

CARLOS MAGNO MAGALHÃES DA SILVA

**EXSUDAÇÃO RADICULAR DE IMAZAPYR POR PLANTAS DE
Eucalyptus spp.**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002**

“Uma teoria adequada lança luz sobre a natureza e as origens físicas e evolutivas da consciência sem abandonar o realismo hipotético e o materialismo que o cientista aplica ao mundo fora do observador.” (Descartes)

A Jeová El Shadai.

Aos meus pais Carlos Roberto e Lianira.

Aos meus irmãos Sílvia Leticia, Jonatas e Roberta.

À Leticia, que, com seu amor, carinho e compreensão, deu-me alento nos momentos difíceis e força necessária para realizar este trabalho.

AGRADECIMENTO

Aos brasileiros que pagam seus impostos, mantendo as instituições de ensino e pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade em cursar o mestrado e realizar este trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro concedido durante a realização deste curso.

À CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira, à V & M Florestal e ao IEF – Instituto Estadual de Florestas, pela concessão do material vegetal utilizado.

Ao professor Lino Roberto Ferreira, pela orientação e amizade, sem as quais este trabalho não se concretizaria.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia, em especial a Francisco Affonso e Antônio Alberto, juntamente com o professor Lino, que, como poucos, podem ser chamados de Mestres, além de verdadeiros pesquisadores, e que muito me ensinaram sobre a ciência das plantas daninhas e seu controle e sobre a vida.

Aos professores Glauco V. Miranda e Haroldo N. de Paiva e à pesquisadora Maria Aparecida N. Sedyama, pelas sugestões e pela atenção.

Aos técnicos de laboratório da UFV, em especial a Luiz Henrique, do Laboratório de Herbicida na Planta, e a Domingos Sávio, do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela amizade e pelo valioso apoio.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia da UFV, Vicente Madaleno e Mara Rodrigues, pela prestativa atenção, e do Departamento de Engenharia Florestal, José Mauro e Chiquinho.

Aos amigos Adriano, Aroldo, Cláudio, Francisco Cláudio, José Luiz, José Roberto, Reginaldo, Vanessa e Vinícius, pela amizade incondicional.

A todos os colegas do curso com quem tive oportunidade de trocar idéias na busca de novos conhecimentos.

Enfim, a todas as pessoas aqui não citadas, mas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CARLOS MAGNO MAGALHÃES DA SILVA, filho de Carlos Roberto Vieira da Silva e Lianira Laudicea Magalhães da Silva, nasceu em Itaperuna - RJ, em 21 de abril de 1976.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa em 1995, graduando-se Engenheiro-Agrônomo em janeiro de 2000.

Em março do mesmo ano, iniciou o curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de Plantas Daninhas, Alelopatia, Herbicidas e Resíduos, submetendo-se à defesa de tese em março de 2002.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
TOLERÂNCIA DE MUDAS DE EUCALIPTO (<i>Eucalyptus</i> spp.) AO IMAZAPYR EM SOLUÇÃO NUTRITIVA	
RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
MATERIAL E MÉTODOS	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
LITERATURA CITADA	26
EXSUDAÇÃO RADICULAR DE IMAZAPYR POR PLANTAS DE EUCALIPTO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA	
RESUMO	29
ABSTRACT	30

INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
LITERATURA CITADA	39
EXSUDAÇÃO RADICULAR DE IMAZAPYR POR PLANTAS DE EUCALIPTO CULTIVADAS EM SOLO	
RESUMO	42
ABSTRACT	43
INTRODUÇÃO	44
MATERIAL E MÉTODOS	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
LITERATURA CITADA	56
2. RESUMO E CONCLUSÕES	58
APÊNDICES	60

RESUMO

SILVA, Carlos Magno Magalhães da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2002. **Exsudação radicular de imazapyr por plantas de *Eucalyptus* spp.** Orientador: Lino Roberto Ferreira. Conselheiros: Francisco Affonso Ferreira e Glauco Vieira Miranda.

Foram realizados três experimentos com o herbicida imazapyr, em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar, por meio de bioensaios, a tolerância de diferentes genótipos de eucalipto ao herbicida e o potencial de exsudação radicular apresentado por *Eucalyptus grandis*. No estudo sobre tolerância de genótipos utilizaram-se mudas clonais de eucalipto de diferentes procedências, sob cultivo hidropônico, submetidas a diferentes doses de imazapyr. Os resultados evidenciaram comportamentos distintos entre os genótipos avaliados quanto à presença do herbicida em solução, indicando atenção à escolha de doses, sendo estas dependentes do clone utilizado. Quanto à exsudação radicular de imazapyr e, ou, seus metabólitos, foram usadas mudas clonais de *E. grandis* cultivadas em sistema hidropônico e em recipientes com solo, submetidas à aplicação foliar de imazapyr. Utilizou-se como bioindicadores da presença do herbicida no meio mudas de *E. grandis*, para o ensaio realizado sob sistema

hidropônico, e sementes pré-germinadas de sorgo e pepino, para o ensaio em solo. Verificou-se que o *E. grandis* apresentou exsudação radicular de imazapyr e, ou, seus metabólitos tóxicos, em solução e no solo, em concentrações capazes de afetar o crescimento dos bioindicadores utilizados, além do fato de que, sob a menor dose utilizada, ocorreu inibição total da emissão de brotações após o corte do eucalipto. Os resultados obtidos sugerem a necessidade de investigações quanto ao destino final da molécula após o seu uso nos sítios de cultivo de eucalipto, bem como sua interferência no meio ambiente.

ABSTRACT

SILVA, Carlos Magno Magalhães da, M.S. Universidade Federal de Viçosa, March 2002. **Imazapyr radicular exudation by *Eucalyptus* spp. plants.** Adviser: Lino Roberto Ferreira. Committee Members: Francisco Afonso Ferreira and Glauco Vieira Miranda.

Three experiments were carried out to evaluate the tolerance of different eucalyptus genotypes to the herbicide imazapyr and the radicular exudation potential presented by *Eucalyptus grandis*, through bioassays, under greenhouse conditions. For the genotype tolerance study, hydroponically cultivated clonal eucalyptus seedlings of different origins were submitted to different doses of imazapyr. The results showed distinct responses among the genotypes evaluated in relation to the presence of the herbicide in the solution, indicating that attention should be given to the choice of doses, which will depend on the clone used. As for radicular exudation of imazapyr and/or its metabolites, *E. grandis* clonal seedlings were cultivated both hydroponically and in containers with soil, and submitted to imazapyr foliar application. *E. grandis* seedlings were used as bioindicators of the presence of the herbicide in the hydroponic cultivation assay and pre-germinated sorghum and cucumber seeds in the soil assay. *E. grandis* was found to present radicular exudation of imazapyr and/or of its toxic

metabolites, in solution and in soil in concentrations that could affect the growth of the bioindicators used. Besides, under the lowest dose used, total inhibition of sprouting emission occurred after the eucalyptus was cut. The results obtained suggest the need for further investigation on the final fate of the molecule after its use in eucalyptus cultivation sites, as well as its interference in the environment.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é a essência florestal mais adotada nos programas de reflorestamento no Brasil, em razão de suas características de rápido crescimento e boa adaptação às condições climáticas e edáficas existentes em boa parte do País. É responsável por gerar mais de dois milhões de empregos diretos e indiretos e contribuir com 4% do PIB nacional (US\$ 21 bilhões) (SBS, 2002).

O setor florestal começou a se expandir significativamente a partir dos incentivos fiscais nas décadas de 70 e 80, o que proporcionou intenso plantio de florestas, cujo objetivo, *a priori*, foi promover redução do desmatamento (Rezende et al., 1996). Apesar do grande potencial gerado pelos subsídios oriundos do período em que vigoraram os incentivos fiscais, os reflorestamentos não apresentaram produtividade satisfatória. Segundo Reis e Reis (1993), ocorreram vários problemas de natureza operacional, como: insuficiência de trabalhos científicos na área florestal, erros no planejamento do uso da terra, escolha inadequada de espécie ou procedência, uso de técnicas errôneas na implantação, entre outros.

Contudo, nos últimos anos, o Brasil vem se tornando grande exportador de produtos florestais, o que se deve à sua grande competitividade neste setor (Silva et al., 1997) em decorrência de melhoramento genético dos materiais cultivados (Ferreira e Santos, 1997), mecanização da colheita e transporte (Souza et al.,

1999), avanço das pesquisas no setor (Stape, 1999), busca de certificação florestal (Lélis, 1999; Nardelli et al., 2000; Suiter Filho, 2001), aperfeiçoamento de práticas silviculturais, entre elas o controle de brotações, quando da reforma dos talhões.

Apesar de ser o eucalipto um gênero que possui espécies de rápido crescimento e de apresentar certa plasticidade quanto a seu estabelecimento no campo, ele não está isento da competição por água, luz e nutrientes, gerada pelas brotações. O controle tardio das brotações após o corte raso da floresta implicará em maior período de competição destas com as mudas nas entrelinhas do cultivo anterior, reduzindo ganhos de produtividade.

O controle da rebrota pode ser feito manualmente por meio de deslocamento da casca do toco com cavadeira reta e pequena, provocando a morte das cepas; utilização de grade ‘bedding’, para execução simultânea do cobrimento das cepas e marcação de novas linhas de plantio (Simões, 1981); rebaixadores mecânicos de tocos (Respondovesk, 1999); e herbicidas.

Em cultivos comerciais de eucalipto são requeridos herbicidas que sejam eficientes no controle das brotações, mas que apresentem baixo período residual no solo, para não comprometer o crescimento e desenvolvimento de mudas no cultivo posterior ao corte raso da floresta atual.

Christoffoleti et al. (1997) utilizaram aplicações de imazapyr (0,125; 0,250 e 1,000% p/v na calda de aplicação) e glyphosate (1,440% p/v) 24, 48 e 72 horas após o corte (HAC) do eucalipto e verificaram a viabilidade de controle da rebrota com uso de imazapyr até 72 HAC, desde que na concentração mínima de 0,500% p/v. Resultados semelhantes foram obtidos por Fais (1999).

Respondovesk (1999) constatou que o melhor controle e maior rendimento operacional foi obtido quando se utilizou 0,6 mL/árvore de Chopper NA (0,250 g L⁻¹ imazapyr), aplicado em uma inserção no fuste e utilizando pistola dosadora (sistema Goraijet – desenvolvido pela empresa fabricante do herbicida), em relação ao rebaixador mecânico de tocos, à aplicação de glyphosate a 6% até 12 HAC, ao uso de cápsula contendo glyphosate granulado (inserção no fuste) e à aplicação deste herbicida no caule por meio de machadinha química.

Basicamente, no controle de brotações por meio de herbicidas se utiliza o glyphosate no pós-corte com a brotação já estabelecida ($\pm 1,5$ m de altura) ou o imazapyr, no pré-corte das árvores, sendo este último mais utilizado, devido a sua alta eficiência de controle e maior flexibilidade de tempo entre a aplicação e o corte (Dantas et al., 2001).

O imazapyr (ácido 2-(4isopropil-4metil-5oxo-2imidazolina-2ilo) nicotínico) é um herbicida do grupo químico das imidazolinonas, constituído por um grupamento imidazolina covalentemente ligado a um ácido piridinecarboxílico e formulado em sal de isopropilamina (Cyanamid, 1983). É um herbicida de amplo espectro de ação (Orwick et al., 1983; Lee et al., 1991) utilizado no controle de plantas daninhas em ferrovias, oleodutos, rodovias (acostamento), pátios de indústrias e escolas, aeroportos, cemitérios, linhas de transmissão, coníferas (Beardmore et al., 1991; Boyd et al., 1995) e no controle da rebrota em eucaliptais (Johansson, 1988; Lund-Hoie e Rognstad, 1990; Little et al., 1998).

O mecanismo de ação se caracteriza pela inibição da síntese de ácido acetohidróxido sintase (AHAS ou ALS), que é uma enzima envolvida na biossíntese de três aminoácidos alifáticos essenciais (encontrada somente em espécies vegetais): valina, leucina e isoleucina (Shaner et al., 1984; Anderson e Hibberd, 1985; Stidham, 1991; Tucker et al., 1994); por esse motivo, o imazapyr apresenta baixa toxicidade para mamíferos (Rodrigues e Almeida, 1998; BASF, 2001; USDA, 2002), com baixos riscos para a fauna silvestre (Gagne et al., 1991), também não apresentando efeitos carcinogênicos, mutagênicos ou oncogênicos (BASF, 2001). Pode atuar sobre o “pool” de aminoácidos e a fração proteica, indicando que o herbicida desorganiza a síntese de proteínas, por alterar a taxa de giro proteico (Anderson e Hibberd, 1985; Shaner e Reider, 1986; Shaner, 1989). Essa inibição interrompe a síntese de proteínas, que, por sua vez, interfere na síntese de DNA e no crescimento celular (USDA, 2002), o que acarretará a morte das regiões meristemáticas (Rodrigues e Almeida, 1998; Silva et al. 1999), interrompendo o crescimento (Liebl e Bridges, 2000) e interferindo no uso eficiente da água (Shaner, 1988).

O imazapyr é facilmente absorvido pelo sistema radicular e pelas folhas, sendo rapidamente translocado via xilema e floema por toda a planta (Shaner,

1988), com melhor absorção pelo caule quando injetado mecanicamente na região vascular (Little e Shaner, 1991); contudo, pode apresentar lento metabolismo (Nissen et al., 1995). Little et al. (1994), estudando as características físico-químicas de cinco grupamentos obtidos da molécula do imazapyr, verificaram comportamentos distintos destas quanto à absorção, translocação e inibição da AHAS.

Esse herbicida apresenta degradação lenta no solo, essencialmente por via microbiana, em condições aeróbias, não se processando degradação anaeróbia (Rodrigues e Almeida, 1998; Silva et al., 1999), daí a sua maior persistência no solo, podendo variar de três a 12 meses (Liebl e Bridges, 2000). Segundo a classificação de Hellings (1971), o imazapyr possui de baixa a moderada movimentação no solo, porém Souza et al. (2000) demonstraram alta lixiviação em solos arenosos e movimentação por capilaridade (lixiviação reversa), o que foi comprovado por Firmino (2001).

O imazapyr apresenta propriedades de um ácido fraco, o que torna sua ligação com os constituintes do solo de fraca intensidade e fortemente influenciada pela variação de pH do meio (Dickens e Wehtje, 1986; Pusino et al., 1997) e pelo teor de matéria orgânica (Mangels, 1991; Wang e Liu, 1998), sendo sua adsorção aumentada à medida que o pH do solo decresce (Wehtje et al., 1987; Stougaard et al., 1990; Gennari et al., 1998). Segundo Pusino et al. (1997), a matéria orgânica é efetiva na retenção de imazapyr, mas somente em pH menor que 5,0. Wehtje et al. (1987) verificaram que em solo sob baixa umidade ocorreu maior sorção de imazapyr que em outros sob umidade próxima à capacidade de campo; no entanto sob essa última condição pode ocorrer redução na meia-vida do herbicida (Ismail e Ahmad, 1994), em razão do aumento das taxas de biodegradação (Walker, 1987; Souza, 1998).

A meia-vida ou persistência de determinado herbicida no solo é extremamente variável e depende fundamentalmente de suas características físico-químicas e das condições edafoclimáticas às quais ele é exposto (Vicari et al., 1994). No caso do imazapyr têm-se como interferentes, por exemplo, temperatura (McDowell et al., 1996), matéria orgânica (El Azzouzi et al., 1998),

pH (Mangels, 1991) e profundidade em que se encontra a molécula no solo (Vizantinopoulos e Lolos, 1994).

Em razão da variabilidade de respostas apresentadas pelo eucalipto, em cultivos comerciais, quanto à aplicação de imazapyr para controle de brotações, foram realizados três experimentos, em casa de vegetação, com o intuito de verificar se essa variabilidade pode ser devido a diferenças genéticas entre os clones e avaliar o potencial de exsudação do imazapyr e, ou, seus metabólitos, via sistema radicular de *Eucalyptus grandis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, P.C.; HIBBERD, K.A. Evidence of the interaction of an imidazolinone herbicide with leucine, valine and isoleucine metabolism. **Weed Sci.**, v. 33, n.4, p.479-483, 1985.

BASF. **Imazapyr**. Disponível em: <<http://www.basf.com>>. Acesso em: 26 agosto 2001.

BEARDMORE, R.A.; HART, R.; IVERSON, R. et al. Imazapyr herbicide. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991, p.211-227.

BOYD, R.S.; FREEMAN, J.D.; MILLER, J.H. et al. Forest herbicide influences on floristic diversity seven years after broadcast pine release treatments in central Georgia, USA. **New Forest**, v.10, n.1, p.17-34, 1995.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; SHINCARIOL, V.; COELHO, J.V.G. Controle da rebrota de tocos de eucalipto através do herbicida imazapyr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21, 1997, Caxambu. **Resumos...**, Caxambu, 1997, p.287.

CYANAMID. **AC-252,925 broad-spectrum herbicide for industrial sites and railways**. Tech. Rep. American Cyanamid Company, Agric. Res. Div., Princeton, New Jersey, USA. 14p. 1983.

DANTAS, F.W.F.; SOUZA, A.J.; DI CIERRO, A. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE HERBICIDAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO EM FLORESTAS, 1, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SIF, 2001. p.29-44.

- DICKENS, R., WEHTJE, G. Mobility and soil solution characteristics of imazapyr (Arsenal) and sulfometuron methyl (Oust) in Alabama soils. **Proc. So. Weed Sci. Soc. American**, v.39, p.368, 1986.
- EL AZZOUZI, M.; DAHCOUR, A.; BOUHAOUSS, A. et al. Study on the behavior of imazapyr in two Moroccan soils. **Weed Res.**, v.38, n.3, p.217-220. 1998.
- FAIS, D. Aplicação de CHOPPER* NA em cepas e pré-corte para erradicação de brotação de *Eucalyptus* spp e utilização de ARSENAL* NA em aceiros na VCP (Votorantin Celulose e Papel). In: **LANÇAMENTO DO CHOPPER* NA**, 1999, Rio de Janeiro. CD-ROM.
- FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, Salvador, 1997. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. 4v. v.1, p.14-34.
- FIRMINO, L.E. **Sorção e movimento de imazapyr em três solos**. 2001, 45p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GAGNE, J.A.; FISCHER, J.E.; SHARMA, R.K. et al. Toxicology of the imidazolinone herbicides. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.179-82.
- GENNARI, M.; NÈGRE, M.; VINDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **J. Environ. Sci. Health**, v.B33, n.5, p.547-567, 1998.
- HELLINGS, C.S. Pesticide mobility in soils: influence of soil properties. **Soil Sci. Soc. Am. Proceeding**, v.35, p.743-748, 1971.
- ISMAIL, B.S., AHMAD, A.R. Attenuation of the herbicidal activities of glufosinate-ammonium and imazapyr in two soils. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.47, p.279-285, 1994.
- JOHANSSON, T. Preventing stump regrowth with a herbicide-applying tree cutter. **Weed Res.**, v.28, n.5, p.353-358, 1988.
- LEE, A.; GATTERDAM, P.E.; CHIU, T.Y. et al. Plant metabolism. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.151-165.
- LÉLIS, V.G.S. Certificação florestal. **Folha Florestal**, Viçosa, MG, n.92, p.23-24, 1999.
- LIEBL, R.; BRIDGES, D.C. Imidazolinones and pyrimidyl-oxy-benzoates. In: **HERBICIDE ACTION COURSE**, 2000. West Lafayette, Purdue University, Indiana, USA. p.385-394, 2000.

