

AROLDO FERREIRA LOPES MACHADO

**TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE EUCALIPTO AO GLYPHOSATE**

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

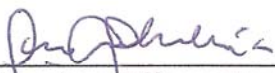
VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

AROLDO FERREIRA LOPES MACHADO

**TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE EUCALIPTO AO GLYPHOSATE**

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

**APROVADA:** 11 de Maio de 2009



Prof. Francisco Affonso Ferreira  
(Co-orientador)



Prof. Paulo Roberto Cecon  
(Co-orientador)



Prof. Haroldo Nogueira de Paiva



Prof. Leonardo David Tuffi Santos



Prof. Lino Roberto Ferreira  
(Orientador)

Ao meu amor, Solange, por me mostrar o maior de todos os sentimentos.

Aos meus pais, José Inèz e Helena, por terem me ensinado tudo sobre respeito, humildade e como agradecer a Deus pela vida.

Aos meus irmãos, Lúcia Helena, José Eduardo e Hécio, e aos sobrinhos, Lucas, Pedro, André e João Pedro, pelos quais tenho o maior orgulho e admiração.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, senhor de todos os meus passos.

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

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

Aos professores Francisco Affonso Ferreira, Antônio Alberto da Silva e Leonardo David Tuffi Santos, que, juntamente com o professor Lino, muito me ensinaram sobre a ciência das plantas daninhas.

Ao técnico do Laboratório de Herbicida da UFV, Luiz Henrique pela amizade e pelo valioso apoio.

À esposa Solange Aparecida de Paula pelo amor, companheirismo, estímulo, carinho, paciência e compreensão.

Aos amigos e companheiros de trabalho, Rafael Viana, Miler Machado, Frederico Alfenas, Rafael Tibúrcio e Gisele, pela valiosa ajuda e pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas Alessandra Belo, Alexandre da Silva, Alex Coelho, André Cabral, Cíntia Fialho, Cristiane, Edson dos Santos, Evander Alves, Leandro Galon, Marcelo Rodrigues, Marco Antônio de Freitas, Paulo Igor, Willian Reis, Siumar Tirone, Wilker, pela amizade e pelo convívio.

## **BIOGRAFIA**

AROLDO FERREIRA LOPES MACHADO, filho de José Inèz Lopes Machado e Helena Maria Ferreira, nasceu em 22 de março de 1977, em Canaã, Minas Gerais.

Ingressou na Universidade Federal de Lavras em 1997, transferindo-se para a Universidade Federal de Viçosa em 1999, onde se graduou Engenheiro-Agrônomo em março de 2003. Em agosto do mesmo ano, iniciou o curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, pela Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), na área de Plantas Daninhas, Alelopatia, Herbicidas e Resíduos, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2005. Em agosto desse ano iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV), submetendo-se à defesa de tese em maio de 2009.

## ÍNDICE

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	01
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	05
<b>TOLERÂNCIA DE CLONES DE EUCALIPTO AO GLYPHOSATE</b> .....	
Resumo.....	07
Abstract.....	08
Introdução.....	09
Material e Métodos.....	11
Resultados e Discussão.....	12
Literatura Citada.....	18
<b>ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E EXSUDAÇÃO RADICULAR DE GLYPHOSATE EM CLONES DE EUCALIPTO</b> .....	
Resumo.....	20
Abstract.....	21
Introdução.....	22
Material e Métodos.....	23
Resultados e Discussão.....	24
Literatura Citada.....	30
<b>EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E USO DA ÁGUA EM PLANTAS DE EUCALIPTO PULVERIZADAS COM DIFERENTES DOSES DE GLYPHOSATE</b> .....	
Resumo.....	32
Abstract.....	33
Introdução.....	34
Material e Métodos.....	35
Resultados e Discussão.....	37
Literatura Citada.....	51
<b>CONCLUSÕES</b> .....	54

## RESUMO

MACHADO, Aroldo Ferreira Lopes D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2009. **Tolerância de genótipos de eucalipto ao glyphosate**. Orientador: Lino Roberto Ferreira. Co-orientadores: Francisco Affonso Ferreira, Antonio Alberto da Silva e Paulo Roberto Cecon.

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no manejo de plantas daninhas na cultura do eucalipto. Por ser um herbicida não seletivo para a cultura, vários são os problemas, quando ocorre contato, seja pela deriva ou aplicação incorreta deste produto com plantas de eucalipto. Na literatura, poucos são os trabalhos realizados para elucidar a tolerância diferencial de genótipos de eucalipto a este herbicida. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar a tolerância de clones de eucalipto ao glyphosate, bem como a absorção, translocação e exsudação radicular e alterações fisiológicas em plantas de eucalipto submetidas ao contato com o glyphosate. Foram conduzidos três experimentos em casa de vegetação. O efeito do glyphosate sobre o crescimento e desenvolvimento de genótipos de eucalipto foi avaliado em mudas transplantadas, padronizadas, de 15 clones de eucalipto, em esquema de blocos casualizados com quatro repetições. Aos 30 dias após o transplante (DAT) foi realizada a aplicação do glyphosate na dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> em metade do número de plantas de cada clone e a outra metade não recebeu o herbicida, sendo considerada testemunha. Foram realizadas avaliações visuais de intoxicação e aos 45 dias após aplicação (DAA), a medição da altura das plantas e da massa seca da parte aérea. A absorção, a translocação e a exsudação radicular de glyphosate foram avaliadas em dois clones usando o <sup>14</sup>C-glyphosate, observando a radioatividade do <sup>14</sup>C, nos diferentes tecidos da planta, bem

como na água de lavagem das folhas e solução nutritiva, nos intervalos de 0, 2, 8, 32 e 72 h após a aplicação do herbicida. As características associadas à eficiência fotossintética e ao uso da água pelas plantas, submetidas ao glyphosate foram avaliadas em um experimento conduzido no esquema fatorial 4 x 5, com quatro clones de eucalipto e cinco doses de glyphosate e uma testemunha sem herbicida, considerada dose zero, com quatro repetições. Aos 7 e 21 DAA, utilizando-se um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA 4, foram realizadas avaliações da taxa de fluxo de gases pelos estômatos (U), taxa fotossintética (A), taxa de condutância estomática (Gs), taxa de transpiração (E), sendo calculada a eficiência do uso da água (WUE). Aos 50 DAA, verificou-se diferença quanto à tolerância ao glyphosate entre clones de *Eucalyptus grandis* e de híbridos provenientes do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, sendo os clones C3733, C3748, C3837 e C4143 menos tolerantes, enquanto os clones 57, 1213 e C3635 foram mais tolerantes ao herbicida. O clone 531 apresentou menor absorção do herbicida em relação ao clone 2277 e não houve diferença entre os clones quanto à translocação e a exsudação radicular do herbicida pela planta. Não houve diferença entre clones quanto a intensidade fotossintética, condutância estomática, transpiração e eficiência no uso da água, quando submetidos ao contato com o glyphosate. Com incremento da dose do herbicida houve maior redução na condutância estomática, taxa de fluxo de gases pelos estômatos, taxa fotossintética e eficiência do uso da água para os clones 57, 386, 1203 e 1213. Conclui-se que genótipos de eucalipto possuem tolerância diferencial ao glyphosate, podendo, em situações de aplicações incorretas ou ocorrência de deriva do produto, ocorrer morte de plantas e redução no estande da cultura. Por isso cuidados devem ser tomados com o uso desse produto de modo a reduzir possíveis danos, principalmente devido a falhas na aplicação.



## ABSTRACT

MACHADO, Aroldo Ferreira Lopes D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2009. **Tolerance of eucalyptus genotypes to glyphosate.** Adviser: Lino Roberto Ferreira. Co-advisers: Francisco Affonso Ferreira, Antonio Alberto da Silva and Paulo Roberto Cecon.

Glyphosate is the most widely used herbicide in weed management in the eucalyptus culture. Since it is a non-selective herbicide, many are the problems, when contact occurs, either by drift or incorrect application of this product with eucalyptus plants. In literature, there are few studies performed to elucidate the differential tolerance of eucalyptus genotypes to this herbicide. With that in mind, this study aimed to evaluate the tolerance of eucalyptus clones to glyphosate as well as absorption, translocation and root exudation and physiological changes in eucalyptus plants subjected to contact with glyphosate. Three experiments were conducted in a greenhouse. The effect of glyphosate on growth and development of eucalyptus genotypes was evaluated in standardized transplanted seedlings of 15 eucalyptus clones, in a randomized block design with four replications. At 30 days after transplanting (DAT) it was made the application of glyphosate at a dose of  $172.8 \text{ g ha}^{-1}$  in half the number of plants of each clone and the other half received no herbicide, being considered as the control. Visual evaluations of intoxication were made and, 45 days after application (DAA), the determination of plant height and shoot dry mass. The absorption, translocation and root exudation of glyphosate were evaluated in two clones using  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, observing the radioactivity of  $^{14}\text{C}$  in different plant tissues, as well as leaves rinse water and nutrient solution, at intervals of 0, 2, 8, 32 and 72 h after herbicide application. The characteristics associated with the photosynthetic efficiency and water use by plants subjected to glyphosate were evaluated in an experiment conducted in a 4 x 5 factorial, with four eucalyptus clones and five doses of glyphosate and a control without herbicide, considered zero dose, with four replications. At 7 and

21 DAA, using an infrared gas analyzer (IRGA), model LCA 4 (Analytical Development. Co. Ltd, Hoddesdon, UK), the stomatal gas flow rate (U), photosynthetic rate (A), stomatal conductance rate (gs), transpiration rate (E), being calculated the water use efficiency (WUE). At 50 DAA, there was difference in the tolerance to glyphosate between the *Eucalyptus grandis* clones and the hybrids from the crossing between *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, being the clones C3733, C3748, C3837 and C4143 least tolerant, while clones 57, 1213 and C3635 were more tolerant to the herbicide. The clone 531 showed a lower absorption of the herbicide when compared to the clone 2277 and there was no difference between the clones on root exudation and translocation of the herbicide by the plant. There was no difference between clones on photosynthetic intensity, stomatal conductance, transpiration and water use efficiency, when subjected to contact with glyphosate. With increasing dose of the herbicide there was higher reduction in stomatal conductance, stomatal gas flow rate, photosynthetic rate and water use efficiency for clones 57, 386, 1203 and 1213. It was concluded that eucalyptus genotypes have differential tolerance to glyphosate and, in case of incorrect application or occurrence of product drift, plant death may occur, decreasing plant stand. Therefore, this product must be used with care in order to reduce possible damage, mainly due to failures in application.

