UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI – UFVJM

RENAN RODRIGUES BRAGA

CRESCIMENTO DE *Brachiaria brizantha* E SEU POTENCIAL PARA REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM EM TRÊS VALORES DE pH

DIAMANTINA - MG
2013

RENAN RODRIGUES BRAGA

CRESCIMENTO DE *Brachiaria brizantha* E SEU POTENCIAL PARA REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM EM TRÊS VALORES DE pH

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador: Prof. Dr. José Barbosa dos Santos

DIAMANTINA - MG
2013

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária Viviane Pedrosa
CRB6-2641

B813c Braga, Renan Rodrigues
2013 Crescimento de *Brachiaria brizantha* e seu potencial para remediação de solo contaminado com picloram em três valores de pH. – Diamantina: UFVJM, 2013.
31 f.

Orientador: José Barbosa dos Santos

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

1. Acidez do solo 2. Calcário 3. Herbicida I. Título.

CDD 633.2

RENAN RODRIGUES BRAGA

CRESCIMENTO DE *Brachiaria brizantha* E SEU POTENCIAL PARA REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM EM TRÊS VALORES DE pH

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 22 de março de 2013

Prof. Dr. IgnacioAspiazú – Unimontes
Membro

Prof. Dr. Evander Alves Ferreira – UFVJM
Membro

Prof. Dr. José Barbosa dos Santos – UFVJM
Presidente

DIAMANTINA - MG
2013

OFEREÇO

Aos meus pais, Afonso e Silvania, ao meu irmão Henrique, aos caros prof. Dr. José Barbosa dos Santos e prof. Dr. Evander Alves Ferreira pela oportunidade e pelo apoio crucial para o desenvolvimento deste trabalho, e a todos os familiares e amigos, que sempre me apoiaram.

DEDICO

A Deus e todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde e sabedoria para a conclusão de mais essa etapa da minha vida.

Ao meu pai e minha mãe, minha força e minha luz, que sempre torceram pela minha vitória sem medir esforços para que isso acontecesse.

Ao meu irmão Henrique pelo carinho e incentivo.

A todos os meus familiares, em especial toda família da minha mãe no Mato Grosso, a minha avó Alda, ao tios e primos da parte de meu pai e a Fatinha que é parte da família, pelo incentivo.

Ao meu avô Chico e Tia Graciana, que me abrigaram quando precisei.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro na execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de Bolsa de Estudo.

Ao professor Dr. José Barbosa dos Santos, pela amizade, orientação e confiança, e pelos valiosos ensinamentos profissionais e pessoais.

Ao Dr. Evander Alves Ferreira pela orientação, confiança e companheirismo durante todo período do mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos durante as disciplinas cursadas.

Aos acadêmicos do curso de Produção Vegetal pelo companheirismo, confiança e amizade demonstrados ao longo dos anos.

Aos companheiros de república, em especial a Fernando Higino, Silvio Marcelo, Gustavo, Henrique, Douglas, Igor e Caique.

Agradeço a todos integrantes do grupo em Manejo Sustentável de Plantas Daninhas pelos maravilhosos anos de convivência e amizade. Sou muito grato pela ajuda de cada um de vocês e tenho muito orgulho de ter feito parte desse grupo. Em especial deixo meu muito obrigado a Camila, Maxwel, Sarah, Eliza, Michele (Mi), Letícia, Christiano, Evander, Valéria, Vinicius e Rebeca.

A todos meus amigos pelo companheirismo, confiança e amizade demonstrados ao longo dos anos. Em especial ao Gustavo (Gabiru), Maxwel, Valadão, Felipe (Fi), Evander, João Pedro, Eliza e Hugo por sempre se fazerem presentes comigo.

Às secretárias da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, pela ajuda nos momentos de dúvidas e atrasos, em especial a Adriana.

Aos colegas do curso, pelo constante apoio e consideração.

A quem torceu pela minha vitória.

Obrigado a todos!

RESUMO

BRAGA, R. R. **Crescimento de *Brachiaria brizantha* e seu potencial para remediação de solo contaminado com picloram em três valores de pH**. 2013. 33p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

O Brasil possui imensas áreas de pastagens e a espécie mais cultivada é a *Brachiaria brizantha*. O controle das plantas daninhas nestas áreas é realizado predominantemente pelo uso de herbicidas com longo período residual, destacando-se o picloram. Este é utilizado no controle de plantas daninhas de folhas largas perenes e tem sido intensamente pesquisado em função da alta meia vida nos solos, sendo sua persistência dependente do clima e atributos edáficos, como textura e pH. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento e o potencial remediador de *B. brizantha* em solo contaminado com picloram em diferentes níveis de pH. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e com faixa de pH variando entre 4,5 e 5,6. Cultivou-se a forrageira até a floração, quando se determinou a massa da matéria seca dos componentes da planta e posteriormente, cultivou-se plantas de pepino como indicadores da presença do herbicida. O picloram causou redução no acúmulo da massa da matéria seca total das plantas de *B. brizantha*, em consequência do efeito negativo sobre a produção de raízes, independente do pH do solo. Nas folhas o herbicida promoveu redução na massa da matéria seca em solo com maior pH. Nos tratamentos com maior valor de pH, na profundidade de 35 cm, constatou-se maior acúmulo de massa da matéria seca de raízes quando não se aplicou o herbicida, indicando que em solos menos ácidos o herbicida tende a prejudicar o desenvolvimento de raízes da forrageira em maiores profundidades. A *B. brizantha* reduziu a concentração de picloram na camada superficial de solo, o que pode ser atribuído a sua capacidade de degradar o herbicida e também ao fato desta absorver e exsudar o herbicida ao longo das camadas de solo. Observou-se também que em solos com maiores valores de pH o herbicida tem maior potencial de lixiviação, principalmente quando não cultivado com *B. brizantha*. Solos com menores valores de pH tendem à maior sorção do herbicida, e consequentemente, a maior concentração do mesmo em camadas intermediárias. Pode-se concluir que altas concentrações de picloram no solo são nocivas ao crescimento da *B. brizantha*, principalmente sob condições de solos

menos ácidos e esta forrageira pode ser usada para remediação de solos contaminados por picloram e na prevenção de sua lixiviação, que é maior em solos tratados com calcário.

Palavras-Chave: acidez do solo, calcário, herbicida

ABSTRACT

BRAGA, R. R. **Development *Brachiaria brizantha* and its potential for remediation of soil contaminated with picloram at three pH levels**. 2013. 33p. Dissertation (Masters in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Diamantina, 2013.

Brazil has vast areas of pasture and the specie most widely cultivated is *Brachiaria brizantha*. The weed control in these areas is carried out predominantly using herbicides of long residual period, highlighting the picloram. This herbicide is used for weed control broadleaf evergreen and has been intensively investigated due to the high half-life in soil, and their persistence dependent on climate and soil attributes such as texture and pH. The aim of this work was to evaluate the development and potential remediation of *B. brizantha* in soil contaminated with picloram at different pH levels. The experimental design was a randomized block with four replications and pH among 4.5 and 5.6. The forage was grown up to flowering, when determined the dry weight of the plant components and subsequently were cultivated cucumber plants such as bioindicators of presence of the herbicide. The picloram caused reduction of total dry matter accumulation of *B. brizantha*, consequently to negative effect on root production, regardless soil pH. The herbicide caused a reduction of leaf dry matter on plants cultivated in higher soil pH. In treatments of high pH value at a depth of 35 cm, there was greater accumulation of dry matter of roots when the herbicide was not applied, indicating that in less acid soils the herbicide tends to hinder the development of grass root at greater depths. *B. brizantha* reduced picloram concentration in the soil shallow layer, which can be attributed to its ability of degrade the herbicide, and also by fact of absorption and exudation herbicide along the soil layers. In higher pH soils also observed that the herbicide has higher potential for leaching, mainly when not cultivated *B. brizantha*. Soils with lower pH values tend to greater sorption of the herbicide, and consequently, a higher concentration of the same in the intermediate layers. Concluded that high concentrations of picloram in the soil are harmful to the growth of *B. brizantha*, mainly under conditions of soils less acidic and this forage can be used for remediation of soils contaminated by picloram and preventing leaching, which is greater in soils treated with lime.

Keywords: soil acidity, lime, herbicide

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I. Pág.

Tabela 1 Massa da matéria seca (g) dos componentes das plantas de *Brachiaria brizantha* sob influência de solo contaminado pelo herbicida picloram..... 8
Tabela 2 Massa da matéria seca (g) de folhas de *Brachiaria brizantha* após a aplicação do herbicida picloram em solo com diferentes valores de pH.... 10

ARTIGO CIENTÍFICO II. Pág.

Tabela 1 Escala de sintomas de intoxicação provocados pelo picloram em plantas de pepino (*Cucumis sativus*)..... 20
Tabela 2 Indice de intoxicação visual (%) de plantas de pepino cultivadas em solo com pH de 4,5 tratado com picloram..... 21
Tabela 3 Indice de intoxicação visual (%) de plantas de pepino cultivadas em solo com pH de 5,6 tratado com picloram..... 22

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I. Pág.

Figura 1 Acúmulo de massa da matéria seca de raízes de Brachiaria brizantha em função da profundidade em solo com pH de 4,5, 5,1 e 5,6. Fatores significativos a 5%..... 11

ARTIGO CIENTÍFICO II. Pág.