- LITTLE, D.L.; LADNER, D.W.; SHANER, D.L. Modeling root adsorption and translocation of 5-substituted analogs of the imidazolinone herbicide, imazapyr. **Pest. Sci.**, v.41, n.3, p. 171-185, 1994.
- LITTLE, D.L., SHANER, D.L. Absorption and translocation of the imidazolinone herbicides. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.53-69.
- LITTLE, L.; MAXFIELD, M.; KRITZINGER, J. Control of *Eucalyptus grandis* cut stumps. **ICFR Bul. Series**, n.2, 1998, 15p.
- LUND-HOIE, K.; ROGNSTAD, A. Stump treatment with imazapyr and glyphosate after cutting hardwoods to prevent regrowth of suckers. **Crop Protection**, v.9, n.1, p.59, 1990.
- MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil – a review of the literature. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.191-209.
- MCDOWELL, R.W.; DASTGHEIB, F.; CONDROW, L.M. Persistence of acetolactate synthase inhibiting herbicides in a Canterbury soil. In: New Zealand Plant Protection Society Incorporated, 49, 1996. **Proceedings...** p.198-201.
- NARDELLI, A.M.B.; NASCIMENTO, A.R.; GRIFFITH, J.J. et al. Certificação florestal: uma realidade também no Brasil. **Folha Florestal**, Viçosa, MG, v.96, p.7-9, 2000.
- NISSEN, S.J. et al. Adsorption and fate of imazapyr in leafy spurge (*Euphorbia esula*). **Pest. Sci.**, v.45, n.4, p.325-329, 1995.
- ORWICK, P.L.; MARC, P.A.; UMEDA, K. et al. AC 252,925 – a new broad spectrum herbicide: green house and field studies. In: Annual Southern Weed Science Meeting, 36, 1983, St. Louis. **Proceedings...** n.36, p.291.
- PUSINO, A., PETRETTO, S., GESSA, C. Adsorption and desorption of imazapyr by soil. **J. Agric. Food Chem.**, v.45, n.3, p.1012-1016, 1997.
- REIS, M.G.F.; REIS, G.G. A contribuição da pesquisa florestal para a redução de impactos ambientais dos reflorestamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 1993. p.119-135.
- RESPONDOVESK, R.J. Controle de brotações em reformas de plantações florestais na RIPASA. In: SEMINÁRIO SOBRE CONTROLE DE PLANTAS INFESTANTES EM ÁREAS FLORESTAIS, 1, Piracicaba - ESALQ, 04-05 de novembro de 1999. **CD-ROM**.
- REZENDE, J.L.P.; LIMA JR, V.B.; SILVA, M.L. O setor florestal brasileiro. **Informe Agropecuário**, v.18, n.185, p.7-14, 1996.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4. RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. (Eds): Londrina, 1998. 331p.

SBS. **Dados estatísticos sobre a produção nacional de eucalipto**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em:

<<http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>>. Acesso em: 24 janeiro 2002.

SHANER, D.L. Adsorption and translocation of imazapyr in *Imperata cylindrical* (L.) Raeuschel and effects on growth and water usage. **Tropical Pest Management**, v.34, n.4, p.388-392, 1988.

SHANER, D.L. **Factors affecting soil and foliar bioavailability of the imidazolinone herbicide**. New Jersey. American Cyanamid Company, 1989. 24p.

SHANER, D.L.; ANDERSON, P.C.; STIDHAM, M.A. Imidazolinones: potent inhibitors of acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology**, v.76, n.2, 545-546, 1984.

SHANER, D.L.; REIDER, M.L. Physiological responses of corn (*Zea mays*) to AC 243,997 in combination with valine, leucine and isoleucine. **Pest. Biochem. Physiology**, 25, p.248-57, 1986.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F.; FERREIRA, F.A. et al. Manejo de plantas daninhas: herbicidas: comportamento no solo. In: **ABEAS, Curso de Proteção de Plantas**, p.84-96, 1999.

SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; PASSOS, C.A.M. et al. Viabilidade econômica do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijão: um estudo de caso. **Rev. Árvore**, v.21, n.4, p.527-35, 1997.

SIMÕES, J.W. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. **IBDF**, Brasília, 1981.

SOUZA, A.P. **Movimento e degradação do glyphosate e de imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química**. Viçosa: UFV, 1998. 95p.:il. Tese (Doutorado).

SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.J. et al. Pesquisa na área de colheita e transporte florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 3, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIF, p.43-89, 1999.

SOUZA, A.P.; FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I – Método do Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, p.5-16, 2000.

STAPE, J.L. O papel da pesquisa florestal na sustentabilidade e estabilidade de sistemas silviculturais “momentaneamente” otimizados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 3, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIF, p.1-18, 1999.

- STIDHAM, M.A. Herbicide that inhibit acetohydroxyacid synthase. **Weed Sci.**, v.39, n.4, p.428-434, 1991.
- STOUGAARD, R.N., SHEA, P.J., MARTÍN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v.38, n.1, p.67-73, 1990.
- SUITER FILHO, W. Comprovadamente correto: o avanço da certificação florestal conforme o FSC incentiva o manejo responsável na extração florestal. **Agroanalysis**, v.21, n.1, p.17-20, 2001.
- TUCKER, T.A., LANGELAND, K.A. e CORBIN, F.T. Absorption and translocation of ¹⁴C-Imazapyr and ¹⁴C-Glyphosate in alligatorweed *Alternanthera philoxeroides*. **Weed Tech.**, v.8, n.1, p.32-36, 1994.
- USDA. **Imazapyr: pesticide fact sheet**. Disponível em: <<http://infoventures.com/e-hlth/pesticide/imazapyr.html>>. Acesso em: 11 janeiro 2002.
- VICARI, A., CATIZONE, P., ZIMDAHL, R.L. Persistence and mobility of chlorsulfuron and metsulfuron under different soil and climatic conditions. **Weed Res.**, v.34, n.3, p.147-55, 1994.
- VIZANTINOPOULOS, S. e LOLOS, P. Persistence and leaching of the herbicide imazapyr in soil. **Bul. Environ. Cont. Toxicology**, v.52, n.3, 404-10. 1994.
- WALKER, A. Herbicide persistence in soil. **Rev. Weed Sci.**, n.3, p.1-18, 1987.
- WANG, Q.Q.; LIU, W.P. Adsorption and desorption of herbicide imazapyr by soil. **China Environ. Sci.**, v.18, n.4, p.314-318, 1998.
- WEHTJE, G.; DICKENS, R., WILCUT, J. W. et al. Scorption and mobility of sulfometuron and imazapyr in five Alabama soils. **Weed Sci.**, v.35, n.6, p.858-864, 1987.

TOLERÂNCIA DE MUDAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus* spp.) AO IMAZAPYR EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

O imazapyr tem apresentado excelentes resultados no controle de brotações na reforma de cultivos florestais com eucalipto, porém têm sido verificados diferentes níveis de eficiência. Com o intuito de averiguar se as diferentes respostas encontradas podem ser devido à variabilidade gênica dos materiais cultivados, foram realizados dois bioensaios em casa de vegetação, utilizando diferentes doses de imazapyr, sob sistema hidropônico (solução de Clark), em vasos plásticos contendo 2.500 mL de solução. No primeiro ensaio trabalhou-se com os clones IEF-1 (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus* sp.), GE 463 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e MN 445 (híbrido de *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.) e, no segundo, com IEF-1, IEF-2 (híbrido de (*E. grandis* x *E. urophylla*) x *Eucalyptus* sp.) e os clones 129 e 7182 (híbridos de *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.). Trinta dias após o transplântio das mudas para solução nutritiva fez-se a aplicação de imazapyr à solução nas doses de 0,00; 0,05; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60 e 3,20 $\mu\text{L L}^{-1}$. O clone GE 463 mostrou-se mais tolerante ao imazapyr que os clones IEF-1 e MN 445. No segundo ensaio, o clone 7182 foi mais tolerante. Os genótipos apresentaram comportamento distinto entre si quanto à presença de imazapyr em solução, indicando que para o controle de rebrota as doses também podem ser diferenciadas, de acordo com o clone cultivado.

Palavras-chave: Chopper NA, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, clones, dose-resposta.

TOLERANCE OF EUCALYPTUS (*Eucalyptus* spp.) SEEDLINGS TO IMAZAPYR IN NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT

Imazapyr has presented excellent results in the control of sprouting in forest cultivations reforms using eucalyptus, but different efficiency levels have been verified. In order to find out whether the different responses found may have been due to gene variability of the cultivated materials, two bioassays were carried out under greenhouse conditions, using different doses of imazapyr, under a hydroponic system (Clark solution) in plastic vases containing 2500 mL solution. In the first assay the following clones were used: IEF-1 (hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus* sp.), GE 463 (*E. urophylla* x *E. grandis*) and MN 445 (hybrid of *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.) and in the second, the clones IEF-1, IEF-2 (hybrid of (*E. grandis* x *E. urophylla*) x *Eucalyptus* sp.) and the clones 129 and 7182 (hybrids of *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.). Thirty days after transplanting the seedlings to a nutritive solution, imazapyr was applied to the solution at doses of 0.00; 0.05; 0.10; 0.20; 0.40; 0.80; 1.60 and 3.20 mL L⁻¹. The clone GE 463 was shown to be more tolerant to imazapyr than the clones IEF-1 and MN 445. In the second assay, the clone 7182 was the most tolerant. The genotypes presented a distinct behavior in relation to the presence of imazapyr in the solution, indicating that for sprouting control, doses should also be differentiated, according to the clone cultivated.

Key words: Chopper, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, clones, response-dose.

INTRODUÇÃO

O eucalipto (*Eucalyptus* sp.) foi introduzido no Brasil, com intuito comercial, por Edmundo Navarro de Andrade, na Companhia Paulista de Estrada de Ferro, em 1903, objetivando o fornecimento de lenha e a produção de dormentes e postes telegráficos, adaptando-se bem às diferentes condições climáticas, de solos e de altitude do Estado de São Paulo (Filgueiras, 1989). Atualmente, estima-se que as plantações mundiais de eucalipto excedam a 15 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 40% estão localizados no Brasil, onde é o gênero mais utilizado no estabelecimento de reflorestamentos, com diversas finalidades econômicas (SBS, 2002).

O Brasil, nos últimos anos, vem se tornando grande exportador de produtos florestais, em razão da sua grande competitividade nesse setor (Silva et al., 1997). A atividade de reflorestamento tem-se tornado excelente alternativa de investimento. Conforme dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura (2002), a área reflorestada no Brasil corresponde atualmente a cerca de 5,0 milhões de hectares.

Devido à grande demanda para exportação e mercado interno por parte das indústrias de papel e celulose, carvão vegetal e, mais recentemente, de serrarias (visando a fabricação de móveis) (SBS, 2002), há necessidade de manutenção de grandes áreas reflorestadas a baixos custos, sem o comprometimento da produção florestal e qualidade da madeira e do meio ambiente.

Um dos problemas mais comuns encontrado pelas empresas do setor florestal é decidir qual será a alternativa mais viável para a futura condução do talhão, ou seja, reformar ou não o cultivo atual. Isso significa ter que optar entre a substituição da floresta atual por uma nova e o corte de mais uma rotação. Com relação à brotação, o problema envolve a escolha entre a condução proveniente do corte da floresta atual (talhadia) e a substituição desta por uma nova (reforma) (Simões, 1981).

Optando-se pela reforma, deverá ocorrer controle das brotações, visando eliminar a competição destas com as mudas recém-plantadas (nas entrelinhas do cultivo anterior). Dentre os métodos utilizados para eliminação das brotações

têm-se o fogo (Poggiani et al., 1983), o deslocamento manual da casca da cepa remanescente com cavadeira reta, a grade “bedding”, que também faz a marcação das linhas de plantio e adubação (Simões et al., 1981; Ripasa, 1983), os rebaixadores mecanizados (Vieira e Da Silva, 1983; Ripasa, 1983; Moro et al., 1988; Guerreiro et al., 1990) e os herbicidas (Moorhead, 2002), sendo o imazapyr o mais utilizado atualmente, em virtude de sua alta eficiência no controle.

O imazapyr apresenta amplo espectro de ação (Orwick et al., 1983; Lee et al., 1991), sendo utilizado no controle de plantas daninhas anuais e perenes em áreas não-agrícolas (Rodrigues e Almeida, 1998), em cultivos com coníferas (Beardmore et al., 1991; Boyd et al., 1995) e no controle da rebrota em eucaliptais (Johansson, 1988; Lund-Hoie e Rognstad, 1990; Little et al., 1998).

No entanto, tem sido verificados diferentes níveis de eficiência do imazapyr, quando injetado no caule, nas doses de 0,2 a 0,5 mL/árvore. Segundo Whitford et al. (1995), a eficiência no controle da brotação depende da espécie, do herbicida utilizado, da dose e época de aplicação, sendo esta última relacionada ao déficit de pressão de vapor e ao déficit de água no solo. Dantas et al. (2001) verificaram diferenças no controle de brotações de clones de eucalipto após inserção na árvore e injeção de glyphosate, com eficiência próxima a 55% aos 90 dias após o corte. Nas espécies que toleram a aplicação desses herbicidas, como as coníferas, a seletividade é maior no inverno, quando a planta não apresenta crescimento visível, ou seja, quando as árvores estão em período de dormência (Ahrens, 1981). Contudo, pode existir variação quanto à resposta de cada espécie aos herbicidas aplicados, dependendo do clima e da atividade fisiológica da planta (Gratkowski, 1977; Paley e Radosevich, 1984). Umidade relativa, intensidade de luz, temperatura do ar e as funções fisiológicas, como translocação de fotoassimilados e potencial de pressão xilemático podem influenciar a absorção e translocação de herbicidas (Radosevich e Bayer, 1979; King e Radosevich, 1985).

O mecanismo de seletividade de imazapyr em algumas espécies parece ser devido às diferenças na absorção e translocação e à metabolização da molécula em compostos relativamente imóveis ou não-tóxicos, alterando sua meia-vida na

planta (Shaner e Mallipudi, 1991). Todavia, para eucalipto, outros fatores que possivelmente interferem na tolerância ao herbicida ainda não foram elucidados, uma vez que o registro da molécula para controle de brotações foi obtido recentemente (Cyanamid, 1999).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a tolerância ao imazapyr por clones do gênero *Eucalyptus*.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois ensaios em casa de vegetação, utilizando diferentes doses de imazapyr (0,00; 0,05; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60 e 3,20 $\mu\text{L L}^{-1}$) aplicadas à solução nutritiva de Clark (Clark, 1975), contida em vasos plásticos com 2.500 mL de solução, a qual teve o pH corrigido a cada dois dias para $5,50 \pm 0,10$, usando NaOH ou HCl para a correção. Os vasos receberam revestimento prateado nas paredes externas e foram envoltos internamente por dupla camada plástica, sendo a primeira de coloração preta e a outra transparente. As tampas desses vasos apresentavam perfurações de 14 e de 2 mm, sendo a primeira usada para receber as mudas e a perfuração menor destinada à passagem da mangueira condutora da aeração para a solução, ligada a um compressor com fluxo contínuo de ar.

No primeiro ensaio, utilizaram-se mudas do clone não-comercial IEF-1 (híbrido de *E. grandis* x *Eucalyptus* sp. - cedido pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais - IEF) e dos clones GE 463 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e MN 445 (híbrido de *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.), ambos cedidos pela empresa V & M Florestal. As mudas possuíam seis meses de idade e altura variando de 10 a 13 cm, formadas em substrato de vermiculita e casca de arroz carbonizada, contidas em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm³ de capacidade. No transplante utilizaram-se mudas homogêneas, as quais tiveram o sistema radicular lavado, sendo imediatamente transferidas para os recipientes hidropônicos. Trinta dias após o transplante das mudas fez-se a aplicação das doses do herbicida, utilizando-se pipetas. A toxicidade no eucalipto foi avaliada

40 dias após aplicação dos tratamentos, adaptando-se a escala sintomática da European Weed Research Council (EWRC, 1964), em que se atribui notas de 1 a 9, representando 0, 1-15, 16-30, 31-45, 46-60, 61-75, 76-90, 91-99 e 100% de toxicidade, respectivamente, sendo 0 (zero) ausência de sintomas e 100%, morte das plantas. Procedeu-se ainda à avaliação de altura e biomassas secas de parte aérea (BSPA) e das raízes (BSRA). Após a separação da parte aérea das raízes, estas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel, que foram colocados em estufa com circulação de ar, a $72^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$, até peso constante, aproximadamente 72 horas, para determinação das biomassas secas. O esquema fatorial adotado foi 3 x 8, sendo três clones e oito doses do herbicida.

No segundo ensaio foram utilizados os mesmos métodos descritos para o primeiro, porém alterando-se os híbridos, os quais passaram a corresponder aos clones 129 e 7182 (híbridos de *E. grandis* x *Eucalyptus* sp.) e aos clones não-comerciais IEF-1 e IEF-2 (híbrido de (*E. grandis* x *E. urophylla*) x *Eucalyptus* sp.), sendo os primeiros cedidos pela empresa florestal Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA) e os demais pelo IEF. As mudas possuíam seis meses e meio de idade e altura variando de 15 a 20 cm. O esquema fatorial foi 4 x 8, sendo quatro clones e oito doses do herbicida.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos, correspondentes às doses do herbicida, e quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) após se verificar as pressuposições desta (Demétrio, 1978). Após a ANOVA, fez-se análise de regressão usando-se o modelo log-logístico, para avaliação de dose-resposta em altura (ensaio 1) e BSRA, e logístico para BSPA e altura (ensaio 2). Para análise de variância utilizou-se o pacote estatístico SAEG (SAEG, 1993), e para as estimativas dos parâmetros da regressão do modelo, o programa SIGMAPLOT (SIGMAPLOT, 1997).