## INTRODUÇÃO

Com o plantio de espécies florestais visa-se garantir suprimento de matéria-prima para as indústrias de papel e celulose, siderurgia a carvão vegetal, lenha, serrados, compensados, lâminas e, painéis reconstituídos (aglomerados, chapas de fibras e MDF). Além disso, em algumas espécies como o eucalipto, de suas folhas, extraem-se óleos essenciais empregados em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e até em remédios, de sua casca, o tanino, usado no curtimento do couro e do tronco, madeira para sarrafos, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis (Dourojeami, 2004). Segundo a SBS (2004), para cada hectare de floresta plantada no país há uma redução na exploração de 10 ha de florestas nativas, o que ressalta a importância da atividade na preservação dos ecossistemas.

O eucalipto é a essência florestal mais utilizada nos programas de reflorestamento no Brasil, em razão de suas características de rápido crescimento e boa adaptação às condições edafoclimáticas existentes no país. Segundo a SBS (2004), o eucalipto é responsável por gerar mais de dois milhões de empregos diretos e indiretos e contribuir com aproximadamente 4% do PIB nacional (US\$ 21 bilhões).

Apesar de o gênero *Eucalyptus* possuir espécies de rápido crescimento e apresentar boa competitividade quanto a seu estabelecimento no campo, isso não o isenta da interferência das plantas daninhas, que tem como consequência o decréscimo quantitativo e qualitativo da sua produção. Tal fato coloca as plantas daninhas como grande problema para implantação e manutenção de florestas de eucalipto, tornando o manejo adequado da flora infestante indispensável. Devido às grandes áreas cultivadas, a escassez de mão-de-obra e ao menor custo dos métodos químicos de controle das plantas daninhas, esta tecnologia tem sido a preferida pelas empresas do setor florestal. Atualmente, o Brasil ocupa segundo lugar mundial no uso de agrotóxicos, sendo mais de 50% do volume total comercializado referente a herbicidas (ANDEF, 2007).

Dentre os herbicidas utilizados no manejo das plantas daninhas na cultura, o glyphosate se destaca em cultivos comerciais de eucalipto por exercer efetivo controle de grande número de espécies mono e dicotiledôneas, perenes e anuais. Além disso, esse produto é considerado ambientalmente pouco agressivo, sendo considerado o herbicida mais conhecido no mundo (Malik et al., 1989). Nas condições brasileiras, diferentes formulações desse herbicida têm sido utilizadas, tanto no preparo da área, quanto no plantio, replantio e manutenção de plantios de eucalipto. Todavia, até mesmo

em empresas que adotam bom nível tecnológico verifica-se a ocorrência de problemas com glyphosate durante as aplicações dirigidas para o controle de plantas daninhas.

Na aplicação de herbicidas a deriva de pulverização é o termo usado para aquelas gotas que não são depositadas na área alvo (Matuo et al., 2006). Estas gotas, provavelmente, são muito pequenas, com diâmetro menor que 100  $\mu\text{m}$  e facilmente movidas para fora do alvo pela ação do vento associado a outras condições climáticas. A deriva pode causar a deposição de produtos químicos em áreas não desejadas com sérias conseqüências tais como: danos nos cultivos sensíveis que ficam em áreas adjacentes; intoxicação da própria cultura; riscos à saúde de animais e pessoas e, contaminação de corpos de água.

As causas da deriva, segundo Matuo et al. (2006), são muitas e estão relacionadas com os equipamentos de aplicação, formulações e com as condições meteorológicas. Ainda segundo este autor, tamanho de gota, altura da ponta de pulverização no momento da aplicação, pressão de trabalho, velocidade de operação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, volume de aplicação e formulação utilizada encontram-se como os principais fatores que influenciam a deriva.

Segundo Tuffi Santos et al. (2005, 2006 e 2009), a intoxicação de plantas de eucalipto por glyphosate é caracterizada pela presença de folhas cloróticas, evoluindo em alguns casos para necroses e redução do crescimento da planta. Essa deriva pode acarretar prejuízos no desenvolvimento do eucalipto ou mesmo a diminuição do estande, devido à morte de plantas mais jovens. Outros distúrbios e alterações morfológicas do eucalipto como superbrotamento, seca de gemas apicais e de ponteiros, têm sido atribuídos aos efeitos do glyphosate.

A diferença de tolerância ao glyphosate entre os genótipos cultivados tem sido observada. Entretanto, os processos envolvidos com essa tolerância diferencial, bem como o comportamento do herbicida no interior da planta não estão bem elucidados. Acredita-se que a diferença de sensibilidade entre genótipos de eucalipto ao glyphosate possa ser atribuída a diferenças na absorção, translocação, compartimentalização, exsudação radicular e no metabolismo da molécula herbicida (Vargas et al., 1999; Tuffi Santos et al., 2006).

A absorção de herbicidas pela planta envolve a penetração inicial através da cutícula e a absorção simplástica, sendo a duração desse processo dependente da espécie envolvida, idade da planta, condições ambientais e concentração do herbicida e do

surfactante (Silva et al., 2007). Após a absorção é necessária a translocação do herbicida através de tecidos vasculares até os sítios de ação, onde este vai exercer sua atividade herbicida (Satichivi et al., 2000).

Tuffi Santos et al. (2006) constataram a tolerância diferencial ao glyphosate entre as espécies *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. resinifera* e *E. saligna*. Ainda segundo estes mesmos autores, diferentes clones da mesma espécie ou de cruzamentos entre espécies (híbridos de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) podem apresentar comportamento diferenciado quanto à tolerância ao glyphosate. Tal informação é relevante para a silvicultura e aos programas de melhoramento da espécie, devendo ser investigada dada a importância do uso desse herbicida na cultura do eucalipto.

Outro ponto importante a ser considerado quanto à diferença na tolerância dos genótipos diz respeito ao manejo das brotações de eucalipto para introdução de novas mudas na reforma do eucaliptal. Atualmente, na grande maioria das empresas florestais o controle das brotações se faz com o glyphosate. Neste sentido, o conhecimento da tolerância dos diferentes genótipos ao herbicida, é fundamental para a recomendação de doses, de modo a se ter controle eficiente, com custo reduzido e menor impacto ao ambiente.

Ressalta-se ainda que na literatura, poucos são os trabalhos que visam elucidar os efeitos diretos e indiretos do glyphosate sobre respostas fisiológicas das plantas de eucalipto quando em contato com o herbicida. Fatores tais como a taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e a eficiência no uso da água podem ser indiretamente influenciadas pelo herbicida e afetar negativamente o desenvolvimento da cultura.

Vários são os fatores que afetam a fotossíntese direta ou indiretamente. Déficit hídrico, estresse térmico (Loreto & Bonghi, 1989), concentração interna e externa de gases (Kirschbaum & Pearcy, 1988) e composição e intensidade da luz (Sharkey & Raschke, 1981) são os principais. Embora a capacidade de condução e trocas gasosas pelos estômatos seja considerada como a principal limitação da assimilação de CO<sub>2</sub> fotossintético (Hutmacher & Krieg, 1983), é improvável que as trocas gasosas venham a limitar a taxa de fotossíntese quando em interação com outros fatores.

A transpiração é a perda de vapor d'água pelas plantas, assim, plantas que possuem altas taxas de absorção de CO<sub>2</sub> apresenta grande perda por transpiração e,

provavelmente, grande consumo de água implica no incremento positivo da produtividade (Klar, 1984). A transpiração da maioria das espécies vegetais, incluindo eucalipto, é determinada pela demanda climática relacionada à radiação solar, mecanismos fisiológicos relacionados com respostas estomáticas a fatores ambientais, índice de área foliar e disponibilidade de água no solo (Taiz & Zeiger, 2004).