Figura 1 Percentual de intoxicação visual de plantas de pepino em função da profundidade de avaliação em solo com pH de 4,5, 5,1 e 5,6. A – Solo com Brachiaria brizantha e aplicação de 120 g ha-1 de picloram; B - Solo com B. brizantha e aplicação de 240 g ha-1 de picloram; C - Solo sem B. brizantha e aplicação de 120 g ha-1 de picloram; D - Solo sem B. brizantha e aplicação de 240 g ha-1 de picloram. * Fatores significativo a 5%..... 24
Figura 2 Curva de dose-resposta relativa ao bioensáio com a planta de pepino..... 26

SUMÁRIO

Pág.
RESUMO..... i
ABSTRACT..... iii
LISTA DE TABELAS..... v
LISTA DE FIGURAS..... vi
INTRODUÇÃO GERAL..... 1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 3
ARTIGO CIENTÍFICO I. Desempenho de *Brachiaria brizantha* submetida a solo contaminado com picloram em diferentes valores de pH..... 4
1 Resumo..... 4
2 Abstract..... 4
3 Introdução..... 5
4 Material e Métodos..... 6
5 Resultados e Discussão..... 8
6 Literatura Citada..... 13
ARTIGO CIENTÍFICO II. Fitorremediação e lixiviação de picloram em solo cultivado com *Brachiaria brizantha* em diferentes valores de pH..... 17
1 Resumo..... 17
2 Abstract..... 17
3 Introdução..... 18
4 Material e Métodos..... 19
5 Resultados e Discussão..... 22
6 Literatura Citada..... 28
CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 32
ANEXO..... 33

INTRODUÇÃO GERAL

A biorremediação é a utilização de um processo ou atividade biológica fundamentada na transformação de contaminantes em substâncias inertes (Hollingeret al., 1997). Esta tecnologia se ramifica em bioaumentação, bioestimulação, fitorremediação e "landfarming". Destas, a fitorremediação se destaca pela possibilidade de aliar a descontaminação ambiental ao cultivo de espécies de interesse econômico. A técnica é definida como o emprego de plantas, sua microbiota associada e de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (Accioly & Siqueira, 2000).

A fitorremediação aplicada a ambientes com resíduos de herbicidas se torna ainda mais complexa, pois se baseia no uso de plantas para remediar água e, ou solo contaminados por moléculas desenvolvidas para controlar plantas. Assim, utilização da fitorremediação para herbicidas é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação (Pires et al., 2003).

No setor da pecuária, em que se empregam pastagens extensivas para a criação do rebanho, os herbicidas do grupo dos hormonais têm sido os únicos usados. Esses produtos apresentam elevada persistência no solo, pois têm de promover efeito de controle das plantas daninhas por longos períodos (Santos et al., 2006). As principais moléculas usadas têm sido o 2,4-D e o picloram, que compõem quase todas as formulações comerciais indicadas para pastagens (MAPA, 2013).

O herbicida picloram é normalmente utilizado em pós-emergência das plantas daninhas, sobretudo de dicotiledôneas arbustivas ou arbóreas (Pinho et al., 2007). Em relação aos demais herbicidas registrados para uso em pastagens e lavouras no Brasil, o picloram apresenta um dos maiores períodos de atividade residual em solos, impedindo de curto a médio prazo, o cultivo de várias espécies agrícolas (Santos et al., 2006). Sabe-se, também, que quanto mais tempo o herbicida permanece no solo, maior o risco de lixiviação e consequente contaminação de lençóis freáticos (Bovey & Richardson, 1991).

Segundo Silva et al. (2007) o processo de lixiviação refere-se ao movimento descendente dos herbicidas na matriz do solo em decorrência do fluxo de água. Sua intensidade depende das interações de características físico-químicas do produto, do

solo e do clima. Assim, estudos têm sido realizados com o objetivo de compreender o comportamento de herbicidas no solo (Pang et al., 2000; Carrizosa et al., 2004). No entanto, pouco se sabe a respeito do comportamento desses xenobióticos em solos tropicais (Inoue at al., 2002 e 2003). Portanto, estudos dos solos tropicais, envolvendo características como a presença de cargas dependentes de pH, minerais de argila 1:1 (óxidos de ferro e alumínio), matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e o destino dos herbicidas no ambiente, necessitam ser implementados.

A hipótese desta pesquisa é de que há variação na capacidade da espécie *Brachiaria brizantha* em remediar solo contaminados por picloram em função da acidez e que a adsorção do herbicida no solo é variável com o pH e com o cultivo da forrageira. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento e o potencial remediador de *B. brizantha* em solo contaminado com picloram em diferentes níveis de pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.

BOVEY, R. W.; RICHARDSON, C. W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the blacklands of Texas. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, p. 528-531, 1991.

CARRIZOSA, M. J. et al. Interactions of acid herbicides bentazon and dicamba with organoclays. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, n. 6, p. 1863-1866, 2004.

HOLLIGER, C. et al. Contaminated environmental in thesubsurface and bioremediation: organic contaminants. **FEMS Microbiology Review**, v. 20, n. 4, p. 517-523, 1997.

INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 312-323, 2003.

MINISTERIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponivel em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 05 de mar. de 2013.

PANG, L. P. et al. Simulation of picloram, atrazine and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. **J. Contam. Hydrol.**, v. 44, n. 1, p. 19-46, 2000.

PINHO, A. P. et al. Atrazine and picloram adsorption in organic horizon forest samples under laboratory conditions. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 125-131, 2007.

PIRES, F.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 391-398, 2006.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 83-148.

ARTIGO CIENTÍFICO I: DESEMPENHO DE *Brachiaria brizantha* SUBMETIDA A SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM EM DIFERENTES VALORES DE pH

*Performance **Brachiaria brizantha** subjected a soil contaminated with picloram at different pH values*

RESUMO – O Brasil possui imensas áreas de pastagens e a espécie mais cultivada é a *Brachiaria brizantha*. O controle das plantas daninhas nestas áreas é realizado predominantemente pelo uso de herbicidas com longo período residual, destacando-se o picloram. Objetivou-se com este trabalho conhecer os efeitos do picloram no desenvolvimento de *B. brizantha* em solos com diferentes valores de pH. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com faixa de pH variando entre 4,5 e 5,6 e com quatro repetições. Cultivou-se a forrageira até a floração, quando se determinou a massa da matéria seca dos componentes da planta. O picloram causou redução no acúmulo da massa da matéria seca de raízes e massa da matéria seca total independente do pH do solo. Com relação as folhas constatou-se redução no acúmulo de massa da matéria seca em solo com maior pH e com aplicação do herbicida. Nos tratamentos com aplicação de calcário, na profundidade de 35 cm, constatou-se maior acúmulo de massa da matéria seca de raízes quando não se aplicou o herbicida, indicando que em solos com maior pH o herbicida tende a afetar o desenvolvimento de raízes da forrageira em maiores profundidades. Pode-se concluir que altas concentrações de picloram são nocivas ao crescimento desta forrageira, principalmente sob condições de solos menos ácidos.

Palavras-chave: calcário, herbicida, acidez do solo

ABSTRACT - Brazil has vast areas of pasture and is species most widely cultivated is Brachiaria brizantha. The weed control in these areas is carried out predominantly using herbicides of long residual period, highlighting the picloram. The aim of this work was to understand the effects of picloram in development of B. brizantha in soils with different pH values. The experimental design was randomized blocks, with a pH among 4.5 and 5.6, and four replications. The pasture specie was cultivated up to flowering, when it determined the dry weight of the plant components. The picloram

caused a reduction in the accumulation of root and total dry matter regardless soil pH. Furthermore, a reduction in the accumulation of leaf dry matter also was observed in in plant cultivated on soil of higher pH and herbicide application. In the treatments of liming, at depth of 35 cm, there was greater accumulation of root dry matter when the herbicide was not applied; indicating that in soils of greater pH the herbicide tends to affect the development of grass root at bigger depths. Higher concentrations of picloram may be harmful to the growth of this pasture, particularly under conditions of soil less acidic.

Keywords: *limestone, herbicides, soil acidity*

INTRODUÇÃO

O Brasil possui mais de 200 milhões de hectares de pastagens (Benett, 2008), sendo mais de 50% considerados pastagens cultivadas (Rosendo & Rosa, 2012). E estes números vêm crescendo a cada ano, principalmente em regiões com intenso desmatamento, como no Norte do país (Dias Filho, 2011). O grande destaque nacional são as espécies do gênero *Brachiaria*, sendo que somente no cerrado estima-se o cultivo de 40 milhões de hectares (Benett, 2008). No Brasil anualmente são semeados 5,5 milhões de hectares, e a espécie *B. brizantha* representa 80 % das vendas de sementes (Zimmer & Euclides, 2000).

Áreas implantadas com pastagem frequentemente apresentam problemas com plantas daninhas, principalmente áreas recém desmatadas. As plantas daninhas de maior importância presentes nestas áreas são predominantemente dicotiledôneas e muitas destas apresentam grande capacidade de rebrota. Existem ainda as espécies tóxicas que respondem em média anual 14% de mortalidade de animais no pais (Karam et al., 2004). Assim, métodos muito utilizados no passado como a capina, a roçada ou mesmo o fogo se tornam ineficientes em longo prazo. Os pecuaristas têm buscado auxilio em outros métodos de controle, destacando-se o químico, devido à eficiência, rapidez de operação e economia de custos (Jakelaitis et al., 2005).