O modelo log-logístico adotado - equação 1 (Seefeldt et al., 1995) - possui quatro parâmetros, em que y_0 é o limite inferior, ou seja, a resposta apresentada sob a maior dose utilizada; a é a diferença entre limite superior e inferior, isto é, a amplitude da característica avaliada entre a maior e menor dose; e b descreve o

declive da curva em torno do I_{50} (concentração do produto que inibe 50% do crescimento do bioindicador), que é dado pelo valor de x_0 .

$$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{X}{x_0}\right)^b} \quad (\text{eq. 1})$$

O modelo logístico - equação 2 (Finney, 1979; Streibig, 1988; Souza et al., 2000) - possui três parâmetros: **a** é denominado “nível de saturação”, correspondente à resposta do bioindicador na menor dose; **x_0** é o ponto de inflexão da curva, que corresponde ao valor de I_{50} ; e **b** descreve o declive da curva em torno de I_{50} .

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{X}{x_0}\right)^b} \quad (\text{eq. 2})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O clone MN 445 apresentou altura de 66,7 cm, sendo superior ao IEF-1 com 58,9 cm e GE 463 com 52,6 cm, no tratamento sem aplicação do herbicida (Figura 1). No entanto, o MN 445 e o GE 463, em doses superiores a $0,8 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., apresentaram alturas semelhantes entre si ($y_0 = 39,3554$ e $38,0200$, respectivamente) e cerca de 25% superior ao IEF-1 ($y_0 = 29,3688$), sendo, portanto, menos sensíveis a maiores doses do herbicida. Assim, o híbrido IEF-1 mostrou-se mais sensível ao imazapyr à medida que se aumentaram as concentrações, fato observado pela menor altura das plantas deste clone, aliado à alta toxicidade apresentada, obtendo nota 9 nas doses de $1,6$ e $3,2 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a.

Os clones IEF-1 e GE 463 apresentaram I_{50} semelhantes ($x_0 = 0,2515$ e $0,2548$, respectivamente) e cerca de 75% superior ao encontrado para o clone MN 445 ($x_0 = 0,0669$), significando que a resposta de dose-efeito no I_{50} foi muito mais intensa neste último, mostrando maior sensibilidade a pequenos acréscimos sob doses inferiores a $0,4 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. (Figura 1).

O menor valor da amplitude entre a maior e a menor dose (**a**), o menor declive da curva-resposta (**b**) e o maior valor de I_{50} (x_0) mostraram que o clone GE 463 foi mais tolerante a incrementos nas doses do herbicida, uma vez que mostrou menor efeito sobre a altura em relação aos clones IEF-1 e MN 445.

Para biomassa seca de parte aérea (Figura 2), o clone GE 463 apresentou I_{50} igual a $0,4603 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., 63,9% superior ao IEF-1, com $0,1663 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., e 80,8% superior ao MN 445, com $0,0886 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., sendo este último mais sensível a pequenos acréscimos nas doses até $0,2 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. Aumento nas concentrações de imazapyr acima de $1,6 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. não interferiram no crescimento da BSPA dos clones, uma vez que a partir desta dose houve morte das plantas (nota 9). Os clones GE 463, IEF-1 e MN 445 apresentaram BSPA de 20,8; 25,3 e 26,4 g/vaso, respectivamente, no tratamento sem aplicação do herbicida.

Os valores da inclinação das curvas (**b**) em torno da dose que inibiu 50% do crescimento da parte aérea indicaram maior suavização desta para o clone GE 463, uma vez que a reta tangente à curva no valor de I_{50} apresenta maior ângulo com o eixo das doses de imazapyr, o que caracterizou, aliado ao valor de I_{50} , maior tolerância deste clone ao imazapyr (Figura 2).

Os clones GE 463 e MN 445 mostraram comportamentos semelhantes entre si quanto à biomassa seca de raízes (Figura 3), tanto para a testemunha (dose zero) como para as doses superiores a $0,8 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. Todavia, o primeiro apresentou I_{50} ($0,6065 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a.) cerca de 100% superior ao verificado para IEF-1 com $0,3186 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. e MN 445 com $0,3657 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., o que caracteriza maior tolerância do GE 463 ao imazapyr em relação aos demais.

Os clones utilizados no segundo ensaio mostraram altura semelhante entre si (Figura 4) na ausência de imazapyr, porém os clones IEF-1 e IEF-2, à medida que se aumentaram as concentrações do herbicida, apresentaram menor crescimento em altura, sendo o efeito mais pronunciado para o híbrido IEF-2, pois este apresentou menor valor de I_{50} ($x_0 = 0,1180$). Os clones 7182 e 129 foram mais tolerantes ao imazapyr, uma vez que as doses aplicadas foram insuficientes para se determinar o I_{50} .

Fez-se necessária a transformação das variáveis BSPA e BSRA utilizando a equação $x_t = \text{LOG } x$ (em que x é a variável de estudo e x_t , a transformada) para se obter a distribuição normal dos dados.

O LOG da produção de biomassa seca de parte aérea (Figura 5) foi semelhante nos clones IEF-1 com 0,9816 e 7182 com 0,9528 na ausência do herbicida; no entanto, o I_{50} foi cerca de três vezes maior para o 7182 ($x_0 = 0,6043$) em relação ao IEF-1 ($x_0 = 0,2384$), mostrando maior tolerância deste clone a doses inferiores a $0,8 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a. A superioridade deste clone também é constatada, pelas mesmas razões, quando se compara com o valor de I_{50} do IEF-2 ($x_0 = 0,1149$) e 129 ($x_0 = 0,0756$), sendo cinco vezes maior que o primeiro e oito vezes maior que o segundo. Esses dois últimos clones, além de terem apresentado menor BSPA sob ausência de imazapyr e menores valores de I_{50} , também apresentaram maior efeito de dose-resposta da BSPA sob doses superiores a $0,8 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a.

Ao analisar o LOG da biomassa seca de raízes (BSRA), verificou-se que o clone 7182 também se mostrou mais tolerante ao imazapyr nas doses abaixo de $0,4 \mu\text{L L}^{-1}$ i.a., apresentando maior valor de I_{50} dentre os híbridos, pois incrementos nas doses superiores a esta proporcionaram menor crescimento da BSRA para os clones IEF-1 e 7182 (Figura 6).

Nas condições de realização dos experimentos, os resultados permitem as seguintes conclusões:

- A estimativa do valor de I_{50} varia de acordo com a característica avaliada.
- A toxicidade do herbicida é inicialmente mais intensa na parte aérea do que no sistema radicular.
- A eficiência de uso do imazapyr em eucalipto para o controle de brotações varia de acordo com o genótipo.
- Os clones GE 463 e 7182 são mais tolerantes ao imazapyr.

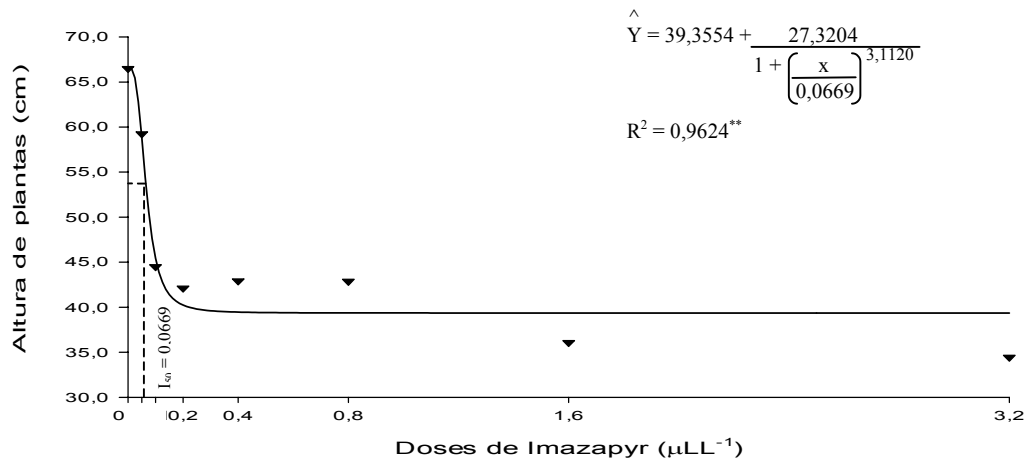
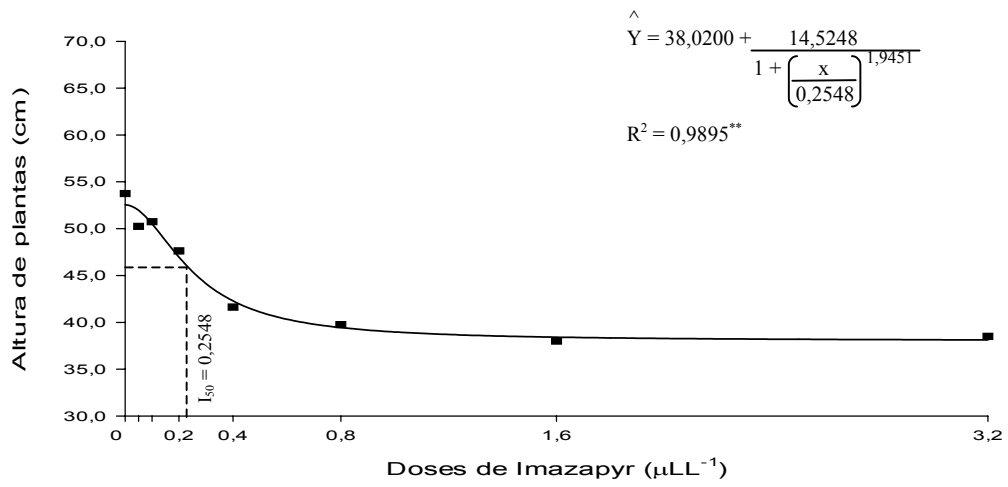
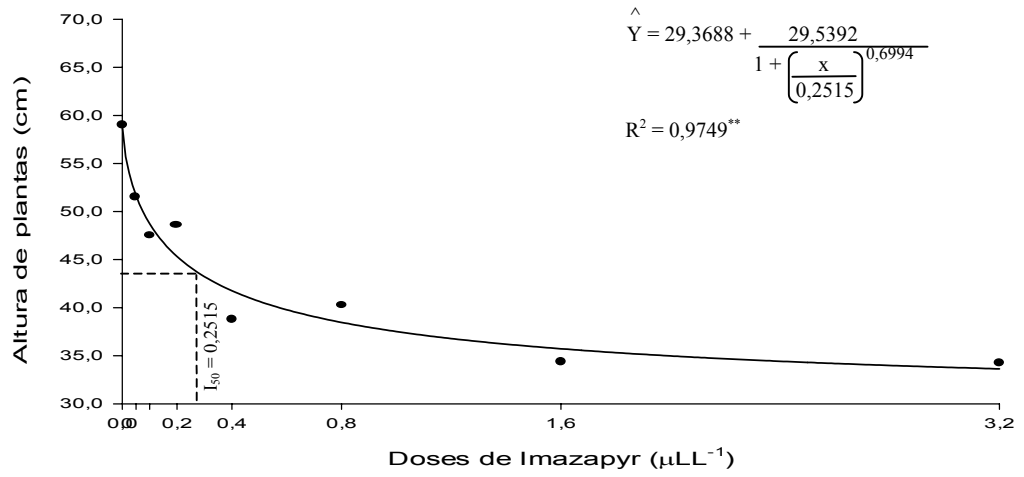


Figura 1 – Curva de dose-resposta da altura de plantas dos clones IEF-1 (●), GE 463 (■) e MN 445 (▼), sob doses crescentes de imazapyr.

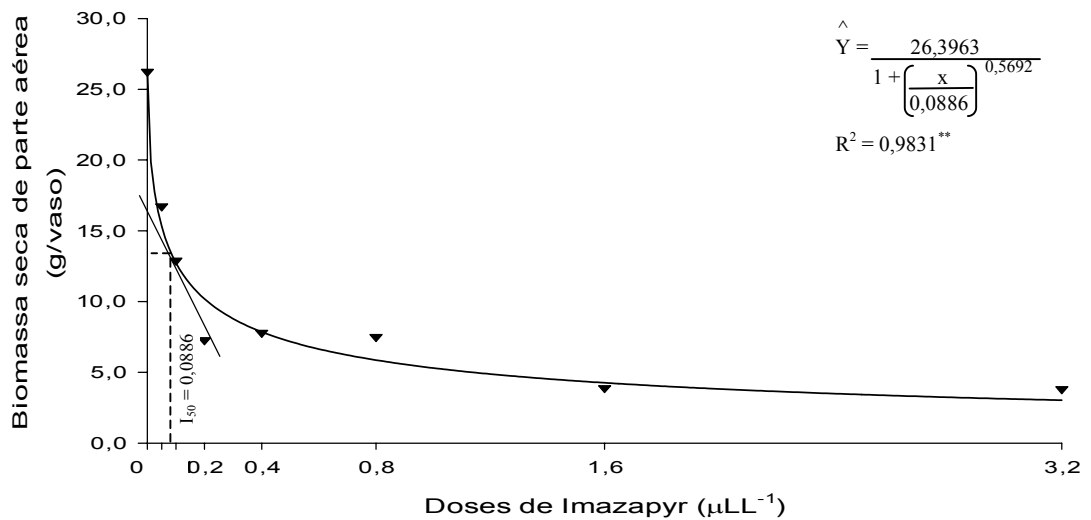
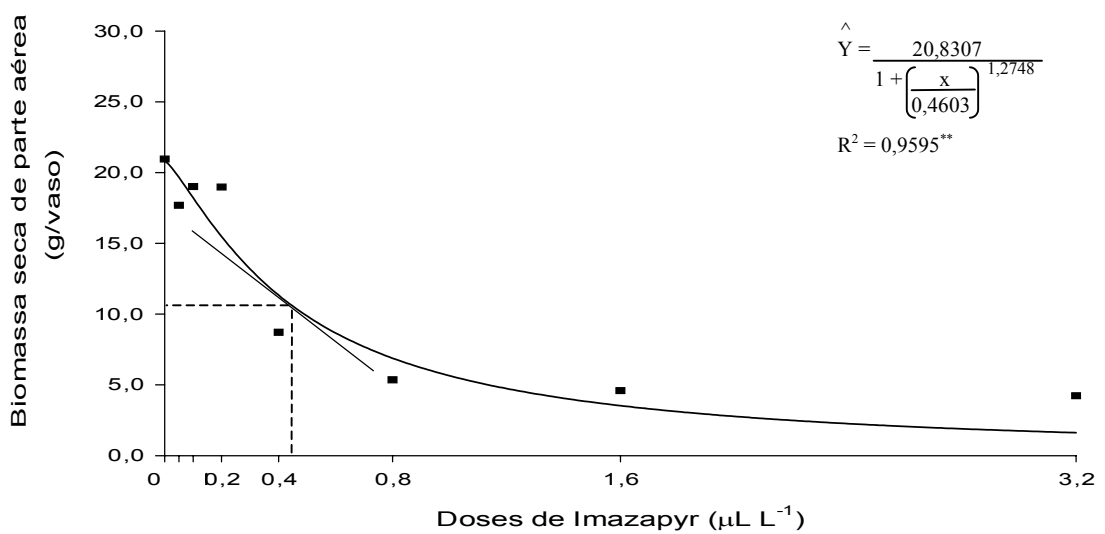
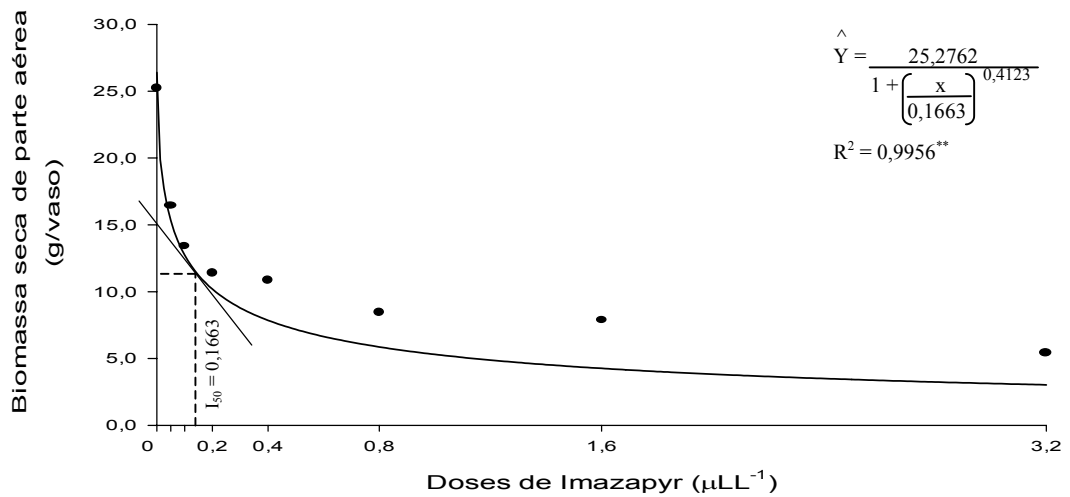


Figura 2 – Curva de dose-resposta da biomassa seca de parte aérea dos clones IEF-1 (●), GE 463 (■) e MN 445 (▼), sob doses crescentes de imazapyr.