A condutância estomática, por sua vez, pode ser entendida como mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração (Messinger et al., 2006). Segundo Naves-Barbiero et al. (2000), a epiderme das folhas encontra-se normalmente envolvida por uma cutícula relativamente impermeável, tanto ao vapor d'água quanto ao gás carbônico, mas contém grande quantidade de estômatos, cuja resposta, mediante a regulação da condutância estomática, controla a transpiração da folha e é influenciada pela luz, pela concentração de gás carbônico atmosférico, pela umidade e temperatura. Para Ludlow (1980), a condutância estomática é proporcional à transpiração, à fotossíntese líquida e ao potencial da água na folha.

A eficiência do uso da água, por sua vez, é caracterizada como a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura para a produção de certa quantidade de matéria seca. Sendo assim, culturas mais eficientes no uso da água produzem mais matéria seca por grama de água transpirada (Baptista et al., 2001). O uso mais eficiente da água está diretamente atrelado ao tempo de abertura estomática, pois enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a água é liberada para a atmosfera por transpiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (Pereira-Netto, 2002).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar a diferença na tolerância de clones de eucalipto ao glyphosate, bem como questões relacionadas à absorção, à translocação e à exsudação radicular e alterações fisiológicas em plantas de eucalipto submetidas ao contato com glyphosate.

## LITERATURA CITADA

ANDEF (Associação Nacional de Defesa Vegetal). **Dados estatísticos Sobre o Consumo de Agrotóxico no Brasil**. Associação Nacional de Defesa Vegetal. Acesso em 20 outubro de 2008. <http://www.andef.com.br/2008/merc01.asp>.

BAPTISTA, J. M. et al. **Programa nacional para o uso eficiente da água**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2001. 212 p.

DOUROJEAMI M. **O eucalipto não é vilão**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2004. Disponível em: <<http://www.sif.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2008.

HUTMACHER, R. B.; KRIEG, D. R. Photosynthetic rate control in cotton. **Plant Physiol.**, v. 73, p. 658-661, 1983.

KLAR, A.E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ed. São Paulo: Nobel, 1984, 408 p.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; PEARCEY, R. W. Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemical factors in photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiol.**, v. 86, p. 782-785, 1988.

LORETO, F.; BONGI, G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiol.**, v. 91, p. 1580-1585, 1989.

LUDLOW, M.M. Adaptive significance of stomatal responses to water stress. In: TURNER, N.C. & KRAMER, P.J., (Eds). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John-Wiley, 1980. p. 123-138.

MALIK, J.; BARRY, G.; KISHORE, G. The herbicide glyphosate. **Biofactores**, v. 2, p.17-25, 1989.

MATUO, T; PIO, L. C.; RAMOS, H. H.; FERREIRA, L. R. Tecnologia de aplicação e equipamentos. In: **ABEAS - Curso de proteção de plantas. Módulo 2**. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV., 2006. 85 p.

MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO<sub>2</sub>. **Plant Physiol.**, v. 140, p. 771-778, 2006.

NAVES-BARBIERO, C. C. et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 12, p. 119-134, 2000.

PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.) **Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 2002, p. 17-42.

SATICHIVI, N.M. et al.. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Sci.**, v.48, p.675-679, 2000.

SBS (Sociedade Brasileira de Silvicultura). **Dados estatísticos sobre a produção nacional de eucalipto**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Acesso em: 15 março de 2009. <http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>>.

SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiol.**, v. 68, p. 1170-1174, 1981.

SILVA, A.A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA,A.A.; SILVA, J.F (Eds).**Tópicos em manejo de plantas Daninhas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.17-55.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719 p.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Braz. J. Biol.**, vol. 69, n. 1, p.129-136, 2009.

VARGAS, L. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa: UFV, 1999. 131p.



## TOLERÂNCIA DE CLONES DE EUCALIPTO AO GLYPHOSATE

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho, avaliar o crescimento e desenvolvimento de genótipos de eucalipto submetidos ao glyphosate. O experimento foi realizado em ambiente protegido, em vasos com capacidade para 8 L contendo substrato constituído de 3/4 de solo argiloso e 1/4 de areia, com adubação e calagem conforme as exigências da cultura, que receberam mudas padronizadas, com aproximadamente 20 cm de altura, de 15 clones. Foi usado o delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições sendo considerado como parcela experimental cada vaso contendo uma planta. Aos 30 dias após o transplântio (DAT) foi realizada a aplicação do glyphosate na dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> em metade das plantas de cada clone e a outra metade não recebeu o herbicida, sendo considerada testemunha. Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), foram realizadas avaliações visuais de intoxicação. Aos 45 DAA, foi realizada medição da altura das plantas e da massa seca da parte aérea. Verificou-se aos 7 DAA que o clone C3733 foi o mais sensível ao herbicida. Entretanto nas avaliações realizadas aos 14, 21 e 28 DAA, apesar da intoxicação nas plantas de eucalipto não foi verificado diferenças entre clones. Verificou-se que dentro da mesma espécie (*Eucalyptus grandis*) e dentro de híbridos (*Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) os clones apresentam diferenças quanto à tolerância ao glyphosate. Os clones mais sensíveis ao herbicida foram C3733, C3748, C3837 e C4143, enquanto os clones mais tolerantes foram 57, 1213 e C3635.

**Palavras-chave:** herbicida, controle químico, intoxicação, crescimento de eucalipto.

## TOLERANCE OF EUCALYPTUS CLONES TO GLYPHOSATE

**ABSTRACT:** This study aimed to assess the growth and development of eucalyptus genotypes subjected to glyphosate. The experiment was conducted under protected environment in 8 L capacity pots containing substrate consisting of 3/4 of clay soil and 1/4 of sand, with liming and fertilization according to the culture requirements, that received standardized seedlings, with approximately 20 cm high, of 15 clones. It was used the experimental design of randomized blocks with four replications, being each pot containing one plant considered an experimental plot. At 30 days after transplanting (DAT) it was made the application of glyphosate at a dose of 172.8 g ha<sup>-1</sup> in half the plants of each clone, while the other half received no herbicide, being considered as a control. At 7, 14, 21 and 28 days after application (DAA), visual evaluations of intoxication were made. At 45 DAA, the plant height and shoot dry mass were determined. At 7 DAA, it was verified that the clone C3733 was the more sensitive to the herbicide. However, in the evaluations at 14, 21 and 28 DAA, despite the intoxication in eucalyptus plants, no differences among clones were observed. It was found that within the same species (*Eucalyptus grandis*) and within the hybrids (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) the clones have different tolerance to glyphosate. The most sensitive to the herbicide were clones C3733, C3748, C3837 and C4143, while the most tolerant clones were 57, 1213 and C3635.

**Keywords:** herbicide, chemical control, intoxication, eucalyptus growth.

## INTRODUÇÃO

A possibilidade de escolha de espécies arbóreas para plantios destinados aos mais diversos usos é grande. Entretanto, dentre as espécies utilizadas em programas de reflorestamento no Brasil, o eucalipto se destaca devido suas características de rápido crescimento e boa adaptação às condições edafoclimáticas existentes no país e devido aos diversos usos, como: produção de papel, celulose e carvão vegetal, madeira para serraria, construção civil e indústria de móveis, postes e moirões, óleos essenciais, ornamentação, entre outros.

Apesar do rápido crescimento e de apresentar boa competitividade quanto a seu estabelecimento no campo, o eucalipto é sensível à interferência das plantas daninhas, que geralmente causa decréscimo quantitativo na produção e dificuldade na execução de tratos culturais (Toledo, 2003; Pitelli e Marchi, 1991). Neste sentido as plantas daninhas se destacam como grande problema para implantação e manutenção de florestas de eucalipto, tornando o seu adequado manejo indispensável. Devido à escassez de mão-de-obra, rapidez na operação de aplicação e ao menor custo dos métodos químicos, esta técnica tem sido a mais adotada no controle das plantas daninhas (Toledo et al., 2003; Tuffi Santos et al., 2006a).

No manejo das plantas daninhas, destaca-se o glyphosate, herbicida sistêmico não seletivo (Rodrigues e Almeida, 2005), sendo o mais utilizado em cultivos de eucalipto, devido ao efetivo controle sobre grande número de espécies mono e dicotiledôneas, perenes e anuais, comumente presentes nas plantações de eucalipto. Além disso, esse produto é pouco agressivo ao meio ambiente (Malik et al., 1989). Todavia, até mesmo em empresas que adotam elevado nível tecnológico verifica-se a ocorrência do contato do glyphosate, durante as aplicações dirigidas do produto, com o eucalipto, principalmente com os ramos mais baixos das plantas. Este contato indesejado pode se dar devido ao uso de equipamento inadequado e mal regulado, falta de treinamento dos aplicadores e aplicações em condições adversas como baixa umidade relativa do ar, alta temperatura e velocidade de vento elevada. Em consequência, tem-se observado regularmente a ocorrência de intoxicação na parte aérea causada pelo glyphosate (Tuffi Santos et al., 2006b).

A intoxicação de plantas de eucalipto por glyphosate é caracterizada pela presença de folhas cloróticas, inicialmente nas folhas mais jovens, evoluindo em alguns

casos para folhas mais velhas, podendo causar necroses e redução do crescimento da planta. Essa deriva pode acarretar prejuízos no desenvolvimento do eucalipto ou mesmo a diminuição do estande, devido à morte de plantas mais jovens (Tuffi Santos et al., 2005, 2007a e 2007b). Outros distúrbios e alterações morfológicas do eucalipto como super-brotamento, seca de gemas apicais e de ponteiros têm sido atribuídos aos efeitos do glyphosate. Diante da frequência e importância do uso do glyphosate em plantios de eucalipto, questões sobre o impacto desse herbicida sobre o crescimento e desenvolvimento de diferentes genótipos são levantadas.