Entre os herbicidas registrados para pastagens, aqueles do grupo dos mimetizadores de auxina têm maior destaque, sendo que o picloram e o 2,4-D são os mais utilizados, seja de forma única ou em conjunto com outros, como fluroxypyr e triclopyr (Silva et al., 2005). O picloram se diferencia dos demais devido à sua longa

persistência no solo, sendo sua meia-vida estimada em até 151 dias (Silva et al., 2012), porém pode ser detectado no solo até três anos após a aplicação em área total (Deubert & Corte-Real, 1986; WSSA, 1994). Devido a este fator e a seu frequente e intenso uso, este herbicida pode se acumular no solo ocasionando problemas ambientais e até mesmo reduzindo a produtividade de culturas posteriormente cultivadas.

O conhecimento da dinâmica dos herbicidas no solo, principalmente daqueles com longo efeito residual, é importante para predizer seu dano sobre o meio ambiente, seja a contaminação *in situ* ou o transporte destas moléculas para o lençol freático por lixiviação, ou mesmo para conhecer o tempo em que este herbicida terá efeito sobre a germinação de plantas daninhas.

O comportamento das moléculas químicas no solo é dependente de três processos: retenção, transformação e, ou transporte (Weber & Miller, 1989). Dentre as características pertinentes ao solo, pode-se destacar o pH, a matéria orgânica, a textura e mineralogia, a temperatura e a umidade (Silva et al., 2007). Devido ao grande número de fatores envolvidos é difícil predizer o tempo exato para dissipação das moléculas (Oliveira Jr et al., 2001). Os solos brasileiros normalmente têm valores de pH entre 4 a 6,5 e nestas condições o herbicida picloram se comporta como um ácido fraco (pKa 2,3), e a maioria de suas moléculas se encontra na forma aniônica (Oliveira Jr. et al., 2001).

A partir do descrito acima, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de *B. brizantha* em solo contaminado com picloram e em diferentes condições quanto a seus valores de pH.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido no departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, durante o período de janeiro a julho de 2012. Foi utilizada uma amostra de um Latossolo Vermelho proveniente da região de Diamantina-MG, caracterizado como franco argiloso arenosa com 23, 12 e 65% de argila e silte e areia, respectivamente. A análise química apresentou o seguinte resultado: pH (água) de 4,4; teor de matéria orgânica de 8,7 dag kg^{-1}; P e K de 3,0 e 39 mg dm^{-3}, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e $CTC_{efetiva}$ de 1,1; 0,3; 1,4; 15,7 e 2,9 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente. Para adequação do substrato quanto à nutrição, foram aplicados 2,7 g dm^{-3} da formulação 4-14-8 (N-P_2O_5-

K_2O). A adubação complementar nitrogenada em cobertura foi realizada após 15 dias da emergência da cultura, na dose de 100,0 mg dm^{-3} de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram realizadas diariamente para manter o solo nos vasos com umidade próxima à 80% capacidade de campo.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Para avaliação da massa da matéria seca de raiz, de parte aérea e total foi adotado esquema fatorial em 3x3, sendo três doses de herbicida (0, 120 e 240 g ha^{-1} de picloram na formulação comercial Padron®) e três valores de pH do solo (4,5; 5,1 e 5,6). Para avaliação do desenvolvimento de raízes em profundidade, adotou-se esquema de parcelas subsubdivididas em arranjo 3x3x4; considerando como o primeiro nível os diferentes valores de pH do solo (4,5; 5,1 e 5,6), segundo nível as doses do herbicida (0, 120 e 240 g ha^{-1} de picloram na formulação comercial Padron®) e como terceiro nível as profundidades avaliadas (0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm). Para adequar o solo aos valores requeridos de pH, na primeira amostra não se promoveu a correção, no segundo e terceiro aplicou-se o equivalente a 2,6 e 5,2 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT = 80%), respectivamente. Os três substratos para os ensaios foram umedecidos e incubados por 40 dias para reação do corretivo.

As unidades experimentais foram compostas de cano de PVC revestidas internamente com parafina, a fim de evitar a perda da água pelas paredes das colunas, sendo quatro anéis com 10 cm, totalizando 40 cm de altura, e 15 cm de diâmetro, e a extremidade basal (fundo) foi fechada por gaze e papel-filtro e apoiada sobre pratos para evitar a perda de água e herbicida por lixiviação. Após o preparo das colunas estas foram irrigadas e o herbicida picloram foi aplicado utilizando-se um pulverizador com pressão constante de 3 bar, acoplado a uma barra com duas pontas tipo leque TT11002 e o volume de calda foi de 150 L ha^{-1}.

Um dia após a aplicação do herbicida semeou-se seis sementes de *Brachiaria brizantha* por coluna e posteriormente foi realizado o desbaste deixando-se duas plantas por coluna de PVC. As plantas foram cultivadas até a floração, que ocorreu aos 60 dias após emergência, sendo então coletadas e o material vegetal lavado e seco em estufa com circulação forçada de ar, a 65 ºC, até atingir peso constante, para determinação da massa da matéria seca das folhas, caules e raízes. Para as raízes, os anéis da coluna foram separados, retirando-se as camadas de solo, juntamente com as frações de raízes para determinação da massa da matéria seca por profundidade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias que apresentaram diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para o fator profundidade de raízes procedeu-se análise de regressão linear e as escolhas foram baseadas no comportamento biológico do fenômeno, na significância dos coeficientes ($p<0.05$) e no coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento da *Brachiaria brizantha* foi afetado pela aplicação do herbicida picloram, sendo que, para massa da matéria seca de raízes (MSR) e massa da matéria seca total (MST) não houve interação significativa entre a aplicação do herbicida e o pH do solo. Porém o crescimento de raízes foi afetado negativamente pela presença do produto. Observou-se também maior MST no tratamento ausente de herbicida quando comparado ao tratamento com aplicação da dose comercial (Tabela 1). Assim, embora o picloram seja registrado para esta cultura com aplicação em área total (MAPA, 2013), deve-se observar a possibilidade de intoxicação, provavelmente em função da aplicação em pré-emergência e estádio de desenvolvimento das plantas. Belo et al. (2011) não observaram diferença na MST desta espécie sob influência deste herbicida, porém esses autores trabalharam com amostras de solo com baixo pH e as doses de herbicida aplicadas foram abaixo do recomendado para algumas plantas. Isto pode ter influenciado na disponibilidade do herbicida para a forrageira, tendo em vista que o pH afeta o estado de ionização do herbicida.

Tabela 1 – Massa da matéria seca (g) dos componentes das plantas de *Brachiaria brizantha* sob influência de solo contaminado pelo herbicida picloram.

Picloram (g ha^{-1})	**0**	**120**	**240**	**CV (%)**
Massa da matéria seca de folha	44,18 A	46,39 A	44,34 A	6,75
Massa da matéria seca de raiz	100,84 A	86,89 B	85,81 B	14,69
Massa da matéria seca total	145,02 A	133,29 AB	130,15 B	9,95

Medias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV – coeficiente de variação.

Embora os danos causados pelo herbicida à forrageira não fossem esperados devido ao seu registro para esta cultura e ao longo período de uso no campo sem relatos de problemas. A redução no crescimento desta forrageira em solo contaminado pode ser

explicada pela aplicação em pré-emergência, com base no mecanismo de ação e de seletividade de herbicidas auxínicos. Uma forma de seletividade está relacionada ao estádio de desenvolvimento da planta, sendo que para a maioria das plantas quanto mais velha, mais tolerante esta se torna (Dan et al., 2010; Silva et al., 2007). Outro método de seletividade, restrito as monocotiledôneas, é o arranjo do tecido vascular em feixes com cobertura do esclerênquima, permitindo proteção contra a destruição do floema, enquanto em plantas sensíveis é liberada grande quantidade enzimas celulases que destroem a parede celular, alongando as células e causando o entupimento do floema (Mercier, 2004; Machado et al., 2006), causando redução na translocação de água e fotoassimilados (Belo et al., 2011). Porem após a germinação da semente e durante o desenvolvimento inicial o tecido vascular ainda não está completamente desenvolvido e enrijecido para promover a devida proteção à forrageira. A exsudação radicular, que é a capacidade da planta em excretar substâncias pela raiz (Silva et al., 2007), é muito eficaz em situações de campo, mas experimentalmente com o ambiente para crescimento de raízes limitado pelos vasos se torna ineficaz, pois quando o herbicida é exsudado este permanece no sistema para novamente ser absorvido pela planta. Por fim a planta pode ser capaz de metabolizar o herbicida, transformando-o em outras moléculas menos tóxicas.