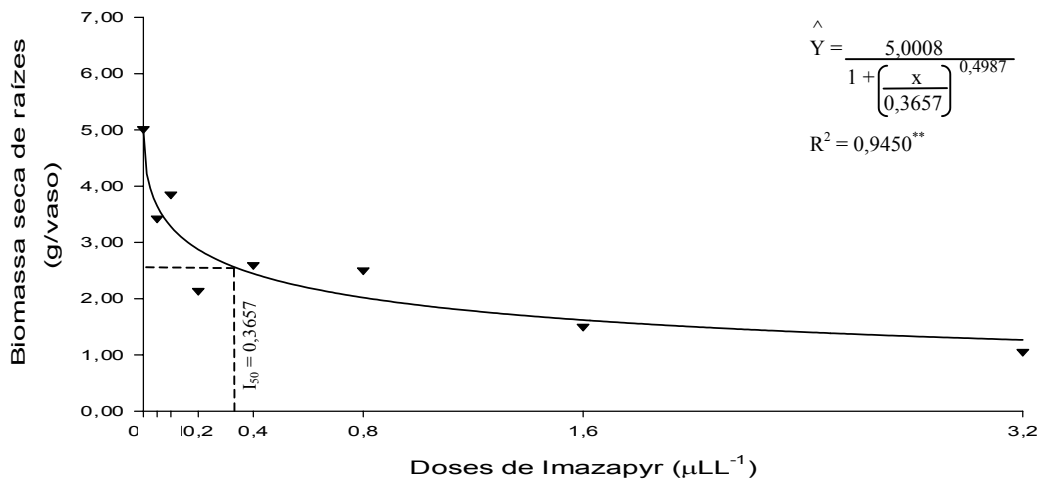
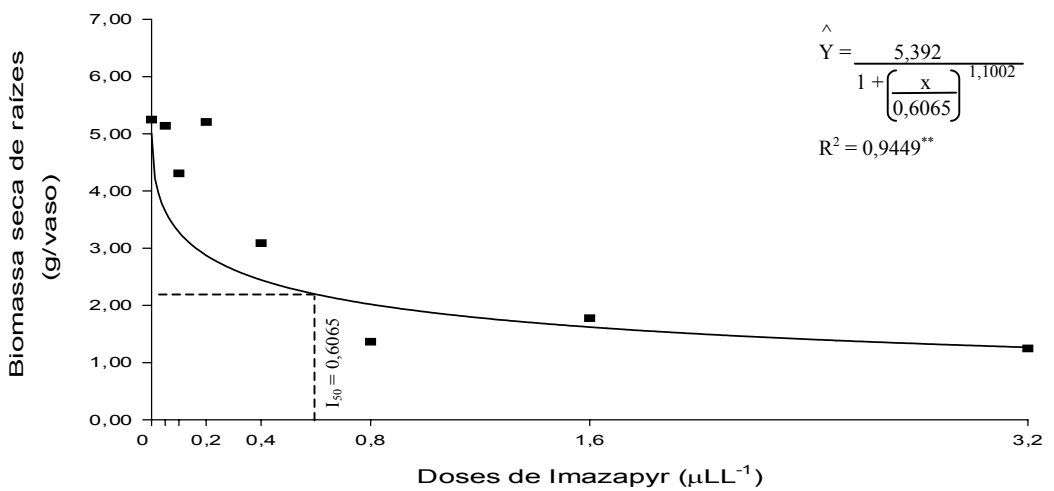
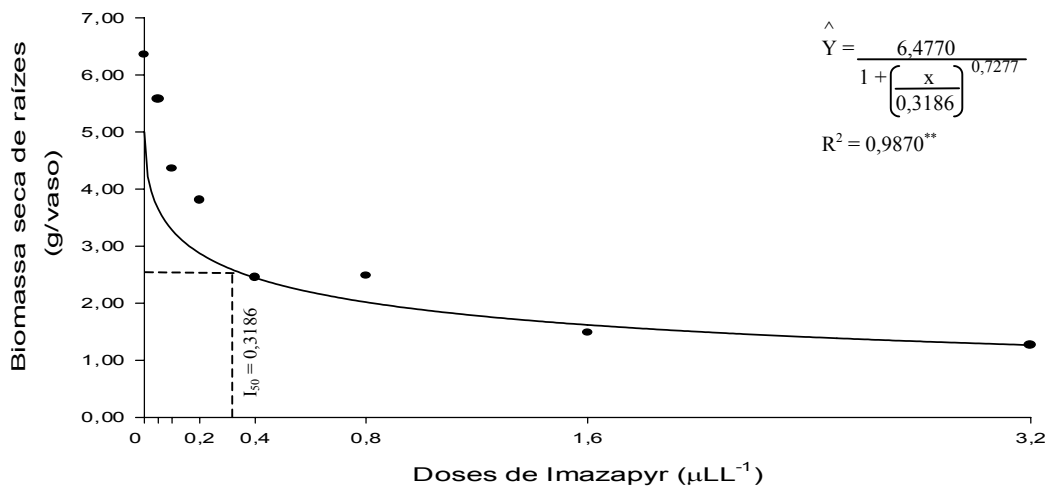


Figura 3 – Curva de dose-resposta da biomassa seca de raízes dos clones IEF-1 (●), GE 463 (■) e MN 445 (▼), sob doses crescentes de imazapyr.

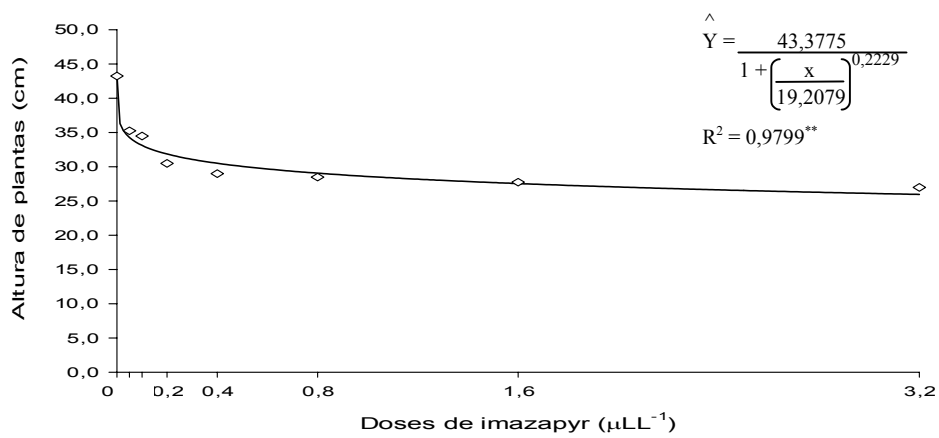
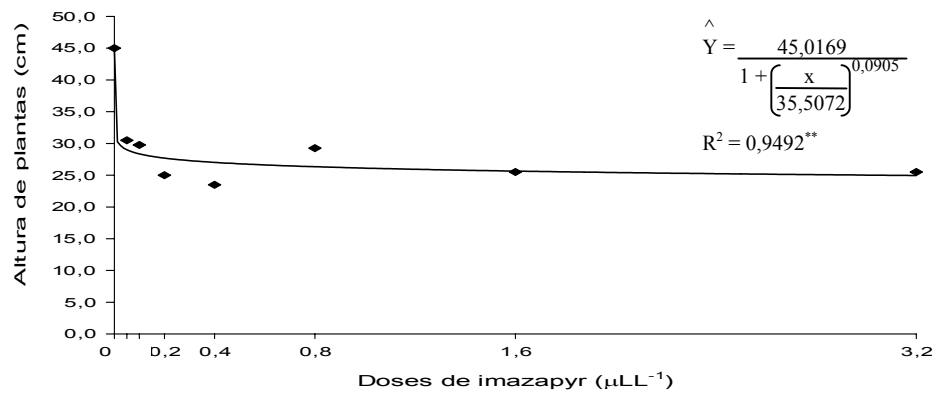
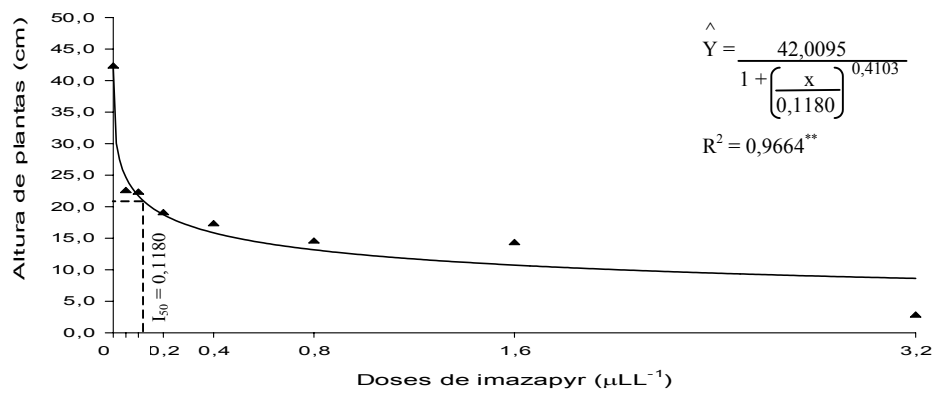
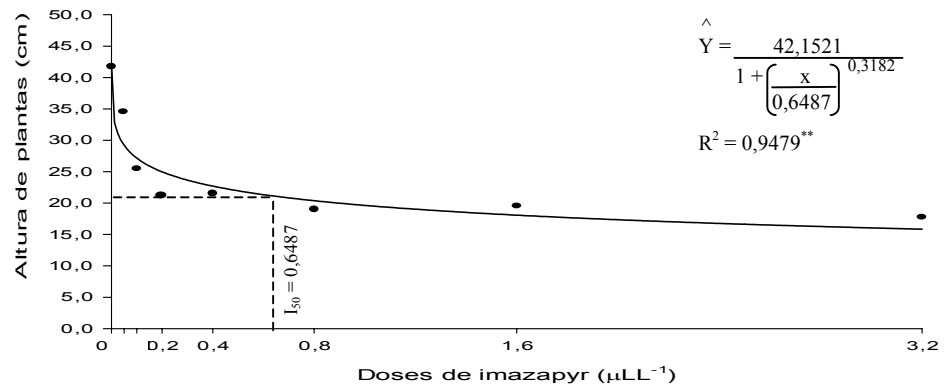


Figura 4 – Curva de dose-resposta da altura de plantas dos clones IEF-1 (●), IEF-2 (▲), 129 (◆) e 7182 (◇), sob doses crescentes de imazapyr.

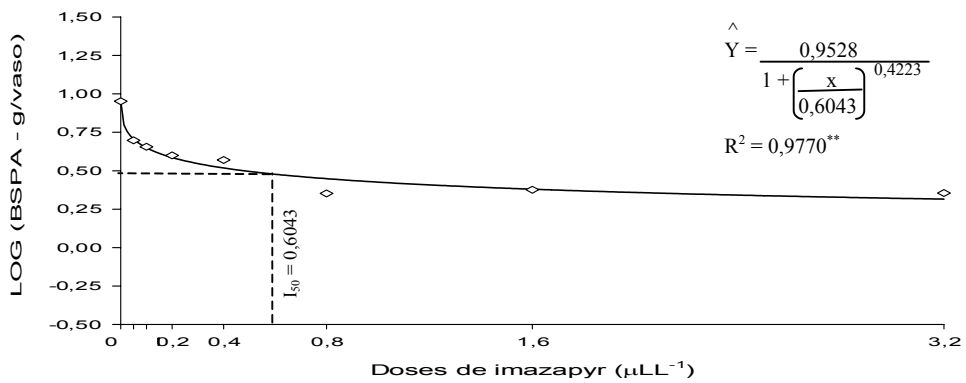
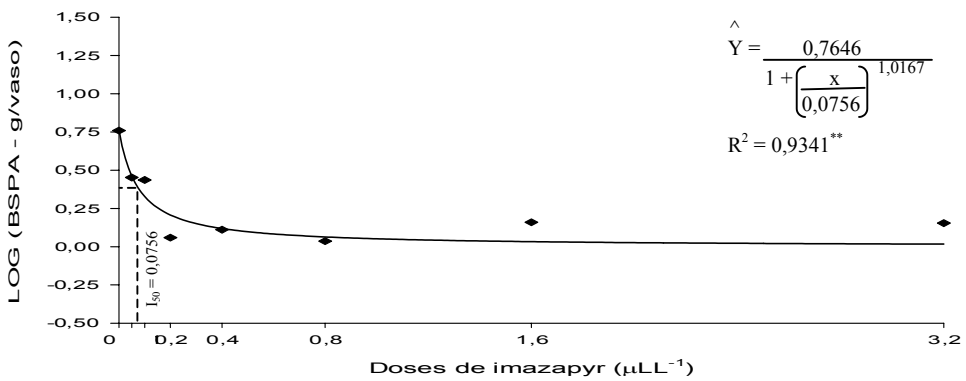
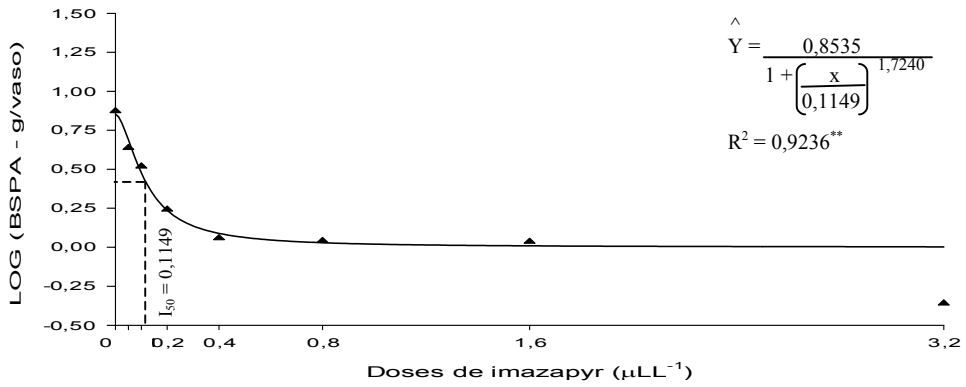
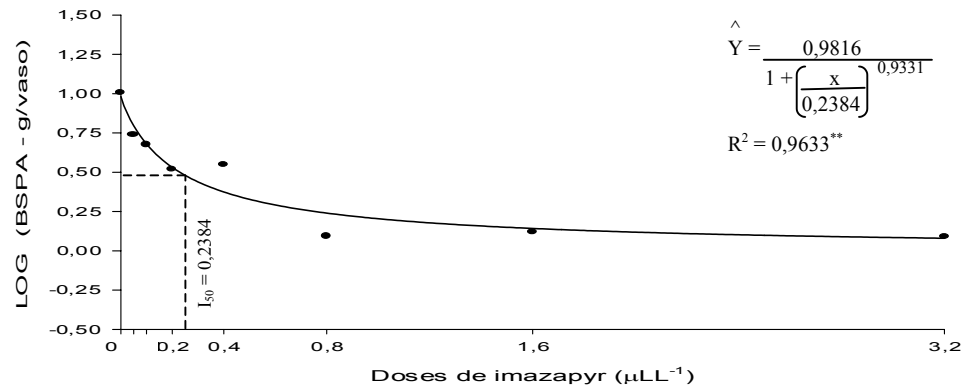


Figura 5 – Curva de dose-resposta do LOG da biomassa seca de parte aérea (BSPA) dos clones IEF-1 (●), IEF-2 (▲), 129 (◆) e 7182 (◇), sob doses crescentes de imazapyr.

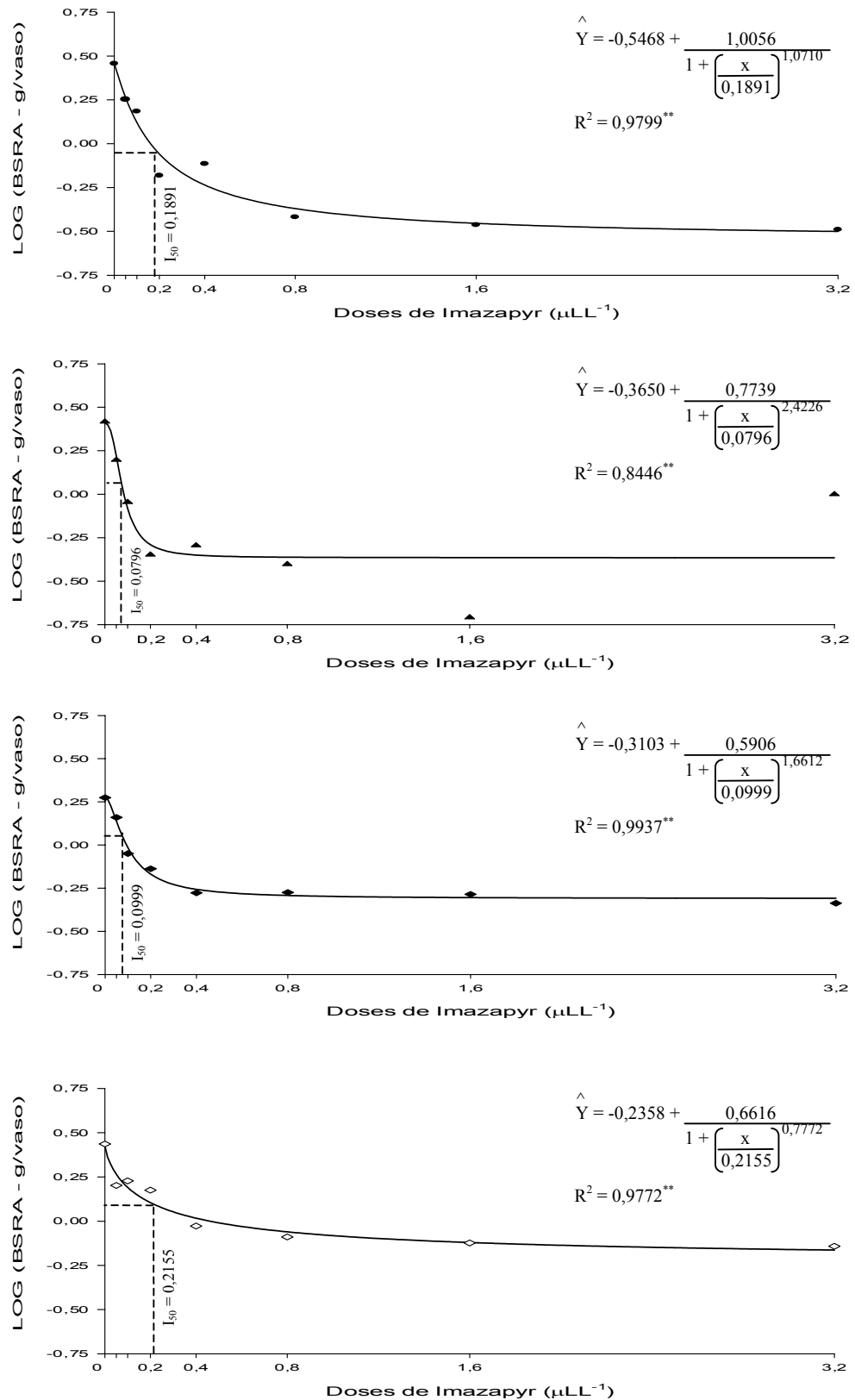


Figura 6 – Curva de dose-resposta do LOG da biomassa seca de raízes (BSRA) dos clones IEF-1 (●), IEF-2 (▲), 129 (◆) e 7182 (◇), sob doses crescentes de imazapyr.

LITERATURA CITADA

- AHRENS, J.F. Tolerance of dormant Fraser fir to post-emergence herbicides. **Proceedings Northeast Weed Science Society**, n.35, p.203-206, 1981.
- BEARDMORE, R.A.; HART, R.; IVERSON, R. et al. Imazapyr herbicide. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991, p.211-227.
- BOYD, R.S.; FREEMAN, J.D.; MILLER, J.H. et al. Forest herbicide influences on floristic diversity seven years after broadcast pine release treatments in central Georgia, USA. **New Forest**, v.10, n.1, p.17-34, 1995.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **J. Agric. Food Chem.**, v.23, n.3, p.458-460, 1975.
- CYANAMID. Lançamento do herbicida Chopper NA. Rio de Janeiro, 1999. **CD-ROM**.
- DANTAS, F.W.F.; SOUZA, A.J.; DI CIERRO, A. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE HERBICIDAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO EM FLORESTAS, 1, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SIF, p.29-44, 2001.
- DEMÉTRIO, C.G.B. **Transformação de dados**: efeitos sobre a análise de variância. 1978. 113p.. Dissertação (Mestrado em Experimentação e Estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Report of the 3rd and 4rd meetings of EWRC. Comittees of Methods in Weed Research. **Weed Res.**, v.4, p.88, 1964.
- FILGUEIRAS, J.F. **Análise sócio-econômica dos reflorestamentos com eucalipto, no distrito federal do Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 1989. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FINNEY, D.J. Bioassay and the practice of statistical inference. **Int. Stat. Rev.**, v.47, n.1, p.1-12, 1979.
- GUERREIRO, C.A.; ROMERO, A.; WADOUSKI, L.H. Desenvolvimento de um rebaixador mecanizado de cepas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990. 801p. v.3, p.4-6.
- GRATKOWSKI, H.J. Seasonal effects of phenoxy herbicides on ponderosa pine and associated brush species. **Forest Sci.**, v.23, n.1, p.3-12, 1977.