Estudos reportam a diferença de tolerância ao glyphosate entre os genótipos cultivados. Tuffi Santos et al. (2006a) constataram a tolerância diferencial ao glyphosate entre as espécies *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. resinifera* e *E. saligna*. Ainda segundo estes mesmos autores, diferentes clones da mesma espécie ou de cruzamentos entre espécies (híbridos de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) podem apresentar comportamento diferenciado quanto à tolerância ao glyphosate. Tal informação é relevante para a silvicultura, no que se refere ao manejo da matocompetição e aos programas de melhoramento da espécie, no intuito de selecionar materiais mais tolerantes ao herbicida. Entretanto, na literatura poucos são os trabalhos que buscam elucidar os processos envolvidos com a tolerância diferencial de genótipos de eucalipto ao glyphosate.

O manejo da rebrota, prática comum em plantios comerciais destinados à indústria de celulose e energia, figura entre as principais práticas silviculturais. A renovação do eucaliptal deve-se à possibilidade de substituição por clones mais adaptados às diferentes regiões produtoras, provenientes dos programas de melhoramento, o que reflete em ganhos de produtividade e qualidade do produto final. Na renovação dos eucaliptais, por meio do plantio de novas mudas, torna-se indesejável a presença de brotações das cepas, recorrendo-se ao uso de herbicidas para controlá-las (Souza et al. 2006). Atualmente, na grande maioria das empresas florestais o controle das brotações se faz com o glyphosate. Neste sentido, o conhecimento da tolerância dos diferentes genótipos ao herbicida, é fundamental para a recomendação de doses, de modo a se ter eficiente controle com custo reduzido e menor impacto ao ambiente.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho, avaliar a tolerância de genótipos comerciais de eucalipto ao glyphosate.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, em vasos de oito litros de capacidade contendo substrato constituído de 3/4 de solo argiloso e 1/4 de areia, e adubação e calagem conforme as exigências da cultura. Nestes vasos foram transplantadas mudas padronizadas, de 15 clones de eucalipto codificados como: 57, 1206 e 1207 (*Eucalyptus grandis*), 386, 911, 1213, 1274, 1326, C3633, C3733, C3748, C3837, C4143, C4186 e C7074 (híbridos provenientes do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*), todas com aproximadamente três meses de idade, formadas em substrato de vermiculita e casca de arroz carbonizada, contido em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm<sup>3</sup> de capacidade.

O trabalho foi instalado no delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições sendo considerado como parcela experimental cada vaso contendo uma planta de eucalipto. Decorridos 30 dias de cultivo foi realizada a aplicação do glyphosate (formulação comercial Scout®) na dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo (9% da dose comercial recomendada, simulando deriva) em metade das plantas de cada clone e a outra metade não recebeu o herbicida, sendo considerada testemunha. A aplicação foi realizada sobre as plantas de eucalipto quando as mesmas atingiram 0,4 m de altura, em média, utilizando pulverizador costal de precisão, propelado a gás carbônico, munido de barra com dois bicos tipo leque XR11002, operando a 250 KPa de pressão e volume de calda correspondente a 200 L ha<sup>-1</sup>. A pulverização foi feita diretamente sobre o eucalipto de modo a não atingir o terço superior das plantas.

Após a aplicação do herbicida as plantas foram avaliadas diariamente e alterações morfológicas na parte aérea registradas e, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), foram realizadas avaliações visuais da porcentagem de intoxicação em relação à testemunha, de acordo com escala pré estabelecida, onde 0% corresponde à ausência de sintomas visíveis de intoxicação e 100% à morte das plantas (Frans, 1972).

Aos 45 DAA, a altura (região entre o colo e o ápice da planta) foi determinada com auxílio de uma fita métrica. Após medição da altura, as plantas foram coletadas, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de ventilação forçada a 70 °C até atingirem peso constante, sendo em seguida esse material pesado em balança de

precisão. De posse dos dados foi calculado, para cada clone, o ganho em altura e massa seca, pela diferença entre as médias das plantas que receberam a aplicação do herbicida e as testemunhas.

Os dados de intoxicação, de ganho em altura e massa seca foram submetidos à análise estatística descritiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas de intoxicação, para todos os clones, foram caracterizados por cloroses, murcha e enrolamento das folhas dos ápices das plantas, observados já a partir do quinto dia após aplicação e progredindo em alguns casos para necrose das folhas. Estes sintomas estão de acordo com os observados por Tuffi Santos et al (2008). Esses mesmos autores observaram ainda a recuperação das plantas tratadas com doses de 172,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, com emissão de novas brotações, porém com sintomas de intoxicação nas partes mais velhas, verificando ainda, que o aparecimento dos sintomas se relaciona à quantidade de produto em contato com as plantas.

Os níveis de intoxicação das plantas variaram de 15,75% aos 7 DAA para o clone 386 (intoxicação mínima) a 52% (intoxicação máxima) aos 21 DAA no clone 1213 (Tabela 1). Na avaliação realizada aos 7 DAA o clone C3733 (híbrido de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) apresentou o maior nível de intoxicação (35%), indicando maior sensibilidade inicial deste clone ao glyphosate (Tabela 1). Os clones 911, C4143, 1206, 1274, C7074, 57, C3635 e 386 se comportaram de forma semelhante quanto à sensibilidade ao glyphosate, com intoxicação abaixo de 20%, enquanto os clones C3748, 1326, 1207, 1213 e C3837 apresentaram sensibilidade intermediária ao herbicida variando entre 20 e 27%. Nas avaliações realizadas aos 14, 21 e 28 DAA, verificou-se incremento na intoxicação das plantas de eucalipto, com tendência de maior tolerância para os clones 57, 386, 911 e C3635 (Tabela 1). Os valores variaram de 23,75% para o clone 386 aos 14 DAA a 48,25% para o clone 1213 aos 28 DAA.

**Tabela 1** – Valores médios e desvio padrão da intoxicação das plantas de eucalipto aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) do glyphosate.

Clone	Dias após aplicação (DAA)			
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
	-----Intoxicação (%)-----			
<b>57</b>	17,50 ± 5,00 <sup>1/</sup>	28,75 ± 2,50	27,75 ± 3,30	29,50 ± 1,00
<b>386</b>	15,75 ± 4,35	23,75 ± 4,79	23,00 ± 6,78	27,50 ± 2,89
<b>911</b>	19,50 ± 7,14	27,50 ± 9,57	27,50 ± 9,57	26,00 ± 5,77
<b>1206</b>	19,00 ± 1,15	36,25 ± 4,79	40,25 ± 5,25	33,75 ± 4,79
<b>1207</b>	26,25 ± 8,54	46,25 ± 9,46	50,75 ± 5,38	46,25 ± 2,50
<b>1213</b>	24,25 ± 1,50	42,50 ± 25,33	52,00 ± 32,59	48,25 ± 34,63
<b>1274</b>	18,50 ± 1,00	30,00 ± 0,00	31,00 ± 4,00	30,00 ± 5,77
<b>1326</b>	27,00 ± 2,45	41,25 ± 2,50	44,25 ± 6,75	38,75 ± 2,50
<b>3635</b>	16,75 ± 6,18	30,00 ± 9,13	28,25 ± 9,74	24,50 ± 6,40
<b>3733</b>	35,00 ± 0,00	41,25 ± 2,50	44,00 ± 4,24	37,50 ± 2,89
<b>3748</b>	27,50 ± 8,66	38,75 ± 6,29	41,50 ± 11,82	35,00 ± 10,80
<b>3837</b>	23,00 ± 9,45	39,50 ± 14,18	40,75 ± 16,40	42,50 ± 20,62
<b>4143</b>	19,25 ± 5,38	35,00 ± 10,80	36,25 ± 12,50	36,25 ± 11,09
<b>4186</b>	20,00 ± 4,08	31,25 ± 7,50	33,75 ± 12,47	33,25 ± 11,35
<b>7074</b>	17,75 ± 2,06	31,25 ± 6,29	31,25 ± 8,50	35,00 ± 4,08

<sup>1/</sup> média ± desvio padrão

Tuffi Santos et al. (2007b), avaliando em condições de campo plantas de eucalipto com diferentes níveis de intoxicação, constataram que plantas que apresentaram intoxicação de até 20% não tiveram seu crescimento reduzido pelo herbicida. Entretanto, plantas com intoxicação nas faixas de 21-30, 31-40 e 41-50% apresentaram redução no volume de madeira, estimado aos 360 DAA de 18, 26 e 48% respectivamente, em relação à testemunha.

Tuffi Santos et al. (2006a) trabalhando com 5 espécies de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. resinifera* e *E. saligna*) verificaram correlação entre intoxicação e características anatômicas das folhas. Neste trabalho foi constatada alta correlação entre a porcentagem de intoxicação por glyphosate e o número de células epidérmicas da superfície adaxial, indicando envolvimento desta característica com a tolerância diferencial ao herbicida, provavelmente pelo maior número de áreas de maior absorção.