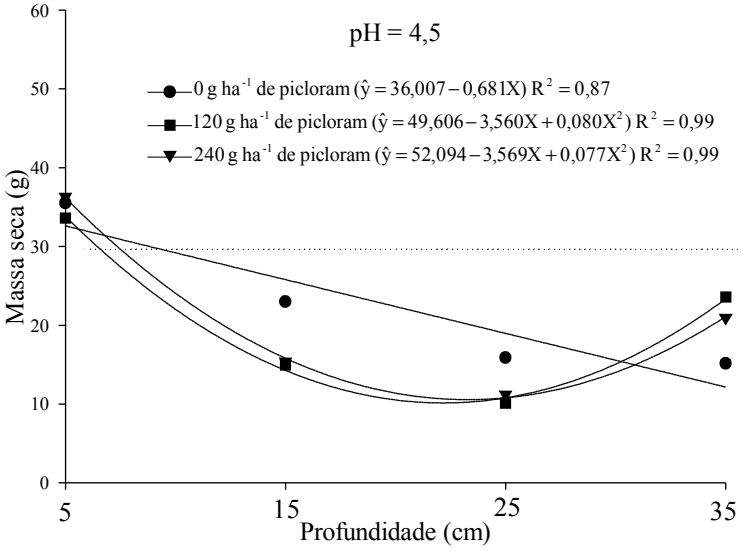
Constatou-se interação significativa entre as doses do herbicida e o pH do solo para a massa da matéria seca de folhas (MSF), ocorrendo redução no acúmulo desta variável em solo com maior pH ao se aplicar a dose comercial do herbicida (240 g ha^{-1}). E ainda observou-se que sob efeito da maior dose do picloram as plantas que cresceram sob pH de 5,6 apresentaram menor desenvolvimento quando comparadas às plantas sob pH de 4,5 (Tabela 2). Estes resultados indicam que, em solos contaminados com picloram e que recebem aplicação de calcário para correção da acidez, a redução na produção de folhas pode ocorrer, diminuindo assim a produtividade da forrageira e, consequentemente, o lucro do agricultor. Por outro lado, mesmo os menores valores de massa da matéria seca obtidos (40g), correspondem a estimativa de 22 toneladas por hectare (considerando área ocupada pela planta nas colunas), o que é considerado padrão razoável de produção (Costa et al., 2007).

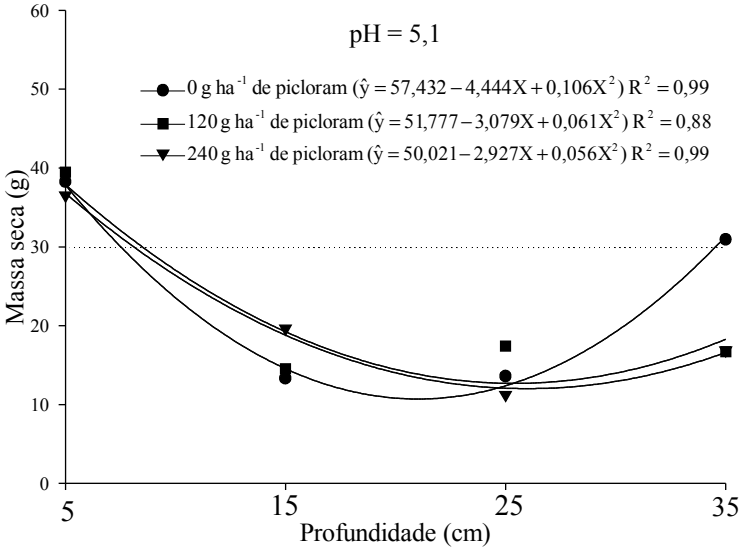
Tabela 2 – Massa da matéria seca (g) de folhas de *Brachiaria brizantha* após a aplicação do herbicida picloram em solo com diferentes valores de pH.

Picloram (g ha^{-1})	**pH do solo**		
	4,5	**5,1**	**5,6**
0	45,61 Aa	41,12 Aa	45,81 Aa
120	48,84 Aa	43,68 Aa	46,66 Aa
240	48,30 Aa	44,98 ABa	39,76 Bb
CV (%)		6,75	

Medias seguidas pela mesma letra na linha (maiúscula) e pela mesma letra na coluna (minúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV – coeficiente de variação.

No desenvolvimento de raízes da forrageira em profundidade observou-se maior MSR nos primeiros 5 cm com posterior decréscimo nas profundidades de 15 a 25 cm. Já na última profundidade avaliada, observou-se aumento na MSR, sendo ajustado um modelo de 2º grau com concavidade voltada para cima (Figura 1). Esse comportamento se deve à grande capacidade de crescimento em profundidade das raízes desta forrageira que em condições naturais podem ultrapassar 100 cm (Santos et al., 2007; Araújo et al., 2011), e devido a limitação física imposta pelo tamanho do recipiente escolhido para cultivo. Assim, a raiz apresentou crescimento horizontal acumulando-se na base do vaso. A exceção esta apresentada na figura 1, no tratamento ausente de aplicação de picloram, que apresentou uma regressão linear.


pH = 4,5
0 g ha-1 de picloram (ŷ = 36,007 − 0,681X) R2 = 0,87
120 g ha-1 de picloram (ŷ = 49,606 − 3,560X + 0,080X2) R2 = 0,99
240 g ha-1 de picloram (ŷ = 52,094 − 3,569X + 0,077X2) R2 = 0,99
Massa seca (g)
Profundidade (cm)
0
10
20
30
40
50
60
5
15
25
35


pH = 5,1
0 g ha-1 de picloram (ŷ = 57,432 − 4,444X + 0,106X2) R2 = 0,99
120 g ha-1 de picloram (ŷ = 51,777 − 3,079X + 0,061X2) R2 = 0,88
240 g ha-1 de picloram (ŷ = 50,021 − 2,927X + 0,056X2) R2 = 0,99
Massa seca (g)
Profundidade (cm)
0
10
20
30
40
50
60
5
15
25
35

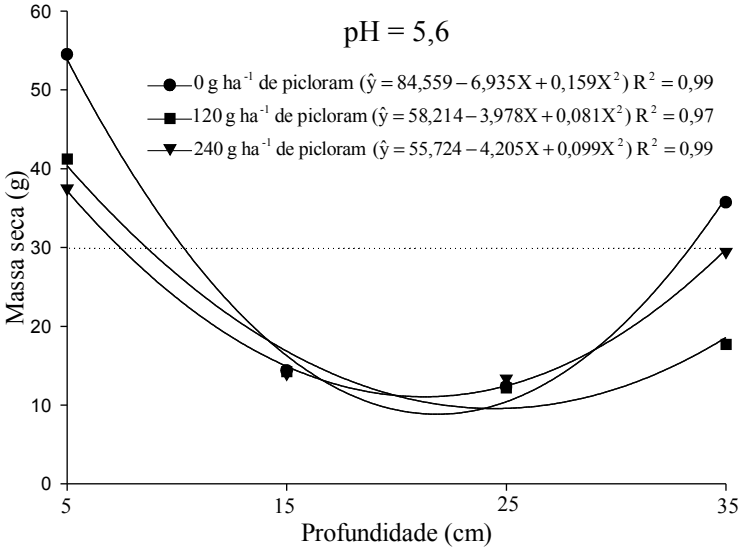


Figura 1 – Acúmulo de massa da matéria seca de raízes de *Brachiaria brizantha* em função da profundidade em solo com pH de 4,5, 5,1 e 5,6. Fatores significativos a 5%.

Ainda na figura 1 observa-se que os valores de MSR da forrageira na profundidade de 5 cm tendem a crescer de acordo com o aumento no pH do solo. Observou-se também que nos tratamentos ausentes de herbicida na profundidade de 35 cm ocorreu o mesmo comportamento. Isso indica que embora esta espécie seja bem adaptada a condições de solo ácido, a aplicação de calcário tende a melhorar o desenvolvimento e distribuição das raízes em maiores profundidades. Estes resultados estão de acordo com Volpe et al. (2008) e Oliveira et al. (2009), que avaliaram desenvolvimento do sistema radicular e também da parte aérea com maiores valores de massa da matéria seca após aplicação de calcário. Oliveira et al. (2000) reforçam estes resultados ao concluir que em solos mais ricos em matéria orgânica o calcário tem ainda mais influência no desenvolvimento desta forrageira, como é o caso da amostra de solo utilizada neste trabalho.

Quanto à aplicação do herbicida não foram constatadas grandes diferenças entre as duas doses aplicadas para a distribuição de raízes em profundidade (figura 1). A exceção foi no tratamento com maior dose de calcário, em que o tratamento com metade da dose do herbicida foi inferior aos outros. Este comportamento indica que mesmo em doses de picloram abaixo da recomendada para a forrageira, os efeitos danosos às raízes já são evidenciados.

Ao se comparar o crescimento das raízes de *B. brizantha* quanto à contaminação ou não do solo com picloram notou-se grande divergência. Sendo que no solo sem

aplicação de calcário houve redução o acúmulo de MSR à medida que se aumentou a profundidade no tratamento ausente de herbicida, enquanto na presença do herbicida observou-se acréscimo na MSR na profundidade de 35 cm (Figura 1).

Nos tratamentos com aplicação de calcário na profundidade de 35 cm houve maior acúmulo de MSR na ausência do herbicida. O mesmo foi observado na profundidade de 5 cm no tratamento com maior pH do solo (Figura 1). Estes resultados indicam que em solos com maior pH, o herbicida tende a afetar o desenvolvimento de raízes da forrageira, principalmente nas regiões de maior concentração do produto e, ou maior profundidade. Tendo em vista que a mobilidade e disponibilidade do picloram no solo estão ligadas ao pH do mesmo, pois alterações no pH do solo modificam o estado de ionização das moléculas de herbicidas iônicos, influenciando a adsorção das moléculas aos coloides do solo (Silva et al., 2007) e consequentemente alterando a disponibilidade do herbicida às plantas (Bailey & White, 1970; Locke & Bryson, 1997). Assim, grande parte do herbicida permanece na camada superior do solo e outra parte lixivia para camadas mais profundas, sendo que ao se aplicar o corretivo do solo este se torna mais móvel e tende a maior porção na solução do solo, permanecendo disponível para as plantas.