- JOHANSSON, T. Preventing stump regrowth with a herbicide-applying tree cutter. **Weed Res.**, v.28, n.5, p.353-358, 1988.
- KING, S.P.; RADOSEVICH, S.R. Herbicide tolerance in relation to growth and stress in conifers. **Weed Sci.**, v.33, n.4, p.472-478, 1985.
- LEE, A.; GATTERDAM, P.E.; CHIU, T.Y. et al. Plant metabolism. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.151-165.
- LITTLE, L.; MAXFIELD, M.; KRITZINGER, J. Control of *Eucalyptus grandis* cut stumps. **ICFR Bul. Series**, n.2, 1998, 15p.
- LUND-HOIE, K.; ROGNSTAD, A. Stump treatment with imazapyr and glyphosate after cutting hardwoods to prevent regrowth of suckers. **Crop Protection**, v.9, n.1, p.59, 1990.
- MOORHEAD, D.J. **Forest Herbicides**. Disponível em: <http://www.ent.uga.edu/pest2001/trees/forest_herbicides.htm#injection>. Acesso em: 11 janeiro 2002.
- MORO, L. COLLI JR, G.; CANEVA, R.A. et al. Rebaixamento de tocos de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, n.165, p.1-3, 1988.
- ORWICK, P.L.; MARC, P.A.; UMEDA, K. et al. AC 252,925 – a new broad spectrum herbicide: green house and field studies. In: 36th Annual Southern Weed Science Meeting. **Proceedings...** St. Louis, n.36, p.291, 1983.
- PALEY, S.M.; RADOSEVICH, S.R. Effect of physiological status and growth of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) and greenleaf manzanita (*Arctostaphylos patula*) on herbicide selectivity. **Weed Sci.**, v.32, n.3, p.395-402, 1984.
- POGGIANI, F.; REZENDE, G.C.; SUITER FILHO, W. Efeitos do fogo na brotação e crescimento de *Eucalyptus grandis* após o corte raso e alterações nas propriedades do solo. **IPEF**, n.24, p.33-42, 1983.
- RADOSEVICH, S.R.; BAYER, D.E. Effect of temperature and photoperiod on triclopyr, picloram, and 2,4,5-T translocation. **Weed Sci.**, v.27, n.1, p.22-27, 1979.
- RIPASA. Reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp. – estudo de alternativas operacionais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, Belo Horizonte, 1982. **Anais...** Silvicultura: SBS, n.28, p.269-273, 1983.
- RODRIGUES, B.N., ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4. ed. B.N. RODRIGUES & F.S. ALMEIDA, Londrina, 1998. 331p.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**: versão 5.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1993.

- SBS. **Dados estatísticos sobre a produção nacional de eucalipto**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em:
<<http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>>. Acesso em: 24 janeiro 2002.
- SEEFELDT, S.; JENSEN, J.E.; FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technol.**, v.9, n.2, p.218-227, 1995.
- SHANER, D.L.; MALLIPUDI, N.M. Mechanisms of selectivity of the imidazolinones. In: **The Imidazolinone Herbicides**. ed. D.L. SHANER & S.L. O'CONNOR: CRC Press Inc., Boca Raton, 1991. p.91-102.
- SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**: version 4.0, SPSS Inc., 1997.
- SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; PASSOS, C.A.M. et al. Viabilidade econômica do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijão: um estudo de caso. **Rev. Árvore**, v.21, n.4, p.527-35, 1997.
- SIMÕES, J.W. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. **IBDF**, 1981. 74p.
- SOUZA, A.P.; FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I – Método do Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, p.5-16, 2000.
- STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.**, v.28, n.6, p.479-484, 1988.
- VIEIRA, S.B.; DA SILVA, E.F. Teste de máquina LEVCO 540 na eliminação de tocos de eucaliptos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982. **Anais...** Silvicultura: SBS, n.28, 1983. 920p. p.608.
- WHITFORD, K.R.; STONEMAN, G.L.; FREMAN, I.A. et al. Mortality of *Eucalyptus marginata* (jarrah) and *E. calophylla* (marri) trees following stem injection: effects of herbicide, dose, season, and spacing of injections. **Austr. Forestry**, v. 58, n.4, p.172-178, 1995.

EXSUDAÇÃO RADICULAR DE IMAZAPYR POR PLANTAS DE EUCALIPTO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

Na eucaliptocultura nacional tem-se utilizado o imazapyr para manutenção de aceiros e erradicação de cepas e brotações em áreas de reforma dos povoamentos; no entanto, têm sido levantadas indagações quanto ao destino final da molécula. A exsudação radicular de imazapyr em plantas de eucalipto foi avaliada por meio de bioensaio em casa de vegetação, aplicando-se diferentes doses do herbicida (0,000; 0,375; 0,750; 1,125 e 1,500 kg ha⁻¹ i.a.) sobre mudas de *Eucalyptus grandis*, provenientes de propagação vegetativa, cultivadas em sistema hidropônico, em vasos de 2.500 mL. Como bioindicador empregaram-se mudas do mesmo clone (IEF-1) com 40 dias de idade, transplantadas para os vasos dois dias após aplicação do herbicida. Após um período de 13 dias de convivência retiraram-se as plantas que receberam a aplicação, descartando-as; dez dias após, foram avaliados os sintomas visuais de toxicidade e determinadas as biomassas secas de parte aérea e raízes das mudas do bioindicador. A menor dose do herbicida (0,375 kg ha⁻¹ i.a.) provocou interferência no crescimento em biomassa total, sendo mais pronunciado para parte aérea, com maior valor de I₅₀ para biomassa seca de raiz. Observou-se que mudas de *E. grandis* exsudam o imazapyr e, ou, seus metabólitos, em concentrações capazes de afetar o crescimento de plantas da mesma espécie.

Palavras-chave: Chopper NA, *Eucalyptus grandis*, exsudados radiculares, interferência, herbicida.

IMAZAPYR RADICULAR EXUDATION BY EUCALYPTUS PLANTS IN NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT

Imazapyr has been utilized in domestic eucalyptus cultivation for the maintenance of clearings and elimination of vines and sprouts in areas undergoing stand reform; however, inquiries have been made as to the final fate of the molecule. Imazapyr radicular exudation in eucalyptus plants was evaluated through a bioassay under greenhouse conditions, by applying different herbicide doses (0.000; 0.375; 0.750; 1.125 and 1.500 kg ha⁻¹ a.i.) on *Eucalyptus grandis* seedlings, deriving from vegetative propagation, hydroponically cultivated in vases of 2500 mL. As bioindicators, seedlings of the same clone (IEF-1) at 40 days of age were employed, transplanted to the vases two days after herbicide application. After a period of 13 d of coexistence, the plants sprayed were removed and discarded; ten d later, the visual symptoms of toxicity were evaluated and dry mass of the aerial parts and seedling roots of the bioindicators were determined. The lowest herbicide dose (0.375 kg ha⁻¹ a.i.) interfered in total biomass growth, being most evident in the aerial part, with a greater value of I₅₀ for root dry biomass. *E. grandis* seedlings were observed to exudate imazapyr and/or, its metabolites, in concentrations capable of affecting the growth of plants of the same species.

Key words: Chopper, *Eucalyptus grandis*, radicular exudates, interference, herbicide.

INTRODUÇÃO

O setor florestal desempenha importante papel na economia brasileira tanto em termos de geração de divisas como de empregos diretos ou indiretos (SBS, 2000), devido à alta competitividade do setor no mercado externo (Silva et al., 1997), a investimentos no aumento da produtividade, ao marketing florestal (FSC e ISO 14000) (Lélis, 1999) e à busca de programas sustentáveis (Nardelli et al., 2000), sob uma visão mais holística do empreendedor.

Entre os fatores responsáveis pelo aumento da produtividade está o uso de herbicidas no controle de brotações, quando se opta pela reforma dos povoamentos com eucalipto, o que proporciona maior eficiência de controle das brotações e menor impacto físico no solo (compactação), por não serem utilizados tratores de pneus sobre a área para execução dessa operação. O glyphosate e o imazapyr são os herbicidas mais utilizados para esse fim, sendo que esse último tem possibilitado maior flexibilidade de tempo entre a aplicação e o corte das árvores (Respondeusk, 1999).

A aplicação de imazapyr é feita por injeção em uma inserção de cerca de 2,5 cm na árvore, na altura do peito - 1,30 m (Moorhead, 2002). A dose deve ser determinada de acordo com a espécie, o híbrido ou clone utilizados (Silva et al., 2002), bem como sua idade. Observa-se controle eficiente das brotações com o uso de imazapyr (Dantas et al., 2001), pois o herbicida atua nos pontos de crescimento da planta, inibindo a rebrota (Rodrigues e Almeida, 1998; Silva et al., 1999). No entanto, há preocupação quanto às doses utilizadas e ao destino final da molécula; pois o imazapyr poderia não ficar restrito ao eucalipto, sendo metabolizado a compostos não-tóxicos e, ou exsudado no solo.

Linder et al. (1964) verificaram que algumas plantas são capazes de exsudar no solo substâncias aplicadas via caule ou folhas. Os mecanismos responsáveis pela exsudação radicular são pouco estudados, porém a significância biológica da exsudação deve ser considerada. Segundo Smith (1976), a exsudação de compostos pelas raízes das plantas pode alterar o “pool” de nutrientes e outros compostos no solo, podendo representar significativas mudanças no sistema; além disso, a liberação dessas substâncias pode ser fator inibitório para o

desenvolvimento de plantas vizinhas (Linder et al., 1957). O nicosulfuron, por exemplo, quando aplicado sobre o capim-massambará (*Sorghum halepense*), pode ser exsudado, na sua forma original e, ou, em metabólitos tóxicos, pelo sistema radicular da planta daninha e ser absorvido pela cultura do milho, ou pode modificar a composição aleloquímica desta planta, acentuando a toxicidade sobre a cultura (Gubbiga et al., 1996).

Vários grupamentos orgânicos podem ser liberados por meio de exsudados radiculares em espécies herbáceas e lenhosas, em solo ou em solução, como: carboidratos, aminoácidos, nucleotídeos, flavonóides, enzimas e vitaminas (Böner, 1960; Rovira e McDougall, 1967; Rovira, 1969; McDougall, 1970; Hale et al., 1971; Smith, 1976; Silva et al., 2001). Tem-se verificado que alguns herbicidas também são capazes de ser exsudados pelo sistema radicular de plantas daninhas e de culturas agrícolas. Coupland e Caseley (1979) verificaram a exsudação radicular de glyphosate por *Agropyron repens* após acúmulo do herbicida em raízes e rizomas da planta. Acumulação em estruturas da planta, com posterior exsudação, foi constatada por Fites et al. (1964) em plantas de quinquilho (*Datura stramonium*) após seis semanas da aplicação foliar de 2,4-D. Foy e Hurtt (1967) examinaram 31 compostos que podem ser excretados por plantas de feijão quando da aplicação foliar, entre eles picloram, dicamba e o ácido 2,3,6-triclorobenzóico, os quais podem causar toxicidade em plantas vizinhas à cultura.

Todavia, em se tratando de exsudação de herbicidas por eucalipto, não há registros em literatura especializada. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a exsudação do imazapyr pelas plantas de *Eucalyptus grandis*, cultivadas em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado em casa de vegetação, em sistema hidropônico, utilizando-se vasos plásticos com 2.500 mL de solução nutritiva, a qual teve o pH corrigido a cada dois dias para $5,50 \pm 0,10$, utilizando NaOH ou HCl para a correção. Os vasos receberam revestimento prateado nas paredes externas e foram envoltos internamente por dupla camada plástica, sendo a primeira de coloração preta e a outra transparente. As tampas destes apresentavam duas perfurações de 14 mm e uma de 2 mm, sendo as primeiras utilizadas para receber as mudas de eucalipto e a perfuração menor destinada a passagem da mangueira condutora de aeração para a solução, ligada a um compressor com fluxo contínuo de ar.

As mudas de *Eucalyptus grandis* utilizadas eram provenientes de propagação vegetativa (clone IEF-1), possuíam cinco meses de idade e altura variando de 15 a 20 cm, formadas em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm³ de capacidade, em substrato composto de casca de arroz carbonizada (46%), vermiculita (46%) e solo de horizonte B (8%). No transplante foram utilizadas plantas homogêneas em altura, as quais tiveram o sistema radicular cuidadosamente lavado e foram transferidas imediatamente para solução nutritiva de Clark (Clark, 1975), sendo uma planta por vaso, onde permaneceram por 40 dias (fase adaptativa), para emissão de novas folhas e raízes. A solução nutritiva foi trocada semanalmente, sendo a última troca no dia da aplicação foliar de imazapyr, que foi realizada utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂ com 30 lb. pol⁻² e volume de calda de 200 L ha⁻¹, tendo-se o cuidado prévio de cobrir a superfície dos vasos com dupla camada plástica, para evitar a contaminação da solução nutritiva.

Os tratamentos foram compostos de quatro doses de imazapyr mais uma testemunha (sem a aplicação do herbicida), sendo 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 L ha⁻¹ do produto comercial, que corresponde a 0,375; 0,750; 1,125 e 1,500 kg ha⁻¹ i.a.

Dois dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) foi transplantada para a solução uma muda/vaso do mesmo clone com 40 dias de idade e altura de 6 a 9 cm, que constituiu o bioindicador da presença do herbicida em solução. Por um período de 13 dias houve a convivência nos vasos das mudas que receberam a

aplicação foliar de imazapyr e o bioindicador, seguindo-se a retirada das primeiras mudas e deixando o bioindicador em solução por mais dez dias, quando então se avaliou a toxicidade. Esta foi realizada adaptando-se a escala sintomática da European Weed Research Council (EWRC, 1964), em que se atribuíram notas de 1 a 9 representando, 0, 1-15, 16-30, 31-45, 46-60, 61-75, 76-90, 91-99 e 100% de toxicidade, respectivamente, sendo 0 (zero) ausência de sintomas e 100%, morte dos ponteiros.

Após a separação da parte aérea das raízes, estas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação de ar, a $72^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$, até peso constante, aproximadamente 72 horas, para determinação das biomassas secas.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos, correspondentes às doses do herbicida, e quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após serem verificadas as pressuposições desta (Demétrio, 1978). Após a ANOVA, fez-se análise de regressão, utilizando-se o modelo logístico para avaliação de dose-resposta para as biomassas secas. Para análise de variância utilizou-se o pacote estatístico SAEG (SAEG, 1993) e, para as estimativas dos parâmetros da regressão do modelo, o programa SIGMAPLOT (SIGMAPLOT, 1997).

O modelo logístico - equação 1 (Finney, 1979; Streibig, 1988; Souza et al., 2000) - apresenta três parâmetros: **a**, denominado “nível de saturação”, correspondente à resposta do bioindicador na dose zero; **x₀**, ponto de inflexão da curva, que corresponde ao valor de I_{50} (dose que inibe 50% do crescimento do bioindicador); e **b**, que descreve o declive da curva em torno de I_{50} .

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{X}{x_0} \right)^b} \quad (\text{eq. 1})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, pela Figura 1, que a função logística apresentou ótimo ajustamento da dose-resposta para o imazapyr ($R^2 > 0,90$), no que se refere às características avaliadas, fato este também observado por Souza et al. (2000) ao utilizar essa equação no estudo de doses-resposta de imazapyr por plantas de tomate.

Quando do transplântio das mudas de eucalipto, com função de bioindicador, estas apresentavam BSPA média de 0,118 g/planta (dados estimados a partir de outras plantas clonais no mesmo estágio de crescimento). Sendo de baixa variabilidade quanto à biomassa, e tomando-se como base o valor médio da BSPA no momento do transplântio, tem-se que durante a permanência do bioindicador em solução houve incremento de aproximadamente seis vezes na biomassa seca de parte aérea, para a testemunha (0,6824 g/planta). O *E. grandis* foi capaz de exsudar quantidade suficiente do imazapyr e, ou, de seus metabólitos a partir da menor dose (0,375 kg ha⁻¹ i.a.), causando toxicidade às mudas novas do mesmo clone (40 dias de idade), transplântadas após aplicação (Figura 2), o que pode ser observado por menores acréscimos na biomassa seca de parte aérea a partir do valor de I₅₀ (0,2083 kg ha⁻¹ i.a.), sendo 0,3412 g/planta sob esta dose e 0,2239 g/planta para a maior dose utilizada (1,500 kg ha⁻¹ i.a.).

Quando do transplântio para a solução nutritiva, plantas no mesmo estágio do bioindicador apresentavam BSRA de 0,068 g/planta; logo, sob a maior dose do herbicida utilizada (1,500 L ha⁻¹), a quantidade de exsudados radiculares na solução foi capaz de causar interferência de 58% no acúmulo de biomassa, quando comparado com acúmulo obtido na ausência do herbicida (0,1903 g/planta) (Figura 1).

O valor de I₅₀ para biomassa seca de raiz (BSRA) foi de 0,8804 kg ha⁻¹ i.a., ou seja, na dose comercialmente utilizada para controle da brotação já estabelecida (0,750 kg ha⁻¹ i.a.), a quantidade de exsudados de imazapyr presentes na solução não foi suficiente para causar 50% da inibição no crescimento radicular das plantas indicadoras.

A maior suavização da curva de dose-resposta, em torno do valor de I_{50} , foi obtida para BSRA em comparação com a BSPA, uma vez que a reta tangente à curva sob este valor forma um ângulo menor com o eixo das doses do herbicida, indicando que o aumento nas concentrações aplicadas do herbicida sobre plantas de *E. grandis* redundou em concentrações de exsudados na solução que causaram maior toxicidade na parte aérea em plantas novas do mesmo clone, o que pode ser visualizado nas Figuras 2 e 3.

Diante do exposto, há de se considerar que, caso haja aplicação de imazapyr no caule das árvores para controle da rebrota em cultivos comerciais de eucalipto, existe a possibilidade de exsudação do herbicida e, ou, de seus possíveis metabólitos, podendo provocar interferência deletéria sobre o crescimento do eucalipto usado nas entrelinhas do cultivo posterior (reforma), em razão da maior persistência da molécula no solo (Liebl e Bridges, 2000), das ligações de fraca intensidade com constituintes deste, influenciada fortemente pela variação de pH (Dickens e Wehtje, 1986; Pusino et al., 1997), e da lixiviação reversa, ou seja, movimentação da molécula por capilaridade (Firmino, 2001).