O clone C3733 apresentou maior altura de plantas nas testemunhas sem aplicação de herbicidas, enquanto menor altura foi observada para o clone 1213,

apresentando, os demais clones, crescimento intermediário (Tabela 2). Diferentes materiais apresentam crescimento inicial diferenciado em função da origem genética, da adaptação ao local de plantio e de tratos culturais adotados, como calagem, fosfatagem, adubação de plantio e de cobertura.

Os clones 57, 1213 e C3635 foram os que apresentaram maior percentagem do crescimento quando em contato com o herbicida. Já os clones 1206, C3748 e 4143 foram os que apresentaram menor incremento em altura, quando comparada às plantas que não receberam o herbicida e as plantas que receberam o produto (Tabela 2). Tuffi Santos et al. (2007b) verificaram em trabalho de campo que à medida que aumentava o nível de intoxicação das plantas de eucalipto o seu crescimento era reduzido. Esse fato também é relatado em áreas de produção nas quais se constata a desuniformidade entre plantas, em áreas em que ocorreu contato indesejado do glyphosate com a cultura, ressaltando a perda do potencial competitivo intra e interespecífico das mudas de eucalipto intoxicadas.

Em relação à massa seca da parte aérea, para as plantas que não receberam aplicação do glyphosate os valores variaram de 38,8 a 56,94 g planta<sup>-1</sup> para os clones 911 e 1274, respectivamente (Tabela 2). Para as plantas que receberam aplicação do herbicida, o clone 57 foi o que apresentou maior tolerância, ou seja, acumulou mais massa seca, mesmo em contato com o herbicida. Por outro lado, o clone C3748 apresentou menor acúmulo de massa seca, apresentando maior sensibilidade ao glyphosate, seguido pelos clones C3733 e 1326, ficando os demais clones com acúmulo intermediário de massa seca (Tabela 2).

Quando se observa a percentagem na redução de massa seca da parte aérea das plantas que receberam o herbicida e as testemunhas, verifica-se que os clones 57 e o 1213 foram os que apresentaram menor redução no acúmulo de massa seca da parte aérea, enquanto os clones C3748 e C3837 foram os que apresentaram maior redução (Tabela 3). De acordo com Tuffi-Santos et. al. (2005) quanto maior a sensibilidade do material genético ao glyphosate menor é o crescimento das plantas e menor é o acúmulo de massa seca quando em contato com o herbicida. Para Tuffi-Santos et al. (2007a) a resposta ou a recuperação à intoxicação pelo glyphosate é diferente entre genótipos de eucalipto.



**Tabela 2** – Valores médios e desvio padrão de altura (cm) e massa seca (g) de plantas de genótipos de eucalipto submetidas (CH) ou não (SH) à aplicação do glyphosate (média  $\pm$  desvio padrão).

<b>Clone</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Altura (cm) <math>\pm</math> Desv Pad</b>	<b>Massa seca (g) <math>\pm</math> Desv Pad</b>
<b>57</b>	Sem herbicida	91,75 $\pm$ 2,06	50,71 $\pm$ 6,29
	Com herbicida	83,00 $\pm$ 14,31	35,33 $\pm$ 4,40
<b>386</b>	Sem herbicida	93,00 $\pm$ 7,16	48,75 $\pm$ 5,81
	Com herbicida	56,75 $\pm$ 0,50	31,86 $\pm$ 3,47
<b>911</b>	Sem herbicida	98,75 $\pm$ 12,84	38,08 $\pm$ 6,22
	Com herbicida	63,75 $\pm$ 2,50	25,01 $\pm$ 4,98
<b>1206</b>	Sem herbicida	104,25 $\pm$ 3,30	52,58 $\pm$ 8,35
	Com herbicida	54,75 $\pm$ 3,77	27,34 $\pm$ 3,16
<b>1203</b>	Sem herbicida	92,50 $\pm$ 12,66	54,71 $\pm$ 8,78
	Com herbicida	54,50 $\pm$ 3,42	25,34 $\pm$ 3,26
<b>1213</b>	Sem herbicida	90,75 $\pm$ 10,66	42,32 $\pm$ 12,79
	Com herbicida	61,50 $\pm$ 3,79	28,62 $\pm$ 7,12
<b>1274</b>	Sem herbicida	101,25 $\pm$ 4,57	56,54 $\pm$ 4,30
	Com herbicida	57,50 $\pm$ 2,38	28,28 $\pm$ 3,77
<b>1326</b>	Sem herbicida	105,50 $\pm$ 9,11	46,87 $\pm$ 9,18
	Com herbicida	68,75 $\pm$ 6,50	23,14 $\pm$ 4,40
<b>3635</b>	Sem herbicida	101,00 $\pm$ 7,83	44,08 $\pm$ 9,57
	Com herbicida	72,25 $\pm$ 10,97	25,72 $\pm$ 4,68
<b>3733</b>	Sem herbicida	118,25 $\pm$ 14,22	49,18 $\pm$ 4,37
	Com herbicida	66,75 $\pm$ 4,35	22,76 $\pm$ 1,51
<b>3748</b>	Sem herbicida	109,75 $\pm$ 10,50	51,98 $\pm$ 6,14
	Com herbicida	45,75 $\pm$ 3,59	17,91 $\pm$ 5,74
<b>3837</b>	Sem herbicida	114,50 $\pm$ 8,35	53,71 $\pm$ 2,55
	Com herbicida	72,75 $\pm$ 9,91	23,30 $\pm$ 8,34
<b>4143</b>	Sem herbicida	110,25 $\pm$ 19,35	46,10 $\pm$ 10,65
	Com herbicida	60,50 $\pm$ 4,65	24,11 $\pm$ 2,18
<b>4186</b>	Sem herbicida	99,75 $\pm$ 8,73	51,25 $\pm$ 5,78
	Com herbicida	59,00 $\pm$ 4,24	24,57 $\pm$ 4,49
<b>7074</b>	Sem herbicida	109,50 $\pm$ 12,45	55,45 $\pm$ 3,07
	Com herbicida	63,00 $\pm$ 2,71	26,74 $\pm$ 3,09

**Tabela 3** – Valores médios e desvio padrão da diferença em altura e massa seca (%) em genótipos de eucalipto pulverizados com glyphosate quando comparados à testemunha sem herbicida.

Clone	Redução Altura (cm)	Redução massa (g)
	± Desvio Padrão	± Desvio Padrão
<b>57</b>	15,08 ± 10,00	29,68 ± 11,52
<b>386</b>	38,72 ± 4,56	34,06 ± 9,91
<b>911</b>	34,89 ± 5,74	33,73 ± 11,76
<b>1206</b>	47,45 ± 3,82	46,38 ± 14,51
<b>1207</b>	40,35 ± 7,81	52,31 ± 12,44
<b>1213</b>	31,85 ± 4,56	29,62 ± 21,64
<b>1274</b>	43,09 ± 4,08	49,72 ± 8,00
<b>1326</b>	34,39 ± 9,20	49,55 ± 11,47
<b>3635</b>	28,59 ± 8,09	41,07 ± 5,55
<b>3733</b>	43,05 ± 6,66	53,49 ± 4,58
<b>3748</b>	57,92 ± 6,12	64,65 ± 14,75
<b>3837</b>	35,82 ± 12,77	56,98 ± 13,88
<b>4143</b>	44,29 ± 6,51	45,11 ± 15,48
<b>4186</b>	40,41 ± 7,98	51,54 ± 11,03
<b>7074</b>	41,79 ± 8,34	51,78 ± 4,80

As diferenças na suscetibilidade de plantas a herbicidas têm sido atribuídas ao estágio de desenvolvimento da planta, à morfologia, à anatomia foliar e às diferenças na absorção, translocação, compartimentalização e no metabolismo da molécula herbicida (Dall' Armellina & Zimdahl, 1989; Westwood et al., 1997; Vargas et al., 1999).

Entre as vantagens da homogeneidade obtida por plantios clonais de eucalipto estão a maior produtividade e melhor qualidade da madeira (Carvalho, 1994). Os danos causados pelo glyphosate na ocorrência de deriva, distribuídos em densidade variável dentro dos talhões de plantio clonal, provocam a heterogeneidade entre plantas, o que pode acarretar competição intraclonal desfavorável para plantas de eucalipto que tiveram seu crescimento reduzido pelo herbicida. Adicionalmente, a qualidade da madeira, que tem sido uma das buscas dos programas de melhoramento genético, pode ser influenciada pelos efeitos do glyphosate, tendo em vista às alterações na produção de lignina em plantas tratadas com esse herbicida (Rizzardi et al., 2003), o que ainda não foi comprovado pela pesquisa.

Plantas de eucalipto em contato com o glyphosate apresentam seu crescimento comprometido, sendo a amplitude da interferência no crescimento dependente da dose de glyphosate a que a planta foi submetida. A interferência no crescimento do eucalipto exposto ao contato com glyphosate corrobora com resultados encontrados em experimentos em casa de vegetação (Tuffi Santos et al., 2005; 2006a e 2007b).

Os prejuízos da deriva do glyphosate sobre plantas de eucalipto reforçam a necessidade de cuidados quanto à tecnologia de aplicação em áreas de plantio dessa cultura, principalmente quanto à regulagem e calibração dos equipamentos de aplicação bem como o treinamento dos aplicadores.