Pode-se concluir que altas concentrações de picloram no solo são nocivas ao crescimento desta forrageira, reduzindo o seu acúmulo de massa da matéria seca, principalmente sob condições de solos menos ácidos. Em solos com aplicação de calcário, para correção da acidez, o efeito danoso do herbicida também ocorre no crescimento de raízes situadas em maiores profundidade, além de reduzir a produtividade da forrageira.

LITERATURA CITADA

ARAUJO, E. A. et al. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amaz.**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

BAILEY, G. W.; WHITE, J. L. Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soil. **Residue Rev.**, v. 32, n. 1, p. 29-92, 1970.

BELO, A. F. et al. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com picloram. **Planta Daninha**, v. 29, n. 4, p. 885-892, 2011.

BENETT, C. G. S. Produtividade e composição bromatológica do capim-marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciênc. agrotec.**, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008.

COSTA, K. A. P. at al. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Mg-5. **Ciênc. agrotec.**, v. 31, n. 4, p. 1197-1202, 2007.

DAN, H. A. et al. Tolerância do sorgo granífero ao 2,4-D aplicado em pós-emergência. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 785-792, 2010.

DEUBERT, K. H.; CORTE-REAL, I. Soil residues of picloram and triclopyr after selective foliar application on utility rights-of-way. **J. Arbor.**, v. 12, n. 11, p. 269-272, 1986.

DIAS FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, n. esp, p. 243-252, 2011.

JAKELAITIS, A. et al. Efeitos de herbicidas no consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 69-78, 2005.

KARAM, F. S. C. et al. Aspectos epidemiológicos da seneciose na região sul do Rio Grande do Sul. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 24, n. 4, p. 191-198, 2004.

LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Sci.**, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.

MACHADO, R. F. et al. Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. **R. Bras. Sementes**, v. 28, n. 3, p. 151-160, 2006.

MERCIER, H. Auxinas. In: KERBAUY, G. B (Ed). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 217-249.

MINISTERIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponivel em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 05 de jan. de 2013.

OLIVEIRA, I. P. et al. Efeito da correção da fertilidade do solo no desenvolvimento da B*rachiaria brizantha* cv. marandu em Latossolo com diferentes históricos. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 30, n. 1, p. 57-64, 2000.

OLIVEIRA, I. P. et al. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciênc. agrotec.**, v. 33, n. 2, p. 592-598, 2009.

OLIVEIRA Jr., R. S. et al. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Res.**, v. 41, n. 2, p. 97-110, 2001.

ROSENDO, J. S., ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Soc. & Nat.**, v. 24, n. 2, p. 359-376, 2012.

SANTOS, R. S. M. et al. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria* spp. em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de cerrado. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 2, n. 37, p. 119-124, 2007.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.

SILVA, L. O. C. et al. Ação de *Eleusine coracana* na remediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 627-632, 2012.

VOLPE. E. et al. Renovação de pastagem degradada com calagem, adubação e leguminosa consorciada em Neossolo Quartzarênico. **Acta Sci. Agron.**, v. 30, n. 1, p. 131-138, 2008.

WEBER, J. B.; MILLER, C. T. Organic chemical movement over and through soil. In: SAWHNEY, B. L.; BROWN, D. (Eds.). **Reactions and movement of organic chemicals in soil**. Madison: SSSA, 1989. p. 305-334.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA – WSSA. **Herbicide handbook**. Champaign: 1994. 352 p.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, V. P. B. Importância das pastagens para o futuro da pecuária de corte no Brasil. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: temas em evidência, 2000, Lavras. **Anais...** Lavras: 2000. p. 1-49.

ARTIGO CIENTÍFICO II: FITORREMEDIAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DE PICLORAM EM SOLO CULTIVADO COM *Brachiaria brizantha* EM DIFERENTES VALORES DE pH

Accelerated degradation and leaching of picloram grown in soil with under ***Brachiaria brizantha*** *pH levels*

RESUMO – O herbicida picloram é utilizado em áreas de pastagens para o manejo de plantas daninhas de folhas largas perenes e tem sido intensamente pesquisado em função da alta concentração relativa nos solos. A duração da persistência deste herbicida varia com o clima, mas também com atributos do solo, como textura e pH. Assim, objetivou-se com este trabalho determinar a capacidade da espécie *Brachiaria brizantha* em remediar solos contaminados com resíduo de picloram em diferentes valores de pH. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A espécie biorremediadora foi cultivada por 60 dias e posteriormente cultivou-se plantas de pepino como indicadores da presença do herbicida no mesmo solo. A planta remediadora reduziu a concentração de picloram na camada superficial de solo, o que pode ser atribuído a sua capacidade de degradar o herbicida e também ao fato desta absorver e exsudar o herbicida ao longo das camadas de solo. Observou-se que em solos com maiores valores de pH, o herbicida tem maior potencial de lixiviação, principalmente quando não cultivado com *B. brizantha*, sendo que esta pode atuar impedindo sua lixiviação. Solos com menores valores de pH tendem à maior sorção do herbicida, e consequentemente, a maior concentração do mesmo em camadas intermediárias. Pode-se concluir que a *B. brizantha* pode ser usada para remediação de solos contaminados por picloram e na prevenção de sua lixiviação, que é maior em solos tratados com calcário.

Palavras chave: acidez do solo, calcário, herbicida

ABSTRACT – The picloram herbicide is used in pastures for weed control of broadleaf evergreen and has been intensively investigated due to the high relative concentration in soils. The soil persistence duration of this herbicide varies according to climate, but also soil attributes such as texture and pH. Thus, the aim of this work was to determine the ability of Brachiaria brizantha on soil remediation contaminated with picloram

residue at different pH values. The experimental design was a randomized block with four replications. The specie was cultivated for 60 days and subsequently cultured cucumber plants as indicators of the presence of herbicide on the same soil. The plant reduced the picloram concentration of the surface layer of soil, which can be attributed to its ability to degrade the herbicide, and also by fact of absorption and exudation herbicide along soil layers. It was observed that in higher pH soils, the herbicide has the greater potential for leaching, especially when non-cultured with B. Brizantha, and this can be affected preventing its leaching. Lower values of soil pH tend to greater sorption of the herbicide, and consequently, a higher concentration of the same in the intermediate layers. B. brizantha can be used for remediation of soils contaminated by picloram and preventing leaching, which is larger in soils treated with lime.

Keywords: *soil acidity, lime, herbicide*

INTRODUÇÃO

No setor da pecuária, em que se empregam pastagens para a criação do rebanho, os herbicidas do grupo dos hormonais têm sido os únicos usados. Esses produtos apresentam elevada persistência no ambiente, pois têm de promover efeito de controle das plantas daninhas por períodos mais longos que outros defensivos usados na agricultura (Santos et al., 2006).

Os principais produtos usados para controle das plantas daninhas em pastagens têm como ingredientes ativos herbicidas o 2,4-D e picloram, que compõem a maioria das formulações registradas para pastagens (MAPA, 2013). O herbicida picloram destaca-se pelo período mais longo de atividade residual em solos, impedindo de curto a médio prazo o cultivo de várias espécies agrícolas (Santos et al., 2006). Esta molécula vem sendo intensamente estudada em trabalhos de ecotoxicologia (Botelho et al, 2009) e fitorremediação (Belo et al., 2011; Carmo et al., 2008; D'Antonino et al., 2009, Assis et al. 2010a; Assis et al., 2010b; D'antonino et al., 2012), caracterizando-se por apresentar elevada persistência no ambiente pela retenção no solo (Berisford et al., 2006; Santos et al., 2006). Contudo, em algumas situações pode apresentar baixa sorção que, associada à alta solubilidade em água, caracteriza elevado potencial de lixiviação, podendo atingir aquíferos subterrâneos (Close et al., 2003).

Para a recuperação de áreas contaminadas por herbicidas, consta na literatura vários artifícios, tais como escavação, incineração, extração com solvente, oxido-redução e outros bastante onerosos (Accioly & Siqueira, 2000), portanto de difícil empregabilidade prática. Alguns processos contam com o tratamento da matéria contaminada fora do local de origem, acarretando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento (Cunningham et al., 1996). Assim outra linha de aplicação recomenda métodos *in situ* que alteram menos o ambiente e sejam mais econômicos. Neste processo a fitorremediação ganha destaque, pois se vale de sistemas vegetais com o intuito de desintoxicar ambientes degradados e, ou poluídos. Admitindo-se diversos resultados obtidos como pertencentes à pesquisa básica, ainda se encontram diversas lacunas no conhecimento desta técnica, necessitando informações mais especificas para que a tecnologia seja reconhecida e amplamente utilizada.

Devido à necessidade de uso racional dos insumos agrícolas para minimizar os impactos ambientais da agricultura, estudos têm sido realizados com o objetivo de compreender o comportamento de herbicidas no solo (Pang et al., 2000; Carrizosa et al., 2004). No entanto, pouco se sabe a respeito do comportamento desses xenobióticos em solos tropicais (Inoue et al., 2002, 2003). Portanto, estudos envolvendo características como a presença de cargas dependentes de pH, minerais de argila, matéria orgânica, CTC e o destino dos herbicidas no ambiente são extremamente necessários.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar o potencial da espécie *Brachiaria brizantha* na remediação de solos contaminados pelo picloram em diferentes níveis de pH e ainda determinar o potencial de lixiviação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em casa-de-vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. Utilizou-se amostra de um Latossolo Vermelho proveniente da região de Diamantina-MG caracterizado como franco argiloso arenosa com 23, 12 e 65% de argila e silte e areia, respectivamente. E apresentou o seguinte resultado da análise química: pH (água) de 4,5; teor de matéria orgânica de 8,7 dag kg^{-1}; P e K de 3,0 e 39 mg dm^{-3}, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e $CTC_{efetiva}$ de 1,1; 0,3; 1,4; 15,7 e 2,9 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente. No primeiro não foi realizada correção da acidez do solo e nos outros dois aplicou-se o equivalente a 2,6 e 5,2 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT = 80%). As

três amostras de solo foram umedecidas e incubadas por 40 dias para reação do corretivo.