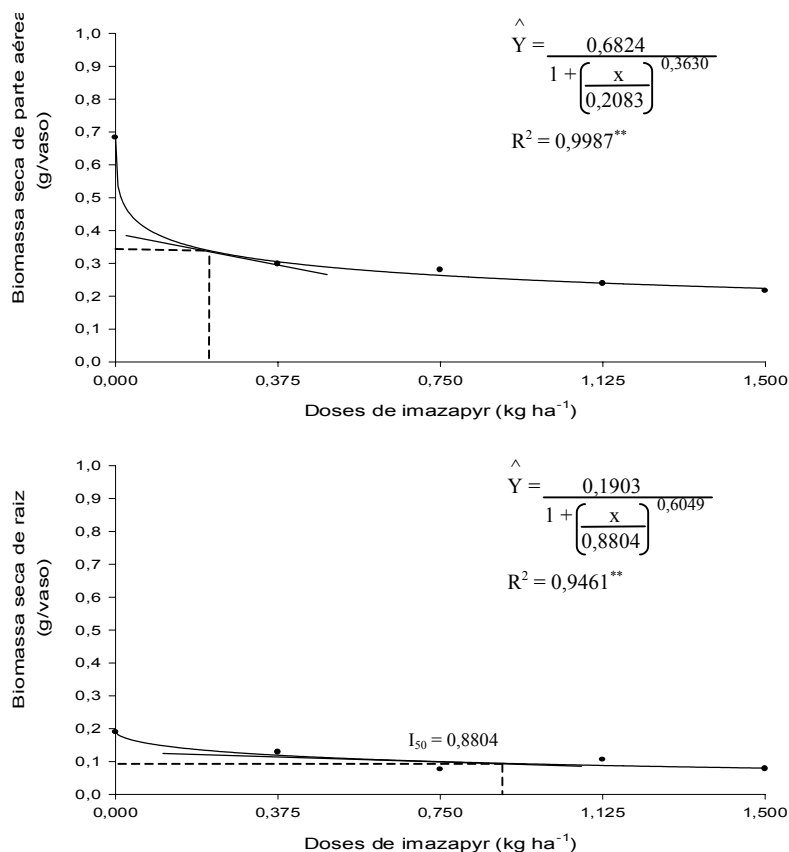


Figura 1 – Biomassas secas de parte aérea (●) e de raiz (■) de mudas de eucalipto usadas como bioindicador e cultivadas em solução nutritiva contendo exsudados radiculares de plantas de eucalipto, submetidas à aplicação foliar de imazapyr, aos 23 dias após o transplante.

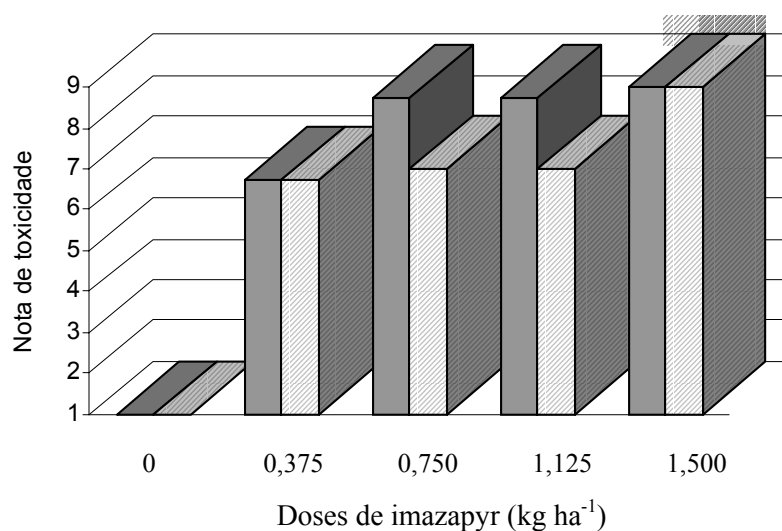


Figura 2 – Média das notas visuais de toxicidade em parte aérea (■) e raízes (▨) em mudas de eucalipto usadas como bioindicador e cultivadas em solução nutritiva contendo exsudados radiculares de plantas de eucalipto, submetidas à aplicação foliar de imazapyr, 23 dias após o transplante destas.



Figura 3 – Aspecto visual do crescimento de mudas de eucalipto usadas como bioindicador e cultivadas em solução nutritiva contendo exsudados radiculares de plantas de eucalipto, submetidas à aplicação foliar de imazapyr, aos 23 dias após o transplante.

Sob as condições experimentais, os resultados convergem para as seguintes conclusões:

- Mudas de *E. grandis* apresentam exsudação radicular de imazapyr quando este é aplicado na parte aérea.
- A quantidade de compostos tóxicos exsudados afeta o crescimento de mudas de eucalipto usadas como bioindicador, mesmo sob a menor dose utilizada (0,375 kg ha⁻¹ i.a.).
- A toxicidade de exsudados radiculares é mais intensa na parte aérea das plantas de eucalipto utilizadas como bioindicador.

LITERATURA CITADA

BÖNER, H. Liberation of organic substances from higher plants and their role in the soil sickness problem. **Bot. Review**, v.26, p.393-424, 1960.

CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **J. Agric. Food Chem.**, v.23, n.3, p.458-460, 1975.

COUPLAND, D.; CASELEY, J.C. Presence of ^{14}C activity in root exudates and guttation fluid from *Agropyron repens* treated with ^{14}C -labelled glyphosate. **New Phytologist**, v.83, n.1, p.17-22, 1979.

DANTAS, F.W.F.; SOUZA, A.J.; DI CIERRO, A. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE HERBICIDAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO EM FLORESTAS, 1, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SIF, 2001. 74p. p.29-44.

DEMÉTRIO, C.G.B. **Transformação de dados**: efeitos sobre a análise de variância. 1978. 113p.. Dissertação (Mestrado em Experimentação e Estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DICKENS, R., WEHTJE, G. Mobility and soil solution characteristics of imazapyr (Arsenal) and sulfometuron methyl (Oust) in Alabama soils. **Proc. So. Weed Sci. Soc. American**, v.39, p.368, 1986.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Report of the 3rd and 4rd meetings of ewrc. Comittes of methods in Weed Research. **Weed Res.**, v.4, p.88, 1964.

FINNEY, D.J. Bioassay and the practice of statistical inference. **Int. Stat. Rev.**, v.47, n.1, p.1-12, 1979.

FIRMINO, L.E. **Sorção e movimento de imazapyr em três solos**. 2001, 45p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FITES, R.C.; SLIFE, F.W.; HANSON, J.B. Translocation and metabolism of radioactive 2,4-D in jimsonweed. **Weeds**, v.12, n.3, p.180-183, 1964.

FOY, C.L.; HURTT, W. Further studies on root exudation of exogenous growth regulators in *Phaseolus vulgaris* (L.). **Weed Soc. American**, p.40, 1967. (Abstract).

GUBBIGA, N.G.; WORSHAM, A.D.; CORBIN, F.T. Root/rhizome exudation of nicosulfuron from treated johnsongrass (*Sorghum halepense*) and possible implications for corn (*Zea mays*). **Weed Sci.**, v.44, n.3, p.455-460, 1996.

HALE, M.G.; FOY, C.L.; SHAY, F.J. Factors affecting root exudation. **Adv. Agron.**, v.23, p.89-109, 1971.

- LÉLIS, V.G.S. Certificação florestal. **Folha Florestal**, n.92, p.23-24, 1999.
- LIEBL, R.; BRIDGES, D.C. Imidazolinones and pyrimidyl-oxy-benzoates. In: **HERBICIDE ACTION COURSE**, 2000. West Lafayette, Purdue University, Indiana, USA. p.385-394, 2000.
- LINDER, P.J.; CRAIG JR, J.C.; WALTON, T.R. Movement of ^{14}C -tagged alpha-methoxyphenylacetic acid out of roots. **Plant Physiology**, v.32, n.6, p.572-575, 1957.
- LINDER, P.J.; MITCHELL, J.W.; FREEMAN, G.D. Persistence and translocation of exogenous regulating compounds that exude from roots. **J. Agr. Food Chem.**, v.12, n.5, p.437-438, 1964.
- MCDUGALL, B.M. Movement of ^{14}C -photosynthate into the roots of wheat seedlings and exudation of ^{14}C from intact roots. **New Phytologist**, v.69, n.1, p.37-46, 1970.
- MOORHEAD, D.J. **Forest Herbicides**. Disponível em: <http://www.ent.uga.edu/pest2001/trees/forest_herbicides.htm#injection>. Acesso em: 11 janeiro 2002.
- NARDELLI, A.M.B.; NASCIMENTO, A.R.; GRIFFITH, J.J. et al. Certificação florestal: uma realidade também no Brasil. **Folha Florestal**, v.96, p.7-9, 2000.
- PUSINO, A., PETRETTO, S., GESSA, C. Adsorption and desorption of imazapyr by soil. **J. Agr. Food Chem.**, v.45, n.3, p.1012-1016, 1997.
- RESPONDOVESK, R.J. Controle de brotações em reformas de plantações florestais na RIPASA. In: SEMINÁRIO SOBRE CONTROLE DE PLANTAS INFESTANTES EM ÁREAS FLORESTAIS, 1, Piracicaba - ESALQ, 1999. **CD-ROM**.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4. RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. (Eds): Londrina, 1998. 331p.
- ROVIRA, A.D. Diffusion of carbon compounds away from wheat roots. **Australian J. Biol. Sci.**, v.22, p.1287-1290, 1969.
- ROVIRA, A.D.; MCDUGALL, B.M. Microbiological and biochemical aspects of the rhizosphere. In: **Soil Biochemistry**. ed., A.D. MCLAREN & G.D. PETERSON: Marcel Dekker, New York, 1967, p.417.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**: versão 5.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1993.
- SBS. **Dados estatísticos sobre a produção nacional de eucalipto**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>>. Acesso em: 24 janeiro 2002.
- SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**: version 4.0, SPSS Inc., 1997.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F.; FERREIRA, F.A. et al. Manejo de plantas daninhas: herbicidas: comportamento no solo. In: **ABEAS, Curso de Proteção de Plantas**, p.84-96, 1999.

SILVA, C.M.M.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A. et al. **Tolerância de mudas de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) ao imazapyr em solução hidropônica**. 2002. (em via de publicação).

SILVA, F.A.M.; NOGUEIRA, F.D.; RIBEIRO, L.L. et al. Exsudação de ácidos orgânicos em rizosfera de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.19, n.2, p.193-196, 2001.

SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; PASSOS, C.A.M. et al. Viabilidade econômica do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijão: um estudo de caso. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v.21, n.4, p.527-35, out.,1997.

SMITH, W.H. Character and significance of Forest tree root exudates. **Ecology**, v.57, n.2, p.324-331, 1976.

SOUZA, A.P.; FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I – Método do Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, p.5-16, 2000.

STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.**, v.28, n.6, p.479-484, 1988.

EXSUDAÇÃO RADICULAR DE IMAZAPYR POR PLANTAS DE EUCALIPTO CULTIVADAS EM SOLO

RESUMO

O imazapyr tem sido utilizado para controlar brotações na reforma de cultivos florestais com o gênero *Eucalyptus*, por meio de sua aplicação no caule no pré-corte das árvores; dessa forma, o herbicida é direcionado exclusivamente à planta, porém tem-se pouco conhecimento sobre o destino final da molécula. A exsudação radicular do imazapyr por eucalipto, cultivado em solo, foi avaliada em casa de vegetação, aplicando-se diferentes doses do herbicida (0,000; 0,375; 0,750; 1,125; 1,500 e 3,000 kg ha⁻¹ i.a.) sobre a parte aérea de mudas clonais de *Eucalyptus grandis*, com oito meses de idade, as quais foram cultivadas em recipientes com 18,0 dm³ de solo. Quarenta dias após a aplicação do herbicida fez-se recopa do eucalipto e abertura de uma das laterais do recipiente, a qual foi inclinada 90°, recebendo a semeadura de plantas indicadoras da presença do herbicida (sorgo e pepino) ao longo da superfície exposta. Quinze dias após a semeadura, fez-se avaliação dos sintomas de toxicidade na parte aérea e determinou-se a biomassa seca de parte aérea e do sistema radicular das plantas indicadoras. Os resultados evidenciaram que o eucalipto apresenta exsudação radicular do imazapyr e, ou, de seus metabólitos em quantidade capaz de causar toxicidade nos bioindicadores, sendo esta observada em todas as plantas ao longo do vaso, com maior intensidade sob doses maiores.

Palavras-chave: Chopper NA, *Eucalyptus grandis*, bioindicadores, interferência, exsudados.

IMAZAPYR RADICULAR EXUDATION BY EUCALYPTUS PLANTS IN SOIL CULTIVATED

ABSTRACT

Imazapyr has been used to control sprouting in forest cultivation reform using *Eucalyptus*, by applying in on the stem during tree pre-cutting; thus, the herbicide is sprayed exclusively to the plant. However, little is known about the final fate of the molecule. Imazapyr radicular exudation using soil cultivated eucalyptus was evaluated under greenhouse conditions, by applying distinct herbicide doses (0.000; 0.375; 0.750; 1.125; 1.500 and 3.000 kg ha⁻¹ a.i.) on the aerial part of seedlings clones of *Eucalyptus grandis*, at eight months of age, cultivated in 18,0 dm³ soil containers. Forty days after herbicide application, eucalyptus was cutting and a lateral opening in the containers was made and inclined 90°, where plants indicating the herbicide presence plants (sorghum and cucumber) along the exposed surface. After 13 d of sow, the toxicity symptoms were evaluated in aerial part and dry biomass of aerial part and radicular system of the indicative plants were determined. The results obtained suggest the presence of radicular exudation of imazapyr and/or, their metabolites, in eucalyptus, in concentrations capable of causing toxicity in the bioindicators, and it was observed in all the plants along the vase, with higher intensity under higher doses.

Key words: Chopper, *Eucalyptus grandis*, bioindicators, interference, exudates.

INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais comuns, após a execução do primeiro ou segundo corte em plantios de eucalipto submetidos ao regime de talhadia (condução de brotações), é decidir qual será a alternativa mais viável para a futura condução do povoamento (Simões, 1981; Lopes, 1990; Silva, 1990). Em algumas áreas, por ocasião do segundo corte, ocorre acentuada queda de produção, ora devido à baixa percentagem de regeneração, ora à baixa produtividade da brotação (Rezende et al., 1981), levando as empresas a optar pela reforma. É de suma importância que essa decisão seja embasada em dados e informações técnicas, econômica e ambientalmente viáveis (Berger, 1974).

Quando se opta pela reforma, é necessário o controle das brotações, que pode ser conseguido, entre outras formas, com aplicação de imazapyr no pré-corte (injeção no caule da árvore), no pós-corte antes do estabelecimento da brotação (até 72 horas após o corte, com molhamento da região cambial das cepas) (Christoffoleti et al., 1997) e com a brotação já estabelecida (aplicação foliar). Dentre as épocas e formas de controle, a que tem demonstrado menor custo operacional e maior eficiência é uma inserção na árvore com imediata injeção do herbicida, no pré-corte (Respondovsk, 1999). Todavia, independentemente da opção de controle, há questionamentos quanto à presença da molécula no sítio de cultivo após estabelecida a sua função e aos efeitos desta sobre a qualidade do produto colhido, o impacto ambiental e os cultivos posteriores. Trabalhos realizados na VCP (Votorantin Celulose e Papel) mostraram não haver qualquer efeito no descascamento, na qualidade da madeira e toxicidade na celulose com o uso de imazapyr no pré-corte (Dantas et al., 2001), porém não se sabe se a molécula é exsudada e quais os efeitos dessa exsudação sobre povoamentos posteriores.

Algumas plantas possuem a capacidade de exsudar, pelas raízes, compostos exógenos aplicados em sua superfície foliar e, ou, caulinar (Linder et al., 1964). Coupland e Caseley (1979) verificaram a exsudação radicular de glyphosate por plantas de *Agropyron repens* depois do herbicida ter-se acumulado em suas raízes e rizomas. Reid e Hurtt (1970) verificaram exsudação radicular de

picloram e ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético quando da aplicação foliar de doses subletais em duas espécies florestais, *Acer rubrum* e *Fraxinus pennsylvanica*, sendo a maior exsudação de picloram observada nesta última espécie.

Segundo Zambolim (1990), a germinação de fungos endo e ectomicorrízicos simbiontes na região da rizosfera de raízes primárias de eucalipto está sujeita à interferência de exsudados radiculares, sendo esta benéfica ou não, dependendo da natureza do material exsudado e do microrganismo envolvido. Matsumoto et al. (1979) verificaram que a natureza do produto exsudado por raízes de milho pode interferir no crescimento de microrganismos não-simbiontes fixadores de nitrogênio na região da rizosfera.

Entretanto, o exsudado pode não ser suficiente para causar interferência deletéria em plantas vizinhas, devido à quantidade exsudada, à característica toxicológica do exsudado, às reações deste com constituintes do solo e à sensibilidade do material vegetal ao composto exsudado. Rodrigues et al. (1982) não verificaram interferência de exsudados de glyphosate pelas raízes de trigo, nas doses aplicadas (1,1; 3,4 e 6,7 kg ha⁻¹), sobre a altura e o peso seco de plantas de soja.

A exsudação radicular de substâncias orgânicas pode ser influenciada por vários fatores, como estresse hídrico, temperatura, intensidade luminosa, idade e espécies de planta, nutrição mineral, microrganismos no solo, grau de anaerobiose e aplicação de biocidas (Hale et al., 1971). Esses fatores, somados às características físico-químicas dos herbicidas utilizados, irão determinar o potencial exsudativo, bem como o grau de interferência de exsudados radiculares sobre plantas vizinhas às que receberam aplicação do herbicida.

O ápice da raiz, ou a região imediatamente abaixo deste, pode ser considerado o local mais importante de exsudação (Pearson e Parkinson, 1961), sendo que outras partes desta também podem exsudar compostos orgânicos (Bowen, 1968; Rovira, 1969). Portanto, a toxicidez causada pela exsudação do herbicida e, ou, de seus metabólitos dependerá de fatores bióticos e abióticos e não somente da presença da molécula no solo.

Este trabalho foi proposto com o intuito de avaliar a exsudação radicular do imazapyr, em solo, por plantas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e o seu efeito sobre o crescimento de plantas indicadoras.

MATERIAL E MÉTODOS

Mudas clonais de *Eucalyptus grandis* (clone IEF-1) com três meses de idade cultivadas em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm³ de capacidade com substrato composto de casca de arroz carbonizada e vermiculita foram utilizadas para o bioensaio, em casa de vegetação, sendo estas transplantadas para vasos de alumínio, perfurados em sua parte inferior, com 18,0 dm³ de solo, cujas características químicas e físicas se encontram no Quadro 1.