Pela comparação dos resultados de intoxicação das plantas (Tabela 1), interferência no crescimento e acúmulo de massa seca (Tabelas 2 e 3) causados pelo contato do glyphosate com as plantas de eucalipto, pode-se distinguir 4 clones mais sensíveis ao herbicida (C3733, C3748, C3837 e C4143) e três mais tolerantes (57,1213 e C3635), enquanto os demais estão em uma faixa intermediária de tolerância.

Conclui-se que genótipos de eucalipto possuem tolerância diferencial ao glyphosate, podendo, em situações de aplicações incorretas ou ocorrência de deriva do herbicida, ocorrer morte de plantas e redução no estande da cultura.

## LITERATURA CITADA

CARVALHO, P.L.P.T. **Clonagem na Bahia Sul Celulose S.A. Piracicaba**: IPEF, 1994. p.25-27.

DALL'ARMELLINA, A. A.; ZIMDAHL, R. L. Effect of watering frequency, drought, and glyphosate on growth of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed sci.**, v.37, p.314-318, 1989.

FRANS, R.E. Measuring plant responses. In: Wilkinson, R. E., (ed). **Research methods in weed science**. Southern Weed Science Society, Auburn, AL., 1972. p.28-41.

MALIK, J.; BARRY, G.; KISHORE, G. The herbicide glyphosate. **Biofactores**, V. 2, P.17-25, 1989.

PITELLI, R.A.; MARCHI, S.R. Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1991. p.110-23.

RIZZARD, M.A. et al. Ação dos herbicidas sobre o mecanismo de defesa das plantas aos patógenos. **Ci Rural**, v. 33, n.5, p.957-965, 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. In: RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. (Eds); Londrina, 2005. 591p.

SOUZA, G. V. R. et al. Exsudato radicular de imazapyr aplicado sobre mudas de diferentes clones de eucalipto. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 24, n. 1, p. 141-147, 2006.

TOLEDO, R.E.B. et al. Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 78-92, 2003.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas a deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006a.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n.3, p. 521-526, 2006b.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environmental and Experimental Botany**, França, v. 59, p. 11-20, 2007a.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento do eucalipto sobre efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, p. 133-137, 2007b.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae). **Planta Daninha**, v. 26, p. 9-16, 2008.

VARGAS, L. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa: UFV, 1999. 131p.

WESTWOOD, J. H. et al. Absorption and translocation of glyphosate in tolerant and susceptible biotypes of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Sci.**, v.45, p.658-663, 1997.

## ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E EXSUDAÇÃO RADICULAR DE GLYPHOSATE EM CLONES DE EUCALIPTO

**RESUMO** - Objetivou-se com este trabalho avaliar a absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate por dois clones de eucalipto: 2277 e 531. O  $^{14}\text{C}$ -glyphosate foi aplicado na concentração de  $1.440 \text{ g ha}^{-1}$  distribuído uniformemente no terceiro e quarto limbo foliar a partir do ápice caulinar, com radioatividade aproximada de  $0,030 \text{ }\mu\text{Ci}$ . A absorção, translocação e exsudação radicular foram avaliadas pela radioatividade do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, nos diferentes tecidos da planta, bem como na água de lavagem e solução nutritiva nos intervalos de 0, 2, 8, 32 e 72 h após a aplicação – HAA. A concentração  $^{14}\text{C}$ -glyphosate na folha aplicada foi semelhante para os dois clones nas avaliações a partir de 8 HAA. Todavia, considerando a planta inteira essa foi superior no clone 2277 em todas as épocas de avaliação. Maior quantidade de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate foi verificada na água de lavagem da folha aplicada do clone 531, indicando menor absorção do herbicida nesse clone em relação ao 2277. Na parte aérea e no sistema radicular a concentração do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate encontrado foi semelhante entre os clones, para todos os intervalos de avaliação, entretanto, com concentrações maiores nas raízes. Pequena parte do total aplicado foi exsudado para solução nutritiva (valores entre 0,78 e 1,16%), não havendo diferença entre os clones quanto a translocação na planta e na exsudação radicular do herbicida. A absorção diferencial entre os clones atribuída na maioria dos casos a diferenças na estrutura e composição da cutícula pode ser uma possível explicação para a tolerância diferencial entre os genótipos.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus* sp., herbicida, tolerância

## **ABSORPTION, TRANSLOCATION AND RADICULAR GLYPHOSATE EXUDATION IN *EUCALYPTUS* SP. CLONES**

**ABSTRACT** - In order to evaluate absorption, translocation and radicular glyphosate exudation in two *Eucalyptus* sp. clones (2277 and 531), <sup>14</sup>C-glyphosate at 1440 g ha<sup>-1</sup> were distributed on third and fourth leaf blade, under 0,030 µCi of radioactivity. Evaluations were done 0, 2, 8, 32 and 72 hours after the herbicide application – HAA. After 8 HAA, <sup>14</sup>C-glyphosate on the leaf was similar in both clones. However, considering all the plant, it was higher in 2277 at any evaluation time. After washing the leaves, higher amount of <sup>14</sup>C-glyphosate was verified in the water of 531, indicating its smaller herbicide absorption. In the ground tissue and in the roots, <sup>14</sup>C-glyphosate found was similar in both clones, at any application time, however, showing higher concentrations in roots. Between 0.78 and 1.16% of the applied herbicide was exuded to nutritive solution, without showing difference on translocation and radicular exudation of herbicide in both clones. The different absorption between clones can be the explication to the different tolerance among genotypes.

**Key words:** *Eucalyptus* sp., herbicide, tolerance

## INTRODUÇÃO

No manejo químico de espécies infestantes na cultura do eucalipto o herbicida glyphosate merece destaque, por ser usado na grande maioria dos plantios comerciais dessa cultura. Por se tratar de um herbicida não seletivo ao eucalipto sua aplicação é feita de forma dirigida, evitando-se atingir a cultura. Todavia, apesar dos cuidados na aplicação, é comum a ocorrência de deriva, causando intoxicação à cultura o que pode acarretar prejuízos no desenvolvimento do eucalipto ou mesmo a redução do estande, devido à morte de plantas mais jovens (Tuffi Santos et al., 2005a; Tuffi Santos et al., 2007).

Os sintomas de intoxicação pelo glyphosate em plantas de eucalipto caracterizam-se por cloroses foliares, evoluindo em alguns casos para necroses, morte de ponteiros, enrolamento das folhas e superbrotção (Tuffi Santos et al., 2005a).

Trabalhos na literatura reportam sobre os efeitos do glyphosate em plantas de eucalipto, ressaltando as diferenças de tolerância entre genótipos (Tuffi Santos et al., 2006; 2007). Entretanto, os processos envolvidos com a tolerância diferencial ao glyphosate, bem como seu comportamento no interior da planta não estão bem elucidados. Acredita-se que a diferença de sensibilidade entre genótipos de eucalipto ao glyphosate possa ser atribuída a diferenças na absorção, translocação, compartimentalização, exsudação radicular e no metabolismo da molécula herbicida (Vargas et al., 1999; Tuffi Santos et al., 2005b).

A absorção de herbicidas pela planta envolve a penetração inicial através da cutícula e a absorção simplástica, sendo a duração desse processo dependente da espécie envolvida, idade da planta, condições ambientais e concentração do herbicida e do surfatante (Silva et al., 2007). Após a absorção é necessária a translocação do herbicida, através de tecidos vasculares, até os sítios de ação, onde este vai exercer sua atividade herbicida (Satichivi et al., 2000).

Objetivou-se neste trabalho, avaliar a absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto.



## MATERIAL E MÉTODOS

Mudas de dois clones de *Eucalyptus grandis* (531 e 2277) foram cultivadas em ambiente protegido, em vasos contendo 0,2 L de solução nutritiva de Clark modificada e aerada artificialmente. Cada vaso com uma planta de eucalipto, foi considerado uma unidade experimental sendo que para cada tempo de coleta foram cultivadas quatro plantas.

Aos 12 dias após o transplântio das mudas aplicou-se o  $^{14}\text{C}$ -glyphosate em mistura à formulação comercial de glyphosate (Scout®). Para aplicação utilizou-se uma microseringa de precisão, em que 100  $\mu\text{L}$  de calda contendo o  $^{14}\text{C}$ -glyphosate (radioatividade de aproximadamente 0,030  $\mu\text{Ci}$ ) correspondendo a 1.440  $\text{g ha}^{-1}$  de glyphosate foram espalhados uniformemente em folhas totalmente expandidas do terceiro e quarto nós a partir do ápice caulinar.

