAJCA	1,00 a	0,83 a	0,54 a	0,00 a	$\hat{Y} = 1,09 / (1 + \exp(- (x - 193,23) / -426272))$	0,99
CROJU	1,00 a	0,00 c	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 0,97 - 0,0090x + (1,7067 \cdot 10^{-5})x^2$	0,96
CROSP	1,00 a	0,73 a	0,14 b	0,05 a	$\hat{Y} = 1,00 / (1 + \exp(- (x - 146,99) / -22,29))$	0,99
CANEN	1,00 a	0,77 a	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0654 - 0,0056x + (7,231 \cdot 10^{-6})x^2$	0,80
DOLLA	1,00 a	0,06 c	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0240 \exp(-0,0237x)$	0,99
PENGL	1,00 a	0,23 b	0,10 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0126 \exp(-0,0121x)$	0,99
MUCPR	1,00 a	0,33 b	0,09 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,11 / (1 + \exp(- (x - 91,20) / -40,20))$	1,00
MUCAT	1,00 a	0,25 b	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0171 \exp(-0,0132x)$	0,98
F (Espécie)						4,81**
F (Dose)						198,69**
F (Espécie x Dose)						2,78**
CV (%)						9,89
60 DAE						
UROBR	1,00 a	0,76 a	0,06 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,00 / (1 + \exp(- (x - 143,01) / -15,90))$	1,00
URORU	1,00 a	0,38 b	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0212 \exp(-0,0107x)$	0,95
CAJCA	1,00 a	0,91 a	0,52 a	0,00 a	$\hat{Y} = 1,00 / (1 + \exp(- (x - 189,48) / -28,07))$	1,00
CROJU	1,00 a	0,00 c	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 0,9733 - 0,0090x + (1,7067 \cdot 10^{-5})x^2$	0,96
CROSP	1,00 a	0,65 a	0,20 b	0,03 a	$\hat{Y} = 1,01 / (1 + \exp(- (x - 143,68) / -31,34))$	0,99
CANEN	1,00 a	0,56 a	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0409 - 0,0065x + (9,8462 \cdot 10^{-6})x^2$	0,91
DOLLA	1,00 a	0,05 c	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0246 \exp(-0,0244x)$	0,99
PENGL	1,00 a	0,26 b	0,09 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0132 \exp(-0,0116x)$	0,99
MUCPR	1,00 a	0,30 b	0,07 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0152 \exp(-0,0110x)$	0,99
MUCAT	1,00 a	0,16 c	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0175 \exp(-0,0161x)$	0,99
F (Espécie)						5,39*
F (Dose)						201,78*
F (Espécie x Dose)						2,68*
CV (%)						9,82

* (Teste F, p<0,05). Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, p<0,05).

O crescimento de *D. lablab*, *M. aterrima* e *P. glaucum* foram explicados pela equação ($\hat{Y} = a \exp(-bx)$), sendo que a altura aos 30 DAE diminuiu exponencialmente com o aumento da dose do herbicida, com maior declividade da curva para *D. lablab*.

Aos 60 DAE nota-se que houve interação entre os fatores testados (Tabela 2). Para a dose de 125 g ia ha⁻¹ verificaram-se plantas mais altas em relação a testemunha para *C. cajan*, *U. brizantha*, *C. spectabilis* e *C. ensiformis*, indicando maior tolerância ao herbicida. Menores alturas foram constatadas para *U. ruziziensis*, *P. glaucum* e *M. pruriens*, e para *C. juncea*, *D. lablab* e *M. aterrima* não se observou crescimento,

indicando menor tolerância. *C. cajan* foi a única espécie que apresentou maior altura de plantas (52% em relação ao controle) para a dose de 187,5 g ia ha⁻¹. Todas as espécies foram controladas na dose de 375,0 g ia ha⁻¹.

Semelhantemente ao observado para a altura de plantas avaliadas aos 30DAE, o modelo sigmoidal foi ajustado para explicar o comportamento de *C. cajan*, *U. ruziziensis*, e *C. spectabilis* aos 60 DAE. Os valores de “x0” foram, respectivamente, de 189,48 143,01 e 143,68 g ia ha⁻¹, confirmando maior crescimento de *C. cajan* em relação as demais espécies. O índice de altura de *U. brizantha*, *D. lablab*, *P. glaucum*, *M. pruriens* e *M. aterrima* foram explicadas pela

equação exponencial, cujo efeito das doses foram mais evidenciados para *D. lablab* (Tabela 2).