Os substratos receberam adubação de 2,7 g dm^{-3} da formulação 4-14-8 (N-P_2O_5-K_2O) e, para complementar, procedeu-se com a cobertura nitrogenada aos 15 dias após a emergência da cultura, na dose de 100,0 mg dm^{-3} de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram realizadas diariamente para manter o solo nos vasos com umidade próxima a 80% capacidade de campo.

Na realização dos experimentos os ensaios foram divididos em duas etapas, na primeira, se testou a biorremediação e na segunda, detectou-se as concentrações de picloram por meio da bioindicação. Em ambos os ensaio adotou-se delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em parcelas subsubdivididas, em esquema 2x2x4, permanecendo em primeiro nível a presença ou não de *Brachiaria brizantha*, no segundo nível as doses do herbicida (120 e 240 g ha^{-1} de picloram na formulação Padron®) e no último nível as profundidades avaliadas (0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm).

O recipiente utilizado para cultivo foi composto por quatro anéis com 100 mm de altura e 150 mm de diâmetro em cano de PVC revestidas internamente com parafina, a fim de evitar a percolação da água pelas paredes das colunas. Estes foram devidamente montados, sendo uma das extremidades (fundo) fechada por gaze e papel-filtro e apoiada sobre pratos para evitar a perda de água e de herbicida por lixiviação. Após o preparo das colunas, estas foram umedecidas e o herbicida foi aplicado utilizando-se um pulverizador com pressão constante, acoplado a uma barra com um bico tipo leque TT11002, pressão de 3 bar, com volume de calda de 150 L ha^{-1}.

A *B. brizantha*, planta usada como remediadora, foi semeada um dia após aplicação do herbicida (seis sementes por coluna), com posterior desbaste, permanecendo apenas duas plantas por parcela. As plantas foram cultivadas até 60 dias após emergência, período de início da floração da forrageira. Posteriormente prepararam-se os anéis da coluna, retirando as camadas de solo individualmente, sendo as raízes retiradas do solo, e este foi homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos protegidos de luz e calor. Para se estimar a concentração do herbicida no solo realizou-se o método do bioensaio, utilizando o pepino, *Cucumis sativus*, como planta bioindicadora. A variável escolhida para análise foi o índice de intoxicação visual. Assis et al. (2011) revela que este método tem a mesma eficiência que a cromatografia para

detecção de picloram e em diversos casos o uso do método biológico se mostra mais sensível aos contaminantes que os métodos químicos (Rocha, 2011; Silva et al., 2012b).

Pesou-se 80 g de solo de cada tratamento e este foi alocado em copos descartáveis para realização do bioensáio. O pepino foi semeado em três plantas por vaso, e após emergência realizou-se o desbaste, deixando apenas uma planta. Avaliou-se a intoxicação visual das plantas aos 20, 30 e 40 dias após semeadura. Para avaliação de intoxicação foi utilizada uma escala, na qual as notas são em porcentagem, em que 0% representa ausência de injúrias e 100% à morte da planta, de acordo com a escala EWRC (1964) modificada (Tabela 1).

Tabela 1 – Escala de sintomas de intoxicação provocados pelo picloram em plantas de pepino (*Cucumis sativus*).

Nota	Descrição dos sintomas
0	Ausência de intoxicação nas plantas
20	20% de intoxicação nas plantas
40	40% de intoxicação nas plantas
60	60% de intoxicação nas plantas
80	80% de intoxicação nas plantas
100	Todas as plantas mortas

Fonte: Escala EWRC (1964) modificada.

Para melhorar a compreensão foram realizadas três curvas de dose resposta, sendo uma para cada nível de pH do solo, estimando assim a relação entre a concentração de herbicida no solo e a intensidade dos efeitos causados à planta bioindicadora (Kruse et al., 2006). Este ensaio foi realizado no mesmo ambiente e com as mesmas amostras de solo do restante do experimento. Foram aplicadas dez doses do herbicida, correspondentes a 0; 0,5; 0,9; 1,9; 3,8; 7,5; 15,0; 30,0; 60,0 e 120,0 g ha^{-1} de picloram. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições e avaliações foram idênticas às realizadas no segundo ensaio.

As variáveis foram submetidas à análise de variância e as médias se significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para o fator profundidade e para a curva de dose resposta procedeu-se análise de regressão linear e não linear e as escolhas foram baseadas no comportamento biológico do fenômeno, na significância dos coeficientes ($p<0,05$) e no coeficiente de determinação. As equações ajustadas foram comparadas pelo teste de identidade de modelo para se verificar a

hipótese de nulidade de que as equações são iguais estatisticamente e quando nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os modelos, os mesmos foram agrupados e representados pela mesma linha de tendência (Regazzi, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores de intoxicação visual, a interação tripla foi significativa nos tratamentos de pH em 4,5 e 5,6. No solo com pH de 4,5, notou-se diferença entre as doses de herbicida em todas as profundidades na presença da planta biorremediadora. Na ausência da planta, observou-se diferença apenas na camada superficial do solo (Tabela 2). A igualdade dos tratamentos sem a presença da *Brachiaria brizantha* pode ter ocorrido devido à baixa concentração do herbicida nestas camadas mais profundas. Assim, nos demais tratamentos a planta biorremediadora pode ter contribuído na distribuição do herbicida nas camadas de solo, por meio da absorção e exsudação do mesmo. Tuffi Santos et al. (2008) relatam a capacidade da espécie *Brachiaria decunbens* em absorver e exsudar glyphosate, comportamento que pode ocorrer com outras espécies do mesmo gênero e com outros herbicidas.

Tabela 2 – Intoxicação visual (%) de plantas de pepino cultivadas em solo com pH de 4,5 tratado com picloram.

Dose de picloram	**Profundidade (cm)**							
	------ 0-10 ------		------ 10-20 ------		------ 20-30 ------		------ 30-40 ------	
	Presença ou ausencia de *Brachiaria brizantha*							
	Com	sem	com	sem	Com	sem	com	Sem
120 g ha^{-1}	12,1Bb	16,3Ab	7,9Ab	10,2Aa	5,8Ab	9,5Aa	15,4Ab	14,0Aa
240 g ha^{-1}	23,2Ba	29,4Aa	15,2Aa	13,6Aa	20,7Aa	11,7Ba	19,9Aa	17,7Aa
Coeficiente de variação								
	CV_1 = 16,78							
	CV_2 = 28,67							
	CV_3 = 29,12							

Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na linha e minusculas na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. [1/] presença ou não de *B. brizantha*; [2/] doses de picloram; [3/]profundidades.

Para o pH de 5,6, observou-se maiores valores de intoxicação do pepino na maior dose do herbicida na camada superficial do solo, independentemente da presença da planta biorremediadora. Este comportamento foi semelhante na maior profundidade na ausência de *B. brizantha*. Entretanto, na presença da biorremediadora o

comportamento se inverteu, com maiores danos às plantas de pepino com aplicação da menor dose de picloram (Tabela 3).

Tabela 3 – Intoxicação visual (%) de plantas de pepino cultivadas em solo com pH de 5,6 tratado com picloram.

Dose de picloram	**Profundidade (cm)**							
	------ 0-10 ------		------ 10-20 ------		------ 20-30 ------		------ 30-40 ------	
	Presença ou ausencia de *Brachiaria brizantha*							
	com	sem	com	sem	Com	sem	com	Sem
120 g ha^{-1}	25,6Bb	42,9Ab	6,3Aa	6,6Aa	5,8Aa	6,0Aa	13,3Aa	10,6Ab
140 g ha^{-1}	46,0Ba	51,9Aa	4,8Aa	6,8Aa	6,5Aa	5,8Aa	8,6Bb	16,8Aa
Equação de regressão								
CV_1 = 23,87								
CV_2 = 24,82								
CV_3 = 19,91								

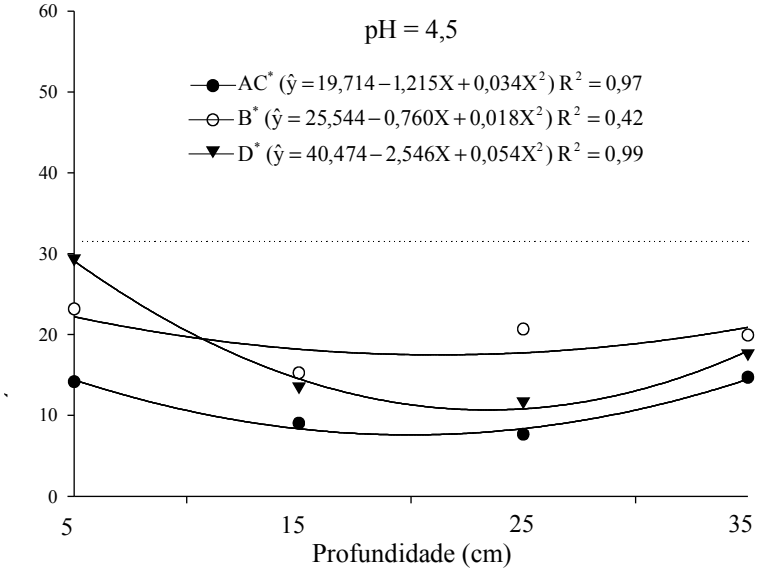
Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na linha e minusculas na coluna não diferem entre si pelo teste de F a 5% de significância. [1/] presença ou não de *B. brizantha*; [2/] doses de picloram; [3/]profundidades.