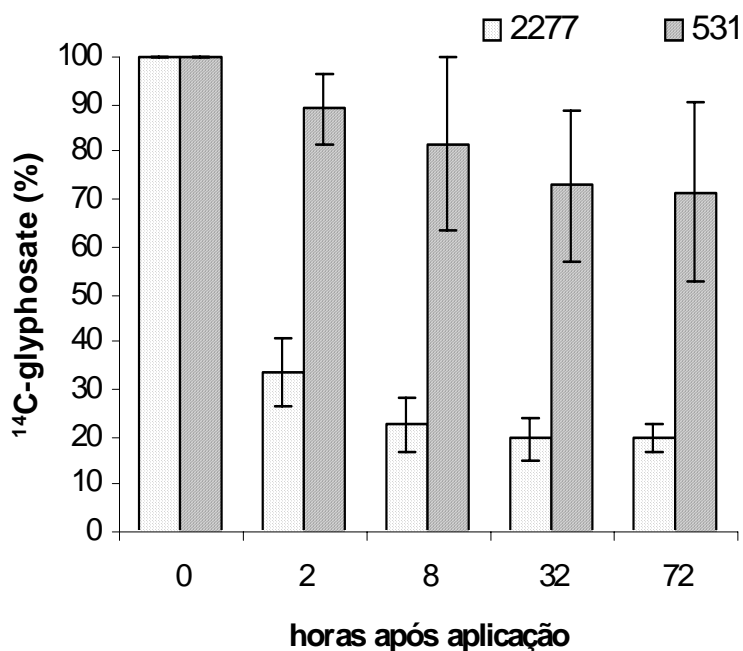
A absorção, translocação e exsudação radicular foram avaliadas pela radioatividade do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, nos intervalos de 0, 2, 8, 32 e 72 horas após a aplicação do herbicida (HAA). As plantas, quatro para cada época de coleta, dispostas no delineamento inteiramente ao acaso, foram coletadas e fracionadas em ápice principal, folhas que receberam aplicação, demais folhas e raízes em todas as épocas de avaliação. Após cada coleta as folhas que receberam aplicação foram lavadas com 9,0 mL de metanol, para extração do produto não absorvido. Após a separação e identificação, todas as partes da planta foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 50 °C, por 48 h, para determinação da massa seca. Após a secagem, procedeu-se a moagem, em moinho de bola, até apresentarem textura equivalente a 200 mesh. Amostras do material moído de, aproximadamente, 100 mg de cada componente das plantas foram adicionadas em frascos de contagem de 20 mL, acrescentando-se 1 mL de Triton-X-100®, sob agitação em vortex por aproximadamente 14 segundos. Em seguida foi adicionado 5 mL do coquetel de cintilação (Sigma Flúor, contendo 30 g de cab-o-sil), com posterior homogeneização. Após essa etapa, as amostras foram avaliadas em espectrômetro de cintilação líquida Beckman 6500, o qual corrige o “quenching” automaticamente para efetuar as determinações de radioatividade.

Os valores da radiação (CPM total) encontrados na solução de lavagem, na solução nutritiva e nas partes das plantas foram expressos em porcentagem em relação à radiação total aplicada. A radioatividade encontrada nas folhas que receberam herbicida,

no ápice caulinar, no restante das folhas e nas raízes foram expressos em porcentagem de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate em relação ao total presente na planta e os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, presente na solução de lavagem das folhas tratadas foi maior no clone 531 em todas as épocas de avaliação (Figura 1), indicando que a taxa de absorção do herbicida foi inferior nesse, em comparação com o 2277. Para ambos os clones houve redução acentuada na quantidade de herbicida removida pela água de lavagem das folhas aplicadas nas primeiras 8 HAA, indicando rápida absorção neste período. Verificou-se também a redução da concentração do herbicida na água de lavagem no intervalo de 8 a 72 HAA (Figura 1).



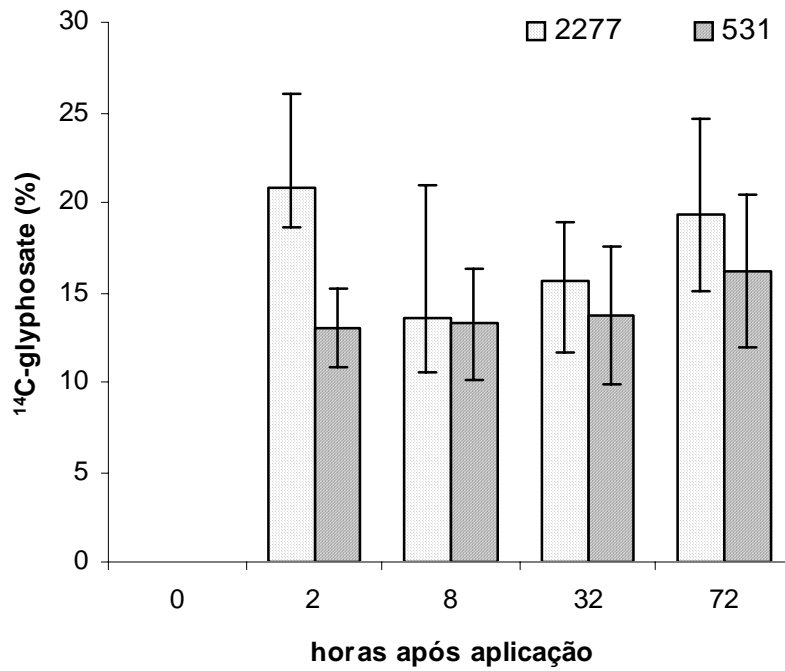
**Figura 1** – Valores médios e desvio padrão da porcentagem de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate presente na solução de lavagem, em relação ao total aplicado em dois clones de eucalipto (531 e 2277).

As taxas de penetração e absorção foliar de herbicidas e, conseqüentemente, sua eficácia estão diretamente relacionadas aos tipos de estrutura foliar e à permeabilidade

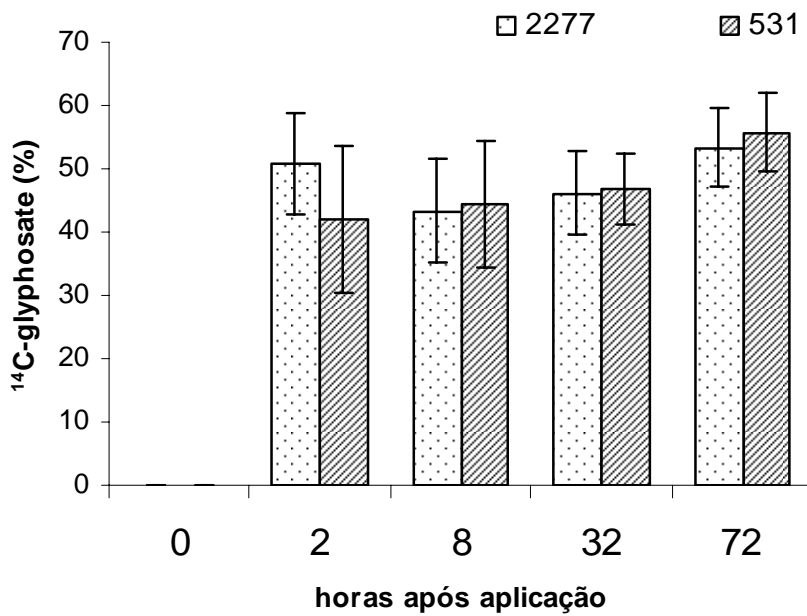
da cutícula (Baker, 1982), que dependem da constituição e da polaridade dos componentes cuticulares. O glyphosate tem baixo Kow, apresentando pouca afinidade a lipídios (Kirkwood, 1999); sendo que as ceras epicuticulares com grande quantidade de compostos apolares podem constituir barreira à penetração desse herbicida. A difusão do glyphosate pela cutícula de cinco espécies, estudada por Subramaniam & Hoggard (1988), foi considerada baixa, sendo rapidamente melhorada após a extração da cera epicuticular. Estes mesmos autores relataram que para produtos hidrofílicos, como o glyphosate, as ceras não são a principal barreira à difusão de herbicidas. Por sua vez, a matriz de polímeros que constitui a cutina seria a barreira mais significativa à difusão do glyphosate através da cutícula.

Em relação ao  $^{14}\text{C}$ -glyphosate presente nas folhas que receberam aplicação, observou-se acúmulo semelhante nos dois clones, com diferença apenas com 2 HAA, em que o clone 2277 apresentou maior concentração (Figura 2). Os resultados estão de acordo com Monqueiro et al. (2004), que avaliaram a absorção e translocação do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate nas espécies *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus hybridus*, concluindo que o herbicida se acumulava na folha aplicada em quantidades diferenciadas nas espécies, indicando absorção diferencial como provável mecanismo de tolerância. O acúmulo de  $^{14}\text{C}$ -diuron na folha tratada de duas espécies de capim-colchão (*Digitaria insularis* e *D. nuda*) também foi verificado por Dias et al. (2003).

Duas horas após a aplicação do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate observou-se que esse já havia se distribuído pela parte aérea das plantas, em concentração semelhante (cerca de 42% do total presente na planta). Na avaliação aos 72 HAA os valores observados foram de 53,31 e 55,79% nos clones 2277 e 531, respectivamente (Figura 3). Em todas as épocas de avaliação a concentração de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate na parte aérea foi semelhante entre os clones avaliados (Figura 3). O movimento do glyphosate na planta está associado ao fluxo de carboidratos de órgãos tidos como fontes para os drenos metabólicos, ocasionando o acúmulo desse herbicida nos ápices e em raízes (McAllister & Haberlie, 1985).