Para a massa seca da parte aérea a interação entre espécie e dose também foi significativa (Tabela 3). Para a dose de 125 g ia ha⁻¹ observaram-se maior produção de massa seca da parte

aérea para as seguintes espécies: *C. ensiformis*, *C. cajan*, *U. ruziziensis*, *C. spectabilis* e *U. brizantha*. Para as demais espécies: *C. juncea*, *D. lablab*, *P. glaucum*, *M. pruriens*, *M. aterrima* houve menor produção de massa seca, indicando suscetibilidade ao herbicida.

Tabela 3. Produção de massa seca da parte aérea das espécies testadas *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) e *Mucuna aterrima* (MUCAT) avaliada aos 60 dias após a emergência (DAE) em função das doses do herbicida hexazinone.

Table 3. Production of dry shoot mass of *Urochloa brizantha* (UROBR), *Urochloa ruziziensis* (URORU), *Cajanus cajan* (CAJCA), *Crotalaria juncea* (CROJU), *Crotalaria spectabilis* (CROSP), *Canavalia ensiformis* (CANEN), *Dolichos lablab* (DOLLA), *Pennisetum glaucum* (PENGL), *Mucuna pruriens* (MUCPR) and *Mucuna aterrima* (MUCAT) evaluated at 60 days after emergence (DAE) as a function of the doses of the herbicide hexazinone.

Espécies	Doses de hexazinone (g ia ha ⁻¹)				Equação da regressão	R ²
	0	125	187,5	375		
UROBR	1,00 a	0,47 a	0,02 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,00 / (1 + \exp(-(x-123,14) / -16,12))$	1,00
URORU	1,00 a	0,62 a	0,00 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0317 \exp((-0,0079)x)$	0,84
CAJCA	1,00 a	0,80 a	0,57 a	0,03 a	$\hat{Y} = 1,02 / (1 + \exp(-(x - 198,56) / -54,65))$	0,99
CROJU	1,00 a	0,03 b	0,02 b	0,01 a	$\hat{Y} = 1,0000 \exp(-0,0277x)$	0,99
CROSP	1,00 a	0,53 a	0,18 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,04 / (1 + \exp(-(x-126,31) / -39,92))$	1,00
CANEN	1,00 a	0,87 a	0,15 b	0,15 a	$\hat{Y} = 0,92 / (1 + \exp(-(x - 164,42) / -14,08))$	0,95
DOLLA	1,00 a	0,06 b	0,03 b	0,01 a	$\hat{Y} = 1,0002 \exp(-0,0216x)$	0,99
PENGL	1,00 a	0,29 b	0,13 b	0,00 a	$\hat{Y} = 1,0018 \exp(-0,0103x)$	0,99
MUCPR	1,00 a	0,28 b	0,08 b	0,06 a	$\hat{Y} = 1,0015 \exp(-0,0110x)$	0,99
MUCAT	1,00 a	0,33 b	0,07 b	0,04 a	$\hat{Y} = 1,05 / (1 + \exp(-(x-99,26) / -32,99))$	0,99
F (Espécie)						3,72*
F (Dose)						136,40*
F (Espécie x Dose)						1,79*
CV (%)						11,21

* (Teste F, p<0,05). Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, p<0,05).

Na dose de 187,5 g ia ha⁻¹, apenas *C. cajan* apresentou maior produção de massa seca, com 57% em relação ao controle, indicando pouca tolerância das demais espécies. De acordo com as avaliações precedentes e na avaliação de produção de massa seca para a dose de 375,0 g ia ha⁻¹, todas as espécies apresentaram suscetibilidade e produção de massa inexpressiva.

Em função das doses foi ajustado o modelo sigmoidal, para *U. brizantha*, *C. cajan*, *C. spectabilis*, *C. ensiformis* e *M. aterrima* e foram observados maiores valores para o coeficiente “a”, que demonstrou menor produção de massa seca nas doses mais altas. Ao analisar o coeficiente “x0”, nota-se que a espécie que apresentou maior produção foi *C. cajan*, seguido de *C. ensiformis*, *C. spectabilis*, *U. brizantha* e *M. aterrima*. As demais espécies apresentaram baixa tolerância com o aumento das doses. Para as espécies *U. ruziziensis*, *C. juncea*, *D. lablab*, *P. glaucum* e *M. pruriens*, a produção de massa seca dentro das doses foram explicadas pela equação exponencial, sendo a espécie *D. lablab* a menos tolerante.