Quadro 1 – Características químicas e físicas do solo utilizado no bioensaio

ANÁLISE QUÍMICA						
pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	Al (cmol _c dm ⁻³)	H+Al (cmol _c dm ⁻³)
4,2	1,4	23,0	0,54	0,17	1,3	4,11
ANÁLISE FÍSICA						
dag kg ⁻¹						
Areia				36,4		
Silte				5,3		
Argila				58,3		
Classe textural: argilosa						

Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFV.

Antes do enchimento dos recipientes fez-se a homogeneização do solo com 3,05 kg m⁻³ de calcário (PRNT = 80%) e 5,0 kg m⁻³ de adubo na formulação 4-14-8, o que correspondeu, por vaso, a 54,09 g de calcário e 90,0 g de 4-14-8.

Os vasos foram mantidos fora da casa de vegetação até a aplicação de doses de imazapyr (0,000; 0,375; 0,750; 1,125; 1,500 e 3,000 kg ha⁻¹ i.a.) sobre mudas de eucalipto com aproximadamente 1,60 m de altura e sistema radicular bem distribuído (Figura 1), a qual foi realizada cinco meses após o transplante das mudas, utilizando um pulverizador costal pressurizado a CO₂ com 30 lb. pol⁻² e volume de calda de 200 L ha⁻¹, tendo-se o cuidado prévio de cobrir todo o recipiente com duplo filme plástico, para evitar contaminação do solo pela molécula do herbicida. No ato da aplicação, as plantas foram dispostas a distâncias suficientes para não haver sobreposição de copas. Foram realizadas

irrigações freqüentes para manter a umidade do solo próxima à da capacidade de campo.

O corte do eucalipto foi realizado aos 40 DAT (dias após aplicação dos tratamentos), a 20 cm do solo, deixando algumas gemas viáveis para se avaliar a rebrota das plantas que receberam os tratamentos. Procedeu-se a imediata abertura de uma das laterais dos recipientes, a qual foi inclinada 90°, expondo o solo. Sobre esta superfície fez-se o plantio de sementes pré-germinadas de sorgo e de pepino a um centímetro de profundidade ao longo de todo o perfil do vaso (Figura 2), que foi subdividido de 0-15 e 15-30 cm a partir da superfície, onde a recepa foi realizada. Após 15 dias foram avaliados os sintomas de toxicidade na parte aérea e as biomassas secas de parte aérea e do sistema radicular dos bioindicadores, atribuindo-se notas de 0-100, de acordo com sintomas de toxicidade, sendo 0% (zero) equivalente a nenhum dano visível à planta e 100%, à morte destas. Após a separação da parte aérea das raízes, estas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação de ar, a $72^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$, até atingirem peso constante (aproximadamente 72 horas), quando foram determinadas as biomassas secas.

Utilizou-se delineamento estatístico inteiramente casualizado sob o esquema fatorial $2 \times 6 \times 2$, em que se têm duas espécies (sorgo e pepino), seis tratamentos (doses do herbicida) e duas profundidades (0-15 e 15-30 cm), sendo estas últimas correspondentes a subparcela. Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA, utilizando o pacote estatístico SAEG (SAEG, 1993), após verificar as pressuposições desta (Demétrio, 1978). Na análise de regressão adotou-se o modelo logístico para avaliação de dose-resposta, utilizando o programa SIGMAPLOT (SIGMAPLOT, 1997) para as estimativas dos parâmetros da regressão do modelo.

O modelo logístico - equação 1 (Streibig, 1988; Souza et al., 2000) - apresenta três parâmetros: **a**, denominado “nível de saturação”, correspondente à resposta do bioindicador na dose zero; **x_0** , ponto de inflexão da curva, que corresponde ao valor de I_{50} ; e **b**, que descreve o declive da curva em torno de I_{50} .

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{X}{x_0} \right)^b} \quad (\text{eq. 1})$$



Figura 1 – Aspecto visual da distribuição do sistema radicular das plantas de eucalipto com oito meses de idade, no momento da aplicação foliar de doses de imazapyr.

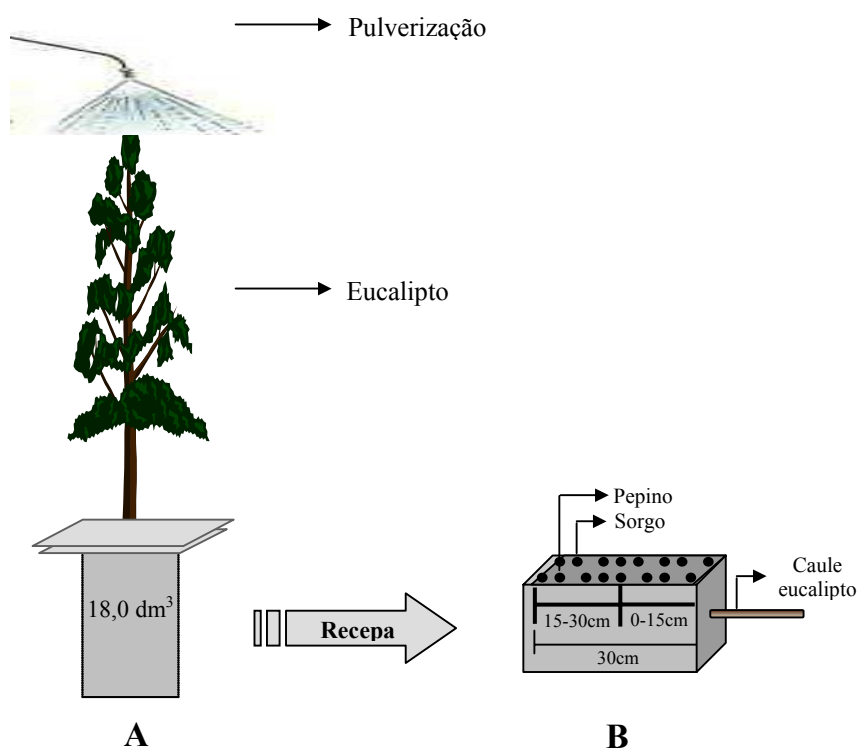


Figura 2 – Sequência utilizada no bioensaio: A - aplicação foliar de imazapyr sobre plantas de *E. grandis* com oito meses de idade e B - abertura de uma das laterais do vaso e inclinação desta em 90° com semeadura de sorgo e pepino pré-germinados ao longo da superfície exposta, aos 40 dias após a aplicação dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de toxicidade e biomassa seca do sistema radicular e de parte aérea, das plantas utilizadas como indicadores da presença de exsudados radiculares do eucalipto após a aplicação de diferentes doses de imazapyr, são mostrados nas Figuras 3, 4 e 5.

A toxicidade na parte aérea (Figura 3) não diferiu entre os bioindicadores cultivados desde a superfície do vaso até 15 cm de profundidade, porém as plantas de pepino mostraram-se mais sensíveis à profundidade de 15-30 cm, com sintomas visuais de toxicidade superiores a 50% na dose de 0,375 kg ha⁻¹ i.a. Verificou-se que, à medida que se elevaram as doses do herbicida, aplicadas sobre plantas de eucalipto, os bioindicadores apresentaram sintomas mais severos de toxicidade na parte aérea, indicando maior exsudação radicular de imazapyr e, ou, de seus metabólitos no solo, fato este devido à alta sensibilidade das plantas aos exsudados radiculares (Figura 6).

Quanto à biomassa seca de raiz de plantas de sorgo e pepino (Figura 4), ocorreu maior sensibilidade das plantas de pepino aos exsudados no solo na camada de 0-15 cm do vaso, obtendo-se valor de I₅₀ igual a 2,1710 kg ha⁻¹ i.a., o que não se verificou para o sorgo, não sendo possível determinar o I₅₀ para este, entre as doses utilizadas. No intervalo estudado (0,000 a 3,000 kg ha⁻¹ i.a.), houve interferência no crescimento da biomassa seca das raízes de sorgo em menor escala que para as plantas de pepino, em razão da impossibilidade de detecção do I₅₀ para a gramínea pela equação obtida.

Na Figura 5 tem-se que, com relação às respostas de dose-efeito para biomassa seca de parte aérea, os valores de I₅₀ foram semelhantes entre si para as plantas de pepino nas profundidades de 0-15 (x₀ = 0,7788) e 15-30 cm (x₀ = 0,5125). Para as plantas de sorgo, na camada de 15-30 cm, o I₅₀ foi cerca de duas vezes menor que na camada superior (0,485 e 1,061 kg ha⁻¹ i.a., respectivamente), ou seja, foi mais sensível na detecção de imazapyr e, ou, de seus metabólitos sob esta profundidade.

Apesar de as plantas de pepino terem se mostrado mais sensíveis, tendo em vista seus valores de I₅₀ na profundidade de 0-15 cm, não se verificou diferença

estatística entre as espécies bioindicadoras; no entanto, em termos de detecção visual dos sintomas, indicando a presença de exsudados, o sorgo se mostrou mais indicado, uma vez que apresentou clorose ao longo do limbo foliar, entre nervuras, característica dos sintomas dos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, mesmo em concentrações muito baixas.

As doses utilizadas foram suficientes para causar inibição das brotações do eucalipto após a recepa, devido à atuação do herbicida nos pontos de crescimento da planta, inibindo a síntese de proteínas e interferindo na biossíntese de DNA - consequentemente, na divisão celular - interrompendo assim o crescimento (Liebl e Bridges, 2000). Mesmo sob a menor dose utilizada ($0,375 \text{ kg ha}^{-1} \text{ i.a.}$) não se verificou rebrota, ao passo que as plantas que não receberam aplicação de imazapyr apresentaram brotações vigorosas (Figura 7).

Pelos resultados, pode-se inferir que, caso haja aplicação de imazapyr no caule das árvores para controle da rebrota em cultivos comerciais de eucalipto, existe a possibilidade de exsudação do herbicida e, ou, de seus possíveis metabólitos, podendo provocar interferência deletéria sobre o crescimento do eucalipto utilizado nas entrelinhas do cultivo anterior. Todavia, há necessidade de pesquisas em condições de campo.

Tendo em vista as condições de realização do bioensaio, permite-se inferir que:

- O eucalipto exsuda o imazapyr e, ou, seus metabólitos, via sistema radicular.
- Os efeitos tóxicos dos exsudados radiculares são observados no solo em toda a área coberta pelo sistema radicular do eucalipto.
- Com o aumento das doses de imazapyr há reduções no acréscimo de biomassa seca de plantas de pepino e de sorgo.
- Plantas de sorgo apresentam sintomas mais característicos de toxicidade aos exsudados de imazapyr do que plantas de pepino.

0-15 cm

15-30 cm

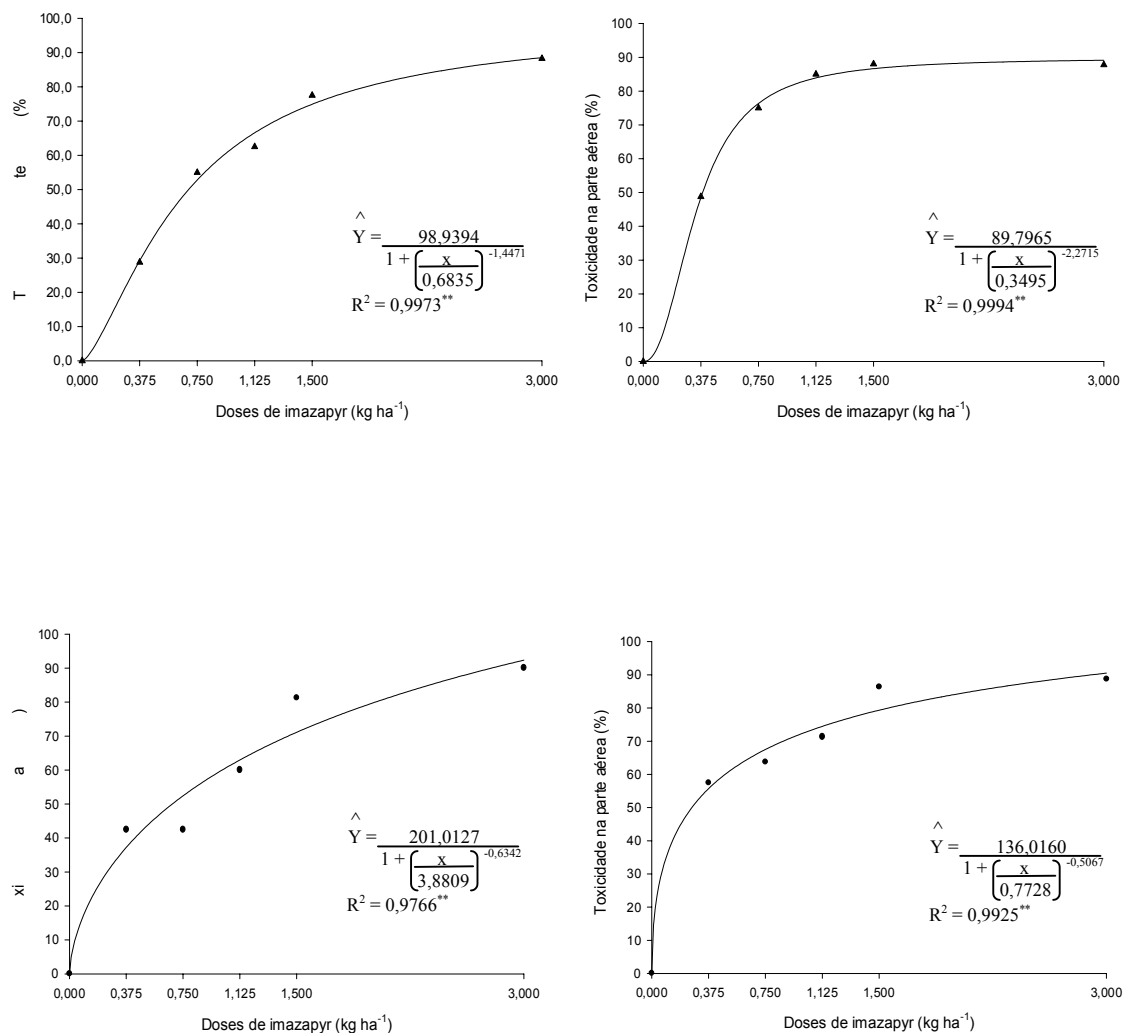


Figura 3 – Toxicidade na parte aérea de plantas de sorgo (▲) e de pepino (●) aos 15 dias após semeadura, cultivadas no solo ao longo da superfície exposta lateral dos recipientes que continham plantas de eucalipto que receberam aplicação foliar de doses de imazapyr, aos oito meses após o plantio e com corte 40 dias após a aplicação dos tratamentos.

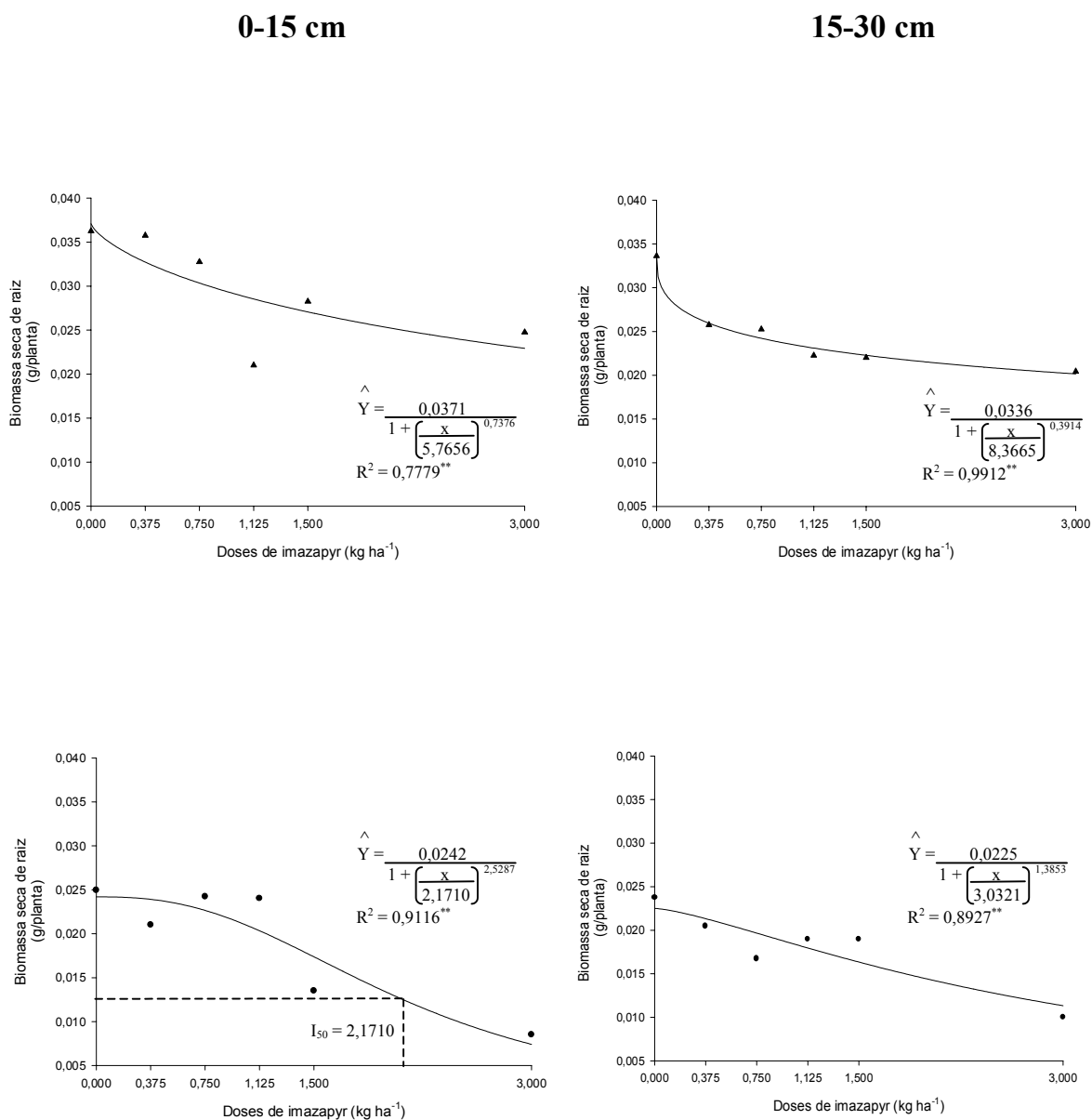


Figura 4 – Biomassa seca de raiz de plantas de sorgo (▲) e de pepino (●) aos 15 dias após sementeira, cultivadas no solo ao longo da superfície exposta da lateral dos recipientes que continham plantas de eucalipto que receberam aplicação foliar de doses de imazapyr, aos oito meses após o plantio e com corte 40 dias após a aplicação dos tratamentos.