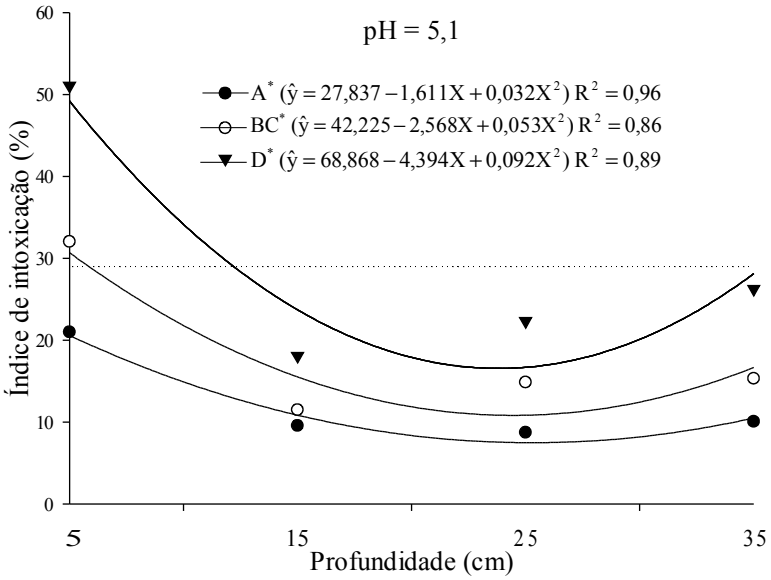
Ao se analisar quanto à presença da planta remediadora em solo com pH de 4,5, observou-se que na camada superficial do solo, a *B. brizantha* reduziu a concentração do herbicida nas duas doses aplicadas (Tabela 2). Esta redução pode ser atribuída à capacidade da espécie fitorremediadora absorver e, ou estimular a degradação do picloram. Outro fator que pode ter contribuído é a distribuição do herbicida, sendo que a planta remediadora atuou de forma a dispersar o herbicida ao longo do vaso, o que é evidenciado na camada de 20 a 30 cm, que na maior dose o solo com *B. brizantha* obteve a maior concentração.

Em solo com pH de 5,6 pode-se observar novamente a capacidade de redução do nível de resíduos de picloram da espécie *B. brizantha* na camada superficial e até mesmo em camadas mais profundas (Tabela 3). Diversos trabalhos relatam o potencial de gramíneas na redução da concentração de picloram no solo (Assis et al., 2010a; Assis et al., 2010b; Silva et al., 2012a). A influência da planta remediadora sobre a concentração do herbicida pode se dar de diversas formas, como a estimulação da microbiota do solo por meio da liberação de exsudados, aumentando assim a degradação das moléculas (Cunningham et al., 1996; Santos et al., 2007a), tendo em vista que os microrganismos são os grandes responsáveis por sua extinção (Prata & Lavorenti, 2000), principalmente devido à sua grande diversidade metabólica. Outro fator de grande contribuição é a absorção do herbicida pela planta, a qual pode degradá-

lo, volatilizá-lo, transformá-lo em moléculas menos tóxicas, conjugá-lo à compostos sem atividade ou até mesmo acumulá-lo em seus tecidos, como no interior dos vacúolos das células (Susarla et al., 2002). Esta última situação é de grande importância devido ao fato do picloram apresentar alta estabilidade na planta, permanecendo longos períodos sem ser metabolizado (Silva et al., 2007a).

As regressões para análise da presença do herbicida em profundidade foram todas significativas para equação de segundo grau com concavidade voltada para cima, indicando maior quantidade de herbicida na camada superficial do solo, com posterior decréscimo na concentração do herbicida na camada de 15 a 25 cm de profundidade, pois na camada de 35 cm houve novamente aumento na concentração do herbicida no solo (Figura 1). Esta grande quantidade de herbicida na última camada se deve ao fato da limitação física imposta pelo recipiente utilizado, sendo que esta camada não nos mostra a real concentração do herbicida, mas sim a quantidade que estaria em profundidades iguais ou superiores a 35 cm, representando o potencial de lixiviação do picloram.


pH = 4,5
AC* (ŷ = 19,714 − 1,215X + 0,034X²) R² = 0,97
B* (ŷ = 25,544 − 0,760X + 0,018X²) R² = 0,42
D* (ŷ = 40,474 − 2,546X + 0,054X²) R² = 0,99
60
50
40
30
20
10
0
5
15
25
35
Profundidade (cm)


pH = 5,1
A* (ŷ = 27,837 − 1,611X + 0,032X²) R² = 0,96
BC* (ŷ = 42,225 − 2,568X + 0,053X²) R² = 0,86
D* (ŷ = 68,868 − 4,394X + 0,092X²) R² = 0,89
Índice de intoxicação (%)
60
50
40
30
20
10
0
5
15
25
35
Profundidade (cm)

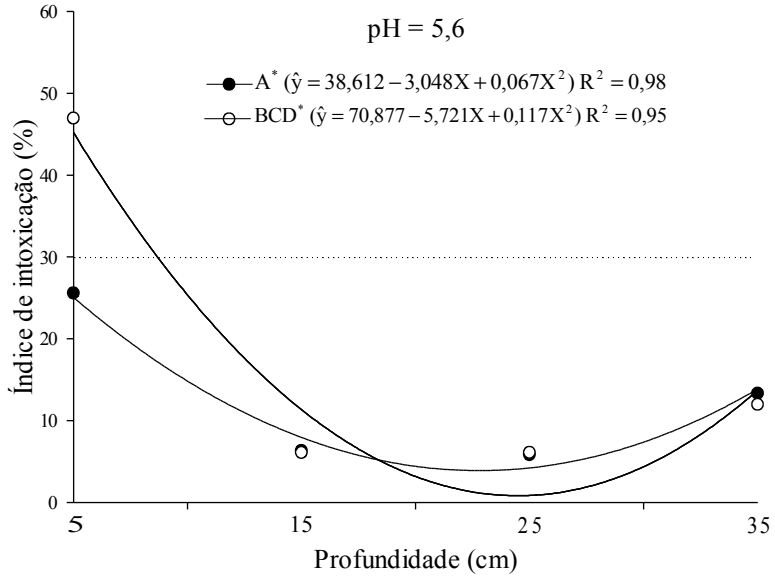


Figura 1 – Percentual de intoxicação visual de plantas de pepino em função da profundidade de avaliação em solo com pH de 4,5, 5,1 e 5,6. A – Solo com *Brachiaria brizantha* e aplicação de 120 g ha^{-1} de picloram; B - Solo com *B. brizantha* e aplicação de 240 g ha^{-1} de picloram; C - Solo sem *B. brizantha* e aplicação de 120 g ha^{-1} de picloram; D - Solo sem *B. brizantha* e aplicação de 240 g ha^{-1} de picloram. * Fatores significativos a 5%.

Os gráficos para análise da concentração do herbicida em profundidade apresentam uma tendência de valores de *b* mais altos nos tratamentos sem a presença da planta biorremediadora nos valores de pH de 5,1 e 5,6 (Figuras 1). Isso indica que nestas condições uma parte do herbicida tende a se acumular nas camadas superficiais (0 a 10 cm) e outra parte pode lixiviar até camadas mais profundas, podendo alcançar o lençol freático, e pequena parte do herbicida permanecerá em camadas intermediárias. Uma etapa de grande importância na seleção de espécies para biorremediação é a escolha de plantas com sistema radicular denso e profundo (Silva et al., 2007b). A *B. brizantha* destaca-se neste aspecto, podendo apresentar profundidade efetiva do sistema radicular, profundidade em que estão presentes 80% das raízes, de até 50 cm (Cunha et al., 2010). Assim, esta pode atuar como barreira hidráulica, criando um fluxo ascendente de água, prevenindo assim a lixiviação.

Para os quatro tratamentos pode-se observar que à medida em que se aumenta o pH do solo a inclinação da concavidade se torna mais acentuada (Figura 1), indicando outra situação de maior risco de contaminação superficial do solo e de lixiviação ao se aplicar o herbicida em solos com correção da acidez. Dessa maneira, a lixiviação está condicionada à presença de raízes e ao pH do solo, sendo que na ausência de raízes e em

maiores valores de pH o picloram apresenta alto potencial de lixiviação. Segundo Cheung & Biggar (1974) de 95 a 100% das moléculas de picloram permanecem em estado aniônico a um pH acima de 5. Dessa forma, as moléculas são menos adsorvidos pelas partículas de argila e de matéria orgânica do solo e estão presentes na solução do solo e mais susceptíveis à lixiviação. Esses resultados auxiliam no entendimento da dinâmica do herbicida e alerta para os efeitos de eventual calagem em áreas de pastagem degradada que recebe a aplicações do herbicida picloram. Celis et al. (2005) relata lixiviação de picloram em solos com pH entre 6,3 e 7,3 em várias regiões da Europa, o Serviço Geológico dos EUA (USGS, 1998) revelou a presença de resíduos de picloram em águas subterrâneas e Stoner et al. (1998) detectou concentrações de até 10 mg L^{-1} na bacia do rio Vermelho, nos estados de Minnesota, Dakota do Norte e Dakota do Sul.