Não foi observado interação entre os fatores testados para a massa seca de raiz, apenas efeito isolado entre doses. Entre as espécies não foi observado diferenças significativas de produção de massa seca da raiz, apresentando índice médio de 0,9177. Ao observar o índice de massa seca de raiz em relação às doses explicado pelo modelo sigmoidal ($\hat{Y} = 1,04 / (1 + \exp(-(x-123,13) / -28,90))$) (R² = 0,9999), nota-se diminuição da produção medida que a dose foi aumentada, atingindo na maior dose, valores nulos na produção de biomassa.

4. DISCUSSÃO

C. cajan foi a única espécie que apresentou maior tolerância à hexazinone, demonstrada pelo potencial de

recuperação da espécie, quando tratada com as doses de 125 e 187,5 g ia ha⁻¹ do herbicida, nas avaliações feitas aos 30 e confirmadas aos 60 DAE, evidenciadas pelas reduções dos sintomas de fitointoxicação e pelos maiores valores apresentados para altura de plantas e produção de massa seca da parte aérea (Tabelas 1, 2 e 3). A recuperação da planta pode ser atribuída à adaptação da mesma ao estresse promovido pelo herbicida, ou a diminuição da concentração da molécula no solo do vaso por condições naturais, como a degradação química e, ou, biológica.

A fitorremediação realizada por *C. cajan* é reportada por vários autores para metais. Kumar et al. (2015) demonstraram que *C. cajan* apresentou capacidade em acumular os metais cromo e níquel, além de apresentar altos índices de bioconcentração e de translocação, que tornam a planta hábil na remoção destes metais e com alto potencial para aplicações fitotecnológicas. Jerez; Romero (2016) também relataram a capacidade da espécie na fitorremediação de poluentes de lixiviados de aterros, removendo até 49% de cromo, 36% de chumbo, 85% de amônia e 70% de espécies combinadas de nitrito/nitrato. Em ambiente com flúor, Yadu et al. (2017) confirmaram a aptidão de *C. cajan* em tolerar este composto, quando o tratamento foi combinado com glicina betaína, uma substância de amônio, com capacidade de eliminar as espécies reativas de oxigênio em plantas sob estresse.

Relacionado a herbicidas, Madalão et al. (2012a) avaliando o potencial fitorremediador de oito espécies vegetais, observaram que *C. cajan* e *Leucaena leucocephala* apresentaram maior tolerância ao herbicida sulfentrazone até a dose de 400 g ia ha⁻¹, demonstrando menores índices de fitointoxicação e de reduções na altura de plantas e no acúmulo de massa seca, em relação ao tratamento controle. Noutra

pesquisa, Madalão et al. (2012b) confirmaram que a espécie *Crotalaria juncea* foi a mais eficiente na descontaminação do herbicida sulfentrazone em solo até a dose de 400 g ia ha⁻¹, e que *C. cajan* cv. Fava Larga, *C. cajan* cv. Iapar (Anão) e *Canavalia ensiformis* também apresentaram resultados satisfatórios na fitorremediação do herbicida. Em outras pesquisas visando selecionar espécies com capacidade de fitorremediar solos contaminados com herbicidas, *C. cajan* foi selecionada para solos contaminados com tebutiuron até a dose de 500 g ia ha⁻¹ (PIRES et al., 2005) e com diclosulam em doses até 70 g ia ha⁻¹ (MONQUERO et al., 2013).

Em relação à tolerância de plantas aos herbicidas existem pelo menos quatro mecanismos gerais que podem estar envolvidos neste processo: absorção ou translocação reduzida, metabolismo do herbicida, redução da concentração do herbicida no sítio de ação e perda de afinidade do mesmo pelo local de ação (MONQUERO et al., 2013). Assim, uma planta considerada eficiente como fitorremediadora deve promover a degradação da molécula do herbicida, sem necessariamente levá-la à mineralização e desde que os metabólitos gerados não sejam fitotóxicos.