0-15 cm

15-30 cm

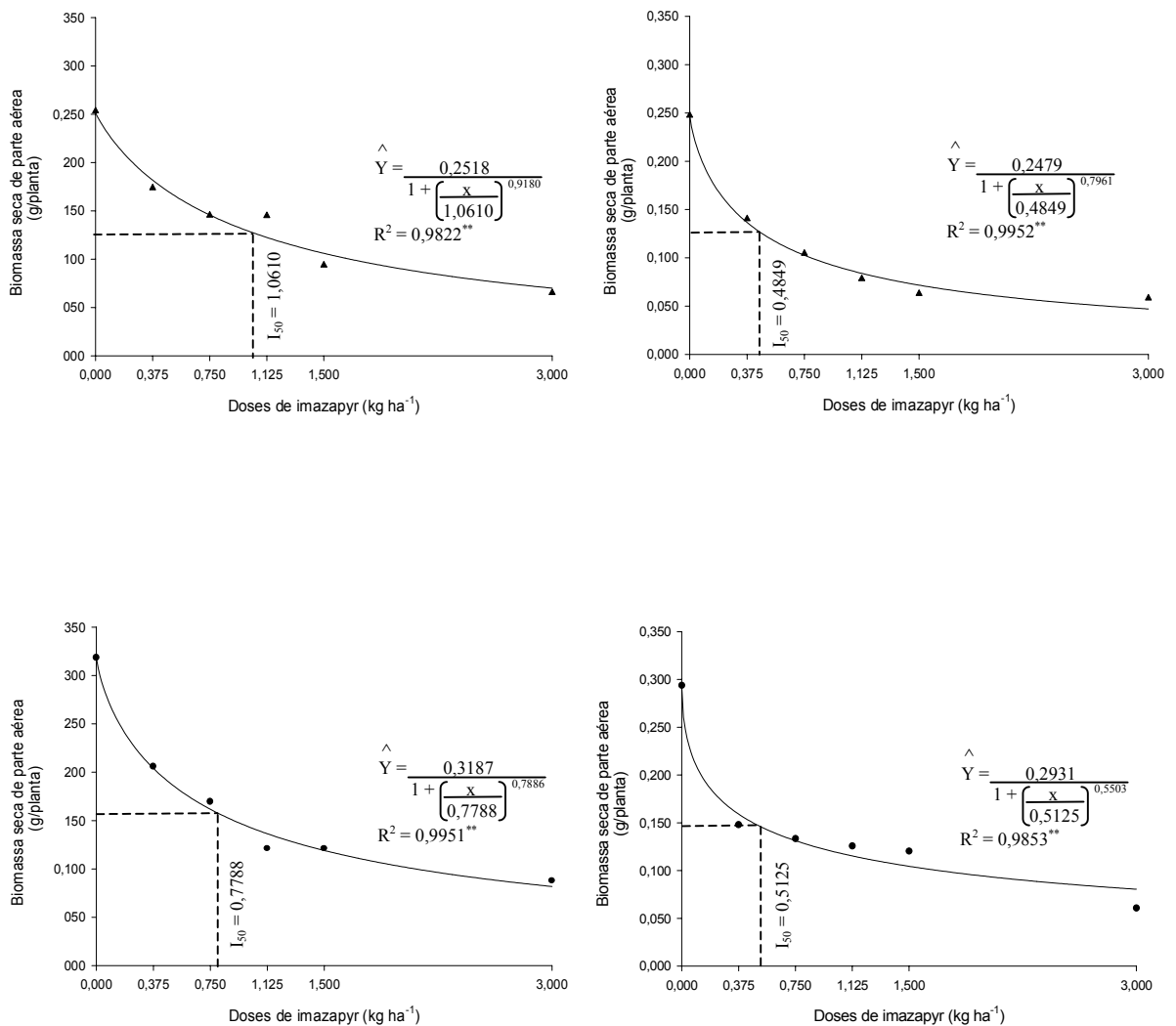


Figura 5 – Biomassa seca de parte aérea de plantas de sorgo (▲) e de pepino (●) aos 15 dias após a semeadura, cultivadas no solo ao longo da superfície exposta da lateral dos recipientes que continham plantas de eucalipto que receberam aplicação foliar de doses de imazapyr, oito meses após o plantio e com corte 40 dias após a aplicação dos tratamentos.



Figura 6 – Aspecto visual dos bioindicadores (sorgo e pepino) aos 15 dias após semeadura, cultivados no solo ao longo do perfil dos vasos contendo exsudados radiculares de plantas de eucalipto, 40 dias após a aplicação foliar de imazapyr sobre estas. À esquerda, o tratamento sem herbicida e, à direita, a maior dose utilizada ($3,000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ i.a.}$), aos 15 dias após o corte do eucalipto.

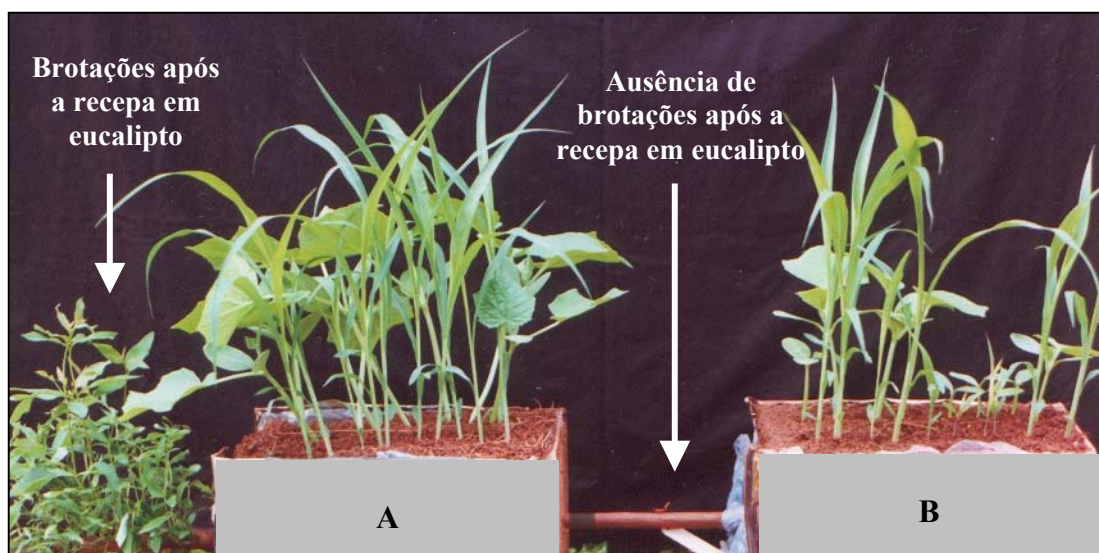


Figura 7 – Aspecto visual do crescimento dos bioindicadores e brotações na ausência da aplicação de imazapyr sobre plantas de eucalipto (A) e sintomas visuais de toxicidade do herbicida nos bioindicadores e ausência de brotações após o corte das plantas de eucalipto que receberam aplicação foliar de $0,375 \text{ kg ha}^{-1} \text{ i.a.}$ de imazapyr (B).

LITERATURA CITADA

- BERGER, R. Método para avaliar economicamente a reforma de *Eucalyptus* spp. **Revista IPEF**, n.8, 1974.
- BOWEN, G.D. Chloride efflux along *Pinus radiata* roots. **Nature**, v.218, n. 5142, p.686-687, 1968.
- CHRISTOFFOLETI, P.J., SHINCARIOL, V., COELHO, J.V.G. Controle da rebrota de tocos de eucalipto através do herbicida imazapyr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21, 1997, Caxambu. **Resumos...**, Caxambu, 1997, p.287.
- COUPLAND, D.; CASELEY, J.C. Presence of ^{14}C activity in root exudates and guttation fluid from *Agropyron repens* treated with ^{14}C -labelled glyphosate. **New Phytologist**, v.83, n.1, p.17-22, 1979.
- DANTAS, F.W.F.; SOUZA, A.J.; DI CIERRO, A. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE HERBICIDAS E TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO EM FLORESTAS, 1, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SIF, 2001. 74p. p.29-44.
- DEMÉTRIO, C.G.B. **Transformação de dados**: efeitos sobre a análise de variância. 1978. 113p. Dissertação (Mestrado em Experimentação e Estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- HALE, M.G.; FOY, C.L.; SHAY, F.J. Factors affecting root exudation. **Adv. Agron.**, v.23, p.89-109, 1971.
- LIEBL, R.; BRIDGES, D.C. Imidazolinones and pyrimidyl-oxy-benzoates. In: **HERBICIDE ACTION COURSE**, 2000. West Lafayette, Purdue University, Indiana, USA. p.385-394, 2000.
- LINDER, P.J.; MITCHELL, J.W.; FREEMAN, G.D. Persistence and translocation of exogenous regulating compounds that exude from roots. **J. Agr. Food Chem.**, v.12, n.5, p.437-438, 1964.
- LOPES, H.V.S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucalipto**. 1990, 188p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MATSUMOTO, H.; OKADA, K.; TAKAHASHI, E. Excretion products of maize roots from seedling to seed development stage. **Plant Soil**, v.53, n.1,2, p.17-26, 1979.
- PEARSON, R.; PARKINSON, D. The sites of excretion of ninhydrin-positive substances by broad bean seedlings. **Plant Soil**, v.13, n.4, p.391-396, 1961.

- REID, C.P.P.; HURTT, W. Root exudation of herbicides by woody plants: allelopathic implications. **Nature**, v.225, n.5229, p.291, 1970.
- RESPONDOVESK, R.J. Controle de brotações em reformas de plantações florestais na RIPASA. In: SEMINÁRIO SOBRE CONTROLE DE PLANTAS INFESTANTES EM ÁREAS FLORESTAIS, 1, Piracicaba - ESALQ, 1999. **CD-ROM**.
- REZENDE, G.C., MENDES, C.J., MORAIS, F.S.A. Adubação de cepas de *Eucalyptus grandis* Hill ex (MAIDEN) na ocasião do primeiro corte. **Circular Técnica IPEF**, n.1929, 1981.
- RODRIGUES, J.J.V.; WORSHAM, A.D.; CORBIN, F.T. Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on interplanted corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). **Weed Sci.**, v.30, n.3, p.316-320, 1982.
- ROVIRA, A.D. Diffusion of carbon compounds away from wheat roots. **Australian J. Biol. Sci.**, v.22, p.1287-1290, 1969.
- SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**: versão 5.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1993.
- SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**: version 4.0, SPSS Inc., 1997.
- SILVA, A.A.L. **Análise econômica da substituição de povoamentos de *Eucalyptus spp.*** 1990, 109p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SIMÕES, J.W. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. **IBDF**, Brasília, 1981.
- SOUZA, A.P.; FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I – Método do Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, p.5-16, 2000.
- STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.**, v.28, n.6, p.479-484, 1988.
- ZAMBOLIM, L. Fungos micorrízicos de eucalipto. In: **Relação solo-eucalipto**. BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds). Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.303-322.

2. RESUMO E CONCLUSÕES

O controle da rebrota em cultivos comerciais com o gênero *Eucalyptus* tem sido realizado através do uso de herbicidas sistêmicos e não-seletivos, como o glyphosate e o imazapyr, sendo este último mais utilizado por proporcionar maior flexibilidade de tempo entre a aplicação e o corte das árvores, uso de baixas concentrações por hectare e maior eficiência de controle, podendo ser utilizado puro. Contudo, tem-se percebido deficiência de controle em certas áreas e toxicidade em mudas novas, quando da reforma dos povoamentos, em outras.

Com o intuito de avaliar a tolerância de diferentes genótipos de eucalipto ao imazapyr e o potencial de exsudação radicular do herbicida pela espécie mais utilizada nos cultivos comerciais (*Eucalyptus grandis*), foram realizados três experimentos em casa de vegetação.

No estudo sobre tolerância de genótipos foram utilizadas mudas clonais de eucalipto de diferentes procedências, cultivadas em recipientes contendo solução nutritiva, submetidas às doses de imazapyr. Os resultados evidenciaram comportamentos distintos entre os genótipos avaliados quanto à presença do herbicida em solução, indicando maior rigor na escolha de doses, as quais devem ser selecionadas de acordo com o clone utilizado. Quanto à exsudação radicular de imazapyr e, ou, de seus metabólitos, utilizaram-se mudas clonais de *E. grandis* cultivadas em sistema hidropônico e em recipientes com solo, submetidas à aplicação foliar de doses de imazapyr. Utilizou-se como

bioindicadores da presença do herbicida no meio, mudas de *E. grandis* para o ensaio em sistema hidropônico e sementes pré-germinadas de sorgo e pepino, para o ensaio em solo. Verificou-se que o *E. grandis* exsudou compostos tóxicos em solução e no solo, em concentrações capazes de interferir no crescimento dos bioindicadores utilizados, e também que, sob a menor dose utilizada, ocorreu inibição total da emissão de brotações após o corte do eucalipto. Os resultados permitem as seguintes conclusões:

- A eficiência de uso do imazapyr em eucalipto para controle de brotações varia de acordo com o genótipo.
- Mudas de *E. grandis* apresentam exsudação radicular de imazapyr, quando este é aplicado na parte aérea.
- A quantidade de compostos tóxicos exsudados afeta o crescimento de mudas de eucalipto usadas como bioindicador, sendo mais tóxico à parte aérea em relação ao sistema radicular.
- Com o aumento das doses de imazapyr há reduções no acréscimo de biomassa seca de plantas bioindicadoras.
- Plantas de sorgo apresentam sintomas mais característicos de toxicidade aos exsudados de imazapyr do que plantas de pepino.

Mediante os resultados obtidos, sugere-se a necessidade de investigações quanto ao destino final da molécula após o seu uso nos sítios de cultivo de eucalipto, bem como sua interferência no meio ambiente.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Resumo da análise de variância da altura de plantas (ALT), da biomassa seca de parte aérea (BSPA) e das raízes (BSRA) de plantas de eucalipto sob doses de imazapyr, em sistema hidropônico

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio		
		ALT	BSPA	BSRA
			Ensaio 1	
Espécie	2	26,35042 ^{ns}	28,74095**	4,978517**
Tratamento	7	830,9778**	537,0937**	29,19644**
Espécie x Tratamento	14	65,08412**	33,10273**	2,030421**
Resíduo	72	11,47459	2,441989	0,2889355
Coef. de Variação	-	7,505	13,166	16,696
			Ensaio 2	
Espécie	3	945,1536**	0,7620196**	0,3428448**
Tratamento	7	1163,775**	1,322194**	1,178601**
Espécie x Tratamento	21	62,30839**	0,07007759**	0,08063768**
Resíduo	96	4,736918	0,008144170	0,008695483
Coef. de Variação	-	8,153	22,0972	33,875

ns: não-significativo a 10% pelo teste F.

** : significativo a 1% pelo teste F.

Quadro 2A – Resumo da análise de variância da biomassa seca de parte aérea (BSPA) e das raízes (BSRA) de plantas de eucalipto, com 40 dias de idade, utilizadas como bioindicadoras da presença de exsudados radiculares de plantas do mesmo clone após a aplicação foliar de doses de imazapyr, em sistema hidropônico

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	
		BSPA	BSRA
Tratamento	4	0,1483508**	0,008746379**
Resíduo	15	0,006887825	0,0009495663
Coef. de Variação	-	24,207	26,680

** : significativo a 1% pelo teste F.

Quadro 3A – Resumo da análise de variância de toxicidade na parte aérea (FITOPA) e da biomassa seca de parte aérea (BSPA) e das raízes (BSRA) de plantas de sorgo e pepino utilizadas como bioindicadores da presença de exsudados tóxicos no solo, nas camadas de 0-15 e 15-30 cm, após a aplicação foliar de doses de imazapyr sobre plantas de eucalipto

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio		
		FITOPA	BSPA	BSRA
0-15 cm				
Tratamento	5	8312,271**	0,03634091**	0,0002823109**
Espécie	1	6,020806 ^{ns}	0,007105333 ^{ns}	0,001566367**
Tratamento x Espécie	5	146,2709 ^{ns}	0,008789431*	0,00007905751 ^{ns}
Resíduo	36	93,60140	0,002998055	0,00005450640
Coef. de Variação	-	24,741	34,600	30,661
15-30 cm				
Tratamento	5	8713,837**	0,02048887*	0,01118430**
Espécie	1	6,020833 ^{ns}	0,01336669 ^{ns}	0,002824401 ^{ns}
Tratamento x Espécie	5	486,6709 ^{ns}	0,005318737 ^{ns}	0,001098974 ^{ns}
Resíduo	36	197,3126	0,005120950	0,001051596
Coef. de Variação	-	21,799	26,356	32,563

ns: não-significativo a 10% pelo teste F.

*, **: significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE B



Figura 1B – Vista parcial do bioensaio de exsudação radicular do imazapyr por plantas de eucalipto (A) e aspecto visual do bioindicador utilizado (B).

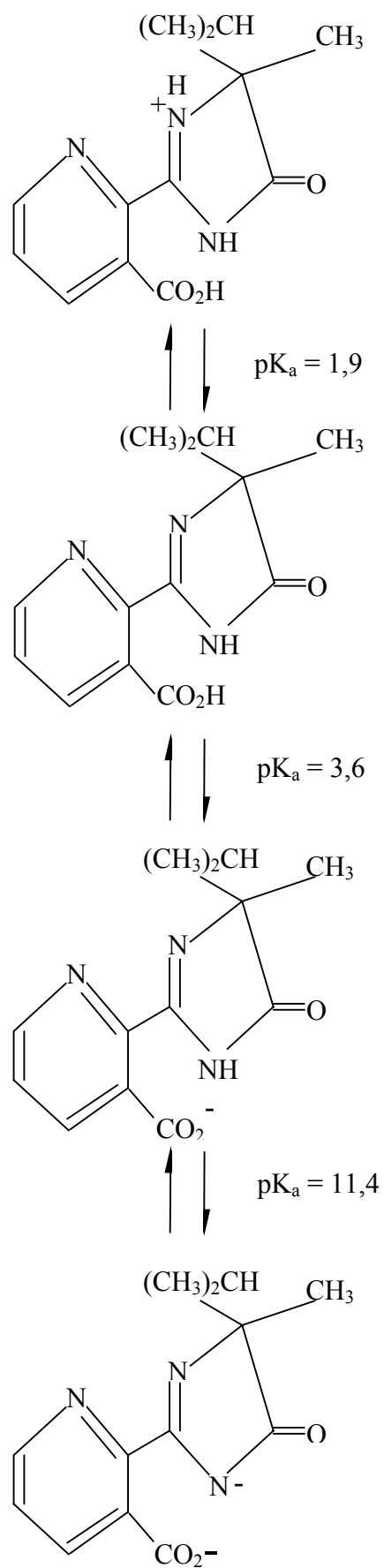


Figura 2B – Representação dos caminhos e das constantes de ionização (pK_a) do imazapyr.