A partir da curva de dose resposta apresentada a figura 2, pode-se predizer sobre a grande sensibilidade do pepino ao picloram, pois as menores doses testadas já causaram certo nível de intoxicação às plantas. Nascimento & Yamashita (2009) também observaram alta sensibilidade de pepino a herbicidas hormonais. Pode-se notar pelas curvas que em maior valor de pH as plantas apresentaram maiores valores de intoxicação, porém esta tende a estabilizar mais rápido com o aumento das doses do herbicida. Isto se deve ao fato do picloram se comportar como um ácido fraco, no qual sua forma molecular doa prótons formando íons negativos, de acordo com o aumento do valor do pH do solo (Belo et al., 2011). Assim a sorção das moléculas aos coloides do solo é menor (D'Antonino et al., 2009), o que deixa maior concentração de herbicida disponível na solução solo.

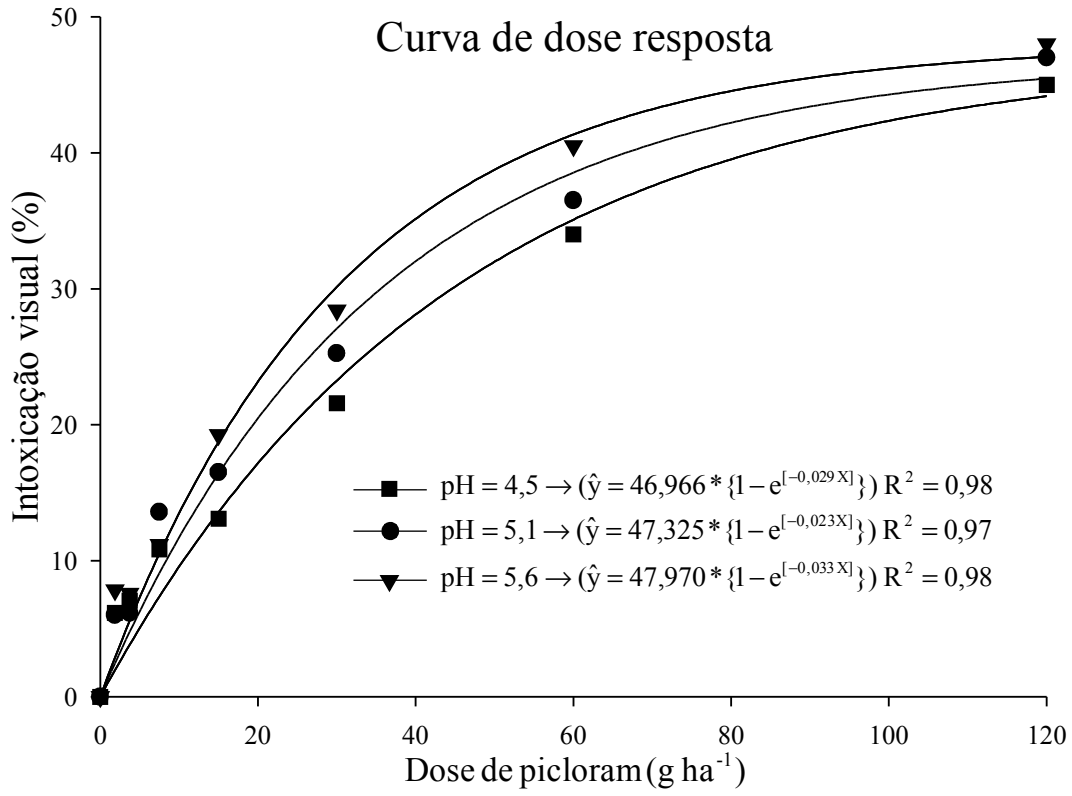


Figura 2 **–** Curva de dose-resposta relativa ao bioensáio com a planta de pepino.

Pode-se concluir que a *B. brizantha* pode ser usada para remediação de solos contaminados por picloram, embora o solo ainda permaneça com pequenas concentrações do contaminante distribuídas ao longo das camadas de solo. Esta espécie pode ainda contribuir para diminuir o potencial de lixiviação do herbicida, evitando, dessa forma, contaminação de lençóis freáticos. Solos com valores de pH próximos à neutralidade tendem a perder grande parte do herbicida aplicado por lixiviação.

LITERATURA CITADA

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-351.

ASSIS, R. L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1131–1135, 2010a.

ASSIS, R. L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de *Panicummaximum* em função do teor de água no solo. **Eng. Agríc.**, v. 30, n. 5, p. 845-853, 2010b.

ASSIS, E. C. et al. Leaching of picloram in ultisol under different rainfall volumes. **Planta Daninha**, v. 29, n. esp., p. 1129-1136, 2011.

BELO, A. F. et al. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com picloram. **Planta Daninha**, v. 29, n. 4, p. 885-892, 2011.

BERISFORD, Y. C. et al. Leaching and persistence of herbicides for kudzu (*Pueraria montana*) control on pine regeneration sites. **Weed Sci.**, v. 54, n. 2, p. 391-400, 2006.

BOTELHO, R.G. et al. Toxicidade aguda de herbicidas a tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Planta daninha**, v. 27, n. 3, p. 621-626, 2009.

CARMO, M. L. et al. Influência do período de cultivo do capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. **Planta daninha**, v. 26, n. 3, p. 601-609, 2008.

CARRIZOSA, M. J. et al. Interactions of acid herbicides bentazon and dicamba with organoclays. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, n. 6, p. 1863-1866, 2004.

CELIS, R. et al. Sorption and leaching behavior of polar aromatic acids in agricultural soils by batch and column leaching tests.**Eur. J. Soil Sci.**, v. 56, n. 3, p. 287-297, 2005.

CHEUNG, M. W.; BIGGAR, J. W. Solubility and molecular structure of 4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid in relation to pH and temperature. **J. Agric. Food Chem.**, v. 22, n. 2, p. 202-206, 1974.

CLOSE, M. E. et al. Field study of pesticide leaching in an allophonic soil in New Zealand. 1: Experimental results. **Austr.J. Soil Res.**, v. 41, p. 809-824, 2003.

CUNHA, F. F. et al. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Sci. Agron.**, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996.

D'ANTONINO, L. et al. Efeitos de culturas na persistência de herbicidas auxínicos no solo. **Planta daninha**, v. 27, n. 2, p. 371-378, 2009.

D'ANTONINO, L. et al. Crescimento de plantas de café em solos com resíduos de picloram. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 193-200, 2012.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL - EWRC. Report of 3 rd and 4 rd meetings of EWRC. Cittee of methods in weed research. **Weed Res.**, v. 4, n. 1, p. 88, 1964.

INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.

INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 312-323, 2003.

KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Curvas de resposta e isobolograma como forma de descrever a associação de herbicidas inibidores do Fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 579-587, 2006.

MINISTERIO DA AGRICULTURA PECUARIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponivel em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 06 de mar. de 2013.

NASCIMENTO, E. R.; YAMASHITA, O. M. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 47-54, 2009.

PANG, L. P. et al. Simulation of picloram, atrazine and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. **J. Contam. Hydrol.**, v. 44, n. 1, p. 19-46, 2000.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Rev. biociênc.**, v. 6, n. 2, p. 17-22, 2000.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. **Rev. Ceres**, v. 46, p. 383-409, 1999.

ROCHA, P. R. R. **Sorção, dessorção, lixiviação e meia-vida do diuron em quatro latossolos brasileiros**. 2011. 59 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SANTOS, E. A. et al. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com Trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 259-265, 2007.

SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 391-398, 2006.

SILVA, J. F. et al. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007a.p. 83-148.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007b. p. 83-148.

SILVA, L. O. C. et al. Ação de *Eleusine coracana* na remediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 627-632, 2012a.

SILVA, L. O. C. et al. Mobilidade do ametryn em latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 883-890, 2012b.

STONER, J. D. et al. **Water quality in the Red River of the North Basian, Minnesota, North Dakota and South Dakota, 1992-95**. Basin, 1998.(U. S. Geological Survey Circular, 1169).

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

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Exsudação radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 369-374, 2008.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. Data on pesticides in surface and ground water of the United States, results of the National Water Quality Assessment Program (NAWQA). 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A *Brachiaria brizantha* pode ter seu desenvolvimento reduzido quando semeada sob solos contaminados com altas concentrações do herbicida picloram, sendo que o acúmulo de biomassa seca de raízes e total é menor, independente da condição de pH do solo. Porem os efeitos danosos do herbicida sobre as folhas da forrageira são observados apenas sob condição de solo com pH próximo a neutralidade, assim como ocorreu no crescimento de raízes situadas em maiores profundidade. Dessa forma, a aplicação de calcário em solos contaminados por picloram se torna uma prática indevida para cultivo desta espécie.

A movimentação do picloram no solo é consideravelmente maior em solos com maiores valores de pH. Assim, a aplicação de calcário pode resultar em maior risco de contaminação do lençol freático.

A *B. brizantha* também contribui para diminuir a lixiviação do herbicida.

Esta espécie forrageira se mostrou eficiente na remediação de solos contaminados por picloram, embora o solo ainda permaneça com pequenas concentrações do contaminante distribuídas ao longo das camadas de solo.

ANEXO

Artigo I e II:

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DA REVISTA PLANTA DANINHA

Disponível em: http://www.scielo.br/revistas/pd/pinstruc.htm