Para a dose aplicada de 125 g ia ha⁻¹ de hexazinone, a *U. brizantha* apresentou comportamento intermediário em relação as demais espécies, com fitointoxicação de 9,17% (Tabela 1), decréscimo na altura de 24% (Tabela 2) e na massa seca da parte aérea de 53% (Tabela 3) se comparada à testemunha. Braga et al. (2016) constataram a potencialidade de *U. brizantha* em fitodegradar e fitoestimar a degradação do herbicida picloram nas camadas superficiais do solo. Também as espécies *C. spectabilis* e *C. ensiformis* se apresentaram mais tolerantes em relação às demais espécies para a mesma dose (125 g ia ha⁻¹) de hexazinone, com redução de altura avaliados aos 60 DAE de 35 e 44%, respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 2). Vários trabalhos registram a *C. ensiformis* com capacidade de ser empregada em trabalhos de fitorremediação de herbicidas, como sulfentrazone (MADALÃO et al., 2017), diclosulam (MONQUERO et al., 2013) e imazaquim (FLORIDO et al., 2014).

As espécies mais sensíveis ao hexazinone na menor dose (125,0 g ia ha⁻¹) foram *U. ruziziensis*, *M. pruriens* e *P. glaucum* com índices de altura menores que a testemunha em 62%, 70% e 74%, seguidas de *C. juncea*, *D. lablab* e *M. aterrima* nas quais observaram-se a morte da planta (Tabela 2). Plantas que apresentam baixa tolerância, o crescimento vegetativo é prejudicado pela fitointoxicação causada pelos poluentes orgânicos que inibem a capacidade vegetal de absorção de água e nutrientes (KHAM et al., 2013).

Na dose de 187,5 g ia ha⁻¹ observou-se tolerância apenas para *C. cajan*, sendo que as demais espécies apresentaram altos índices de fitointoxicação. Para a dose de 375 g ia ha⁻¹ constatou-se a morte das plantas de todas as espécies.

Raros são os trabalhos que retratam sobre o potencial de fitorremediação de espécies vegetais em solos contaminados com hexazinone, principalmente para espécies cultivadas, como os adubos verdes. No entanto, Santos et al. (2018) investigaram o emprego das espécies arbóreas brasileiras *Calophyllum brasiliense*, *Eremanthus crotonoides*, *Hymenaea courbaril*, *Inga striata* e *Protium heptaphyllum* na descontaminação de solos contendo ametryn e hexazinone e verificaram para hexazinone (500 g ia ha⁻¹) que as espécies *C. brasiliense* e *H. courbaril* sobreviveram e apresentaram diferentes mecanismos de fitorremediação, sendo *C.*

brasiliense capaz de fitodegradar o herbicida hexazinone, enquanto *H. courbaril* promoveu a rizodegradação do mesmo.

5. CONCLUSÕES

Até a dose de 187,5 g ia ha⁻¹ no solo, a espécie *C. cajan* foi a mais tolerante ao herbicida hexazinone, sendo considerada uma espécie potencial de ser empregada em pesquisas com fitorremediação de solos contaminados com este herbicida.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

7. REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Agrofit**: Consulta aberta. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/princip_al_agrofit_cons>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100010>
- BRAGA, R. R.; SANTOS, J. B.; ZANUNCIO, J. C.; BIBIANO, C. S.; FERREIRA, E. A.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, D. V.; SERRÃO, J. E. Effect of growing *Brachiaria brizantha* on phytoremediation of picloram under different pH environments. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 94, n. 94 p. 102-106, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.050>
- DIAS, J. L. C. S.; SILVA JUNIOR, A. C.; QUEIROZ, J. R. G.; MARTINS, D. Herbicides selectivity in pre-budded seedlings of sugarcane. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, p. e0112015. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1808-1657000112015>
- EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- EWRC EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL 3/4. Report of 3rd and 4 rd meetings of EWRC. Cittee of methods in weed research. **Weed Research**, Oxford, v. 4, p. 88, 1964.
- FENG, N. X.; YU, J.; ZHAO, H. M.; CHENG, Y. T.; MO, C. H.; CAI, Q. Y.; LI, Y. W.; WONG, M. H. Efficient phytoremediation of organic contaminants in soil using plant-endophyte partnerships. **Science The Total Environment**, Amsterdam, v.583, p.352-368, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.075>
- FLORES, F.; COLLIER, C. J.; MERCURIO, P.; NEGRI, A. P. Phytotoxicity of four photosystem II herbicides to tropical seagrasses. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 9, p. e75798. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0075798>.
- FLORIDO, F. G.; MONQUERO, P. A.; DIAS, A. C. R.; TORNISIELO, V. L. The absorption and translocation of imazaquim in green manures. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 291-300. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v36i3.17035>
- HUNTER, W. J.; SHANER, D. L. Removing hexazinone from groundwater with microbial bioreactors. **Current**

- Microbiology**, New York, v. 64, n. 5, p. 405-411, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00284-012-0086-7>
- IBRAHIM, S. I.; ADBEL, M. F.; KHALIFA, H. M. S.; ADBEL, A. E. Phytoremediation of atrazine – contaminated soil using *Zea mays* (maize). **Annals of Agricultural Sciences**, Cairo, v. 58, n. 1, p. 69-75, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2013.01.010>
- JEREZ, J. A.; ROMERO, R. M. Evaluation of *Cajanus cajan* (pigeon pea) for phytoremediation of landfill leachate containing chromium and lead. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 18, n. 11, p. 1122-1127, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/15226514.2016.1186592>.
- KHAN, S.; AFZAL, M.; IGBAL, S.; KHAN, Q. M. Plant-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 90, n. 4, p. 1317-1332, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.045>
- KUMAR, A.; MAIT, S. K.; TRIPTI; PRASAD, M. N. V.; SINGH, R. S. Grasses and legumes facilitate phytoremediation of metalliferous soils in the vicinity of an abandoned chromite – asbestos mine. **Journal of Soils and Sediments**, Landsberg, v. 17, n. 5, p. 1358-1368, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11368-015-1323-z>
- MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A. F.; GARCIA, G. O. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 55, n. 4, p. 288-296. 2012a. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.068>
- MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; NASCIMENTO, A. F.; CHAGAS, K.; PROCÓPIO, S. O.; ARAÚJO, R. S.; BONOMO, R.; TAUFNER, G. A. Seleção de espécies tolerantes ao herbicida sulfentrazone com potencial para a fitorremediação de solos contaminados. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2199-2214. 2012b. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2199>
- MADALÃO, J. C.; SOUZA, M. F.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; JAKELAITIS, A.; PEREIRA, G. A. M. Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 2, p. 292-299, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.526>
- MARTINS, A. S.; VASCONCELOS, V. M.; PEREIRA-FILHO, E. R.; LANZA, M. R. V. Simultaneous degradation of diuron and hexazinone herbicides by photofenton: assessment of concentrations of H₂O₂ and Fe²⁺ by the response surface methodology. **Journal of Advanced Oxidation Technologies**, Terre Haute, v. 18, n. 1, p. 9-14, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1515/jaots-2015-0101>
- MONQUERO, P. A.; CÔRREA, M. C.; BARBOSA, L. N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HITARA, A. C. S. Selection of green manure species aiming at diclosulam phytoremediation. **Planta Daninha**, Viçosa, v.31, n.1, p. 127-135, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000100014>.
- NEWMAN, L. A.; REYNOLDS, C. M. Phytodegradation of organic compounds. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 15, n. 3, p. 225-230, 2004. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2004.04.006>
- 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 tebuthiuron utilizando espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.4, p.711-717. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000400020>
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Grafmarke, 2011. 697 p.
- SANDERMANN, H. Higher plant metabolism of xenobiotics: the 'green liver' concept. **Pharmacogenetics**, Londres, v.4, n.5, p.225-241, 1994.
- SANTOS, E. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. A. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 259-265, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582007000200004>
- SANTOS, N. M. C.; COSTA, V. A. M.; ARAÚJO, F. V.; ALENCAR, B. T. B.; RIBEIRO, V. H. V.; OKUMURA, F.; SIMEONE, M. L. F.; SANTOS, J. B. Phytoremediation of Brazilian tree species in soils contaminated by herbicides. **Environmental Science and Pollution Research**. Bethesda, v. 25, n. 27, p. 27561-27568. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-2798-0>
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL – SINDIVEG. **Banco de dados**. Disponível em: <http://sindiveg.org.br/consumo-de-produtos-fitossanitarios-no-brasil/>. Acesso em: 10 jan 2017.
- WARNE, M. S. J.; KING, O.; SMITH, R. A. Ecotoxicity thresholds for ametryn, diuron, hexazinone and simazine in fresh and marine Waters. **Environmental Science and Pollution Research International**, Landsberg, v. 25, n. 4, p. 3151-3169, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-1097-5>
- YADU, B.; CHANDRAKAR, V.; MEENA, R. K.; KESHAYKANT, S. Glicinebetaine reduces oxidative injury and enhances fluoride stress tolerance via improving antioxidant enzymes, proline and genomic template stability in *Cajanus cajan* L. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 111, p. 68-75, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.023>