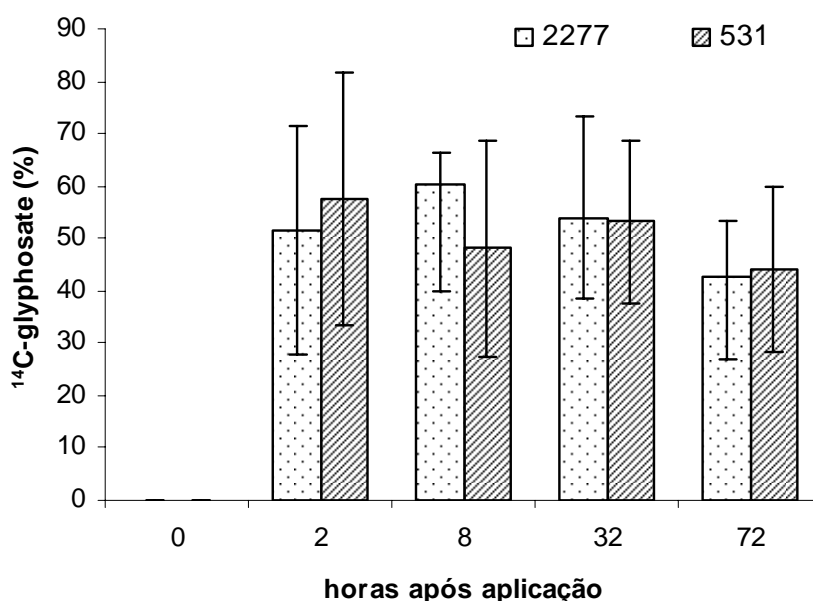


**Figura 2** – Porcentagem de <sup>14</sup>C-glyphosate presente na folha de aplicação, em relação ao total encontrado na planta em dois clones de eucalipto (531 e 2277).



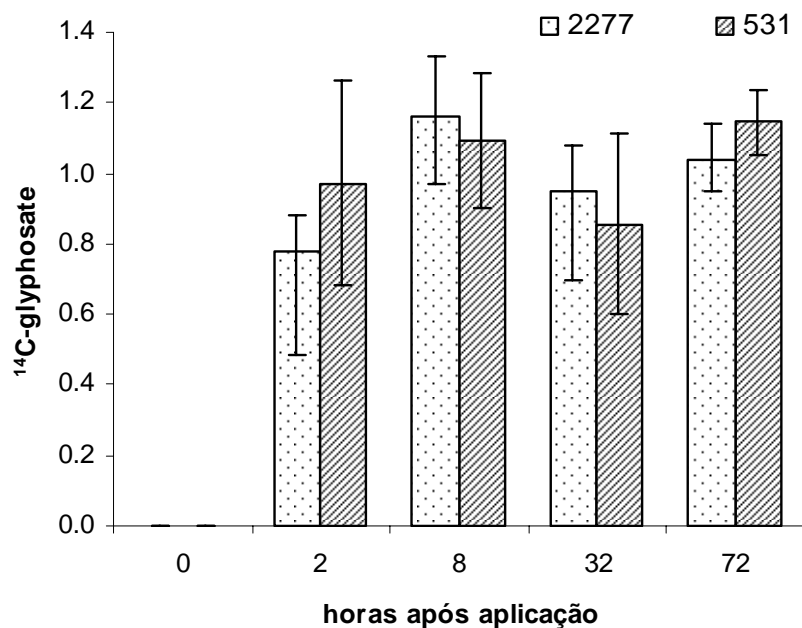
**Figura 3** – Porcentagem de <sup>14</sup>C-glyphosate presente na parte aérea, em relação ao total encontrado na planta em dois clones de eucalipto (531 e 2277).

Maior concentração de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate foi encontrada no sistema radicular. Duas horas após a aplicação, 51,72 e 57,38% de todo o herbicida presente nas plantas foram detectados no sistema radicular dos clones 2277 e 531, respectivamente (Figura 4). A velocidade de translocação do glyphosate para as raízes está associada ao transporte de açúcares no floema, que é rápido e, em geral, pode variar de 0,3 a 1,5 m h<sup>-1</sup> (Taiz & Zeiger, 2004). Nos dois clones a concentração do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate ao longo do tempo nas raízes foi semelhante (Figura 4).



**Figura 4** – Porcentagem de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate presente no sistema radicular, em relação ao total encontrado na planta em dois clones de eucalipto (531 e 2277).

Baixas concentrações de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, em relação ao aplicado, foram encontradas na solução nutritiva, tanto no clone 2277 quanto no 531 (Figura 5). Tal resultado indica que pequena quantidade do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate aplicado, entre 0,78 e 1,16% foram exsudados pelo sistema radicular ao meio de cultivo. O glyphosate pode ser liberado para o solo através da exsudação radicular ou da morte e extravasamento celular de tecidos de plantas tratadas com este herbicida. É provável que as concentrações de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate encontradas sejam provenientes da exsudação radicular, dado ao curto espaço de tempo para ocorrência de morte dos tecidos das raízes (Figura 5).



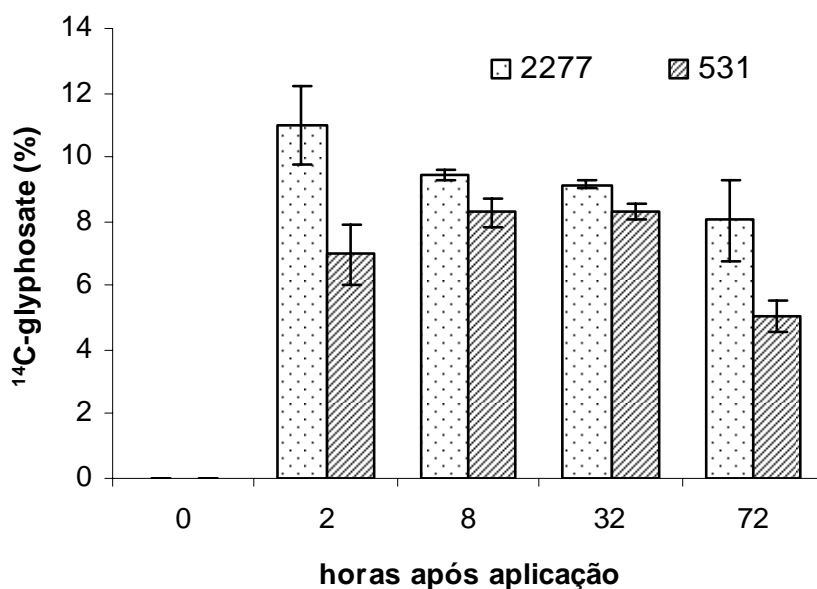
**Figura 5** – Porcentagem de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate presente na solução nutritiva, em relação ao total aplicado em dois clones de eucalipto (531 e 2277).

Alguns autores relatam a exsudação do glyphosate em cultivos celulares (Hetherington et al., 1998), e os efeitos do produto exsudado em plantas adjacentes, que compartilham a mesma zona radicular de plantas tratadas (Coupland & Lutman, 1982). Rodrigues et al. (1982), comprovaram a exsudação radicular de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate por plantas de trigo que receberam a aplicação desse herbicida nas folhas. Adicionalmente, os autores encontraram em plantas de milho cultivadas próximo ao trigo, o  $^{14}\text{C}$ -glyphosate, que foi absorvido pelas raízes e distribuindo por todas as partes da planta. Tuffi Santos et al. (2005b), relatam a inexistência de sintomas de intoxicação nas plantas de eucalipto cultivado em consórcio com braquiária, em sistema hidropônico e em solo. Segundo os mesmos autores, a exsudação do glyphosate pelas plantas de braquiária ocorre em concentrações inferiores às necessárias para provocar injúrias ao eucalipto.

Em condições de campo, glyphosate exsudado por plantas de eucalipto aplicado para controle da rebrota das cepas, é rapidamente sorvido pelos colóides do solo (Glass, 1987; Shoval & Yariv, 1979), tornando-o indisponível para a reabsorção pelas plantas. Segundo Santos et al. (2005), trabalhando em condições de laboratório concluiu existir efeito tóxico do exsudado de glyphosate sobre microorganismos de solo associados às

plantas e que a intoxicação desses microrganismos é variável em função da marca comercial utilizada.

A quantidade de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate presente na planta foi superior no clone 2277 em todas as épocas de avaliação (Figura 6). A maior diferença na concentração do herbicida entre os clones 2277 e 531 foi observada duas horas após aplicação, com maior acúmulo no primeiro clone. Aos 72 HAT nos clone 2277 e 531 apenas 8,04 e 5,02 %, respectivamente, do  $^{14}\text{C}$ -glyphosate aplicado foi encontrado nas plantas, indicando diminuição das concentrações do produto que podem ser atribuídas, em parte, a exsudação radicular.



**Figura 6** – Quantidade de  $^{14}\text{C}$ -glyphosate na planta em porcentagem do total aplicado em dois clones de eucalipto (531 e 2277).

A translocação do herbicida na planta e na exsudação radicular do apresentaram o mesmo comportamento nos genótipos estudados. Por outro lado, maior absorção foi observada no clone 2277, sendo possível explicação para a tolerância diferencial entre genótipos. Contudo, novos trabalhos sobre a superfície foliar, principalmente sobre a estrutura e constituição da cutícula, bem como do metabolismo do herbicida pelos diferentes clones devem ser realizados para elucidar o comportamento do glyphosate em plantas de eucalipto.

## LITERATURA CITADA

BAKER, E.A. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In: CUTLER, D.F.; ALVIN, K.L.; PRICE, C.E. (Ed.). **The plant cuticle**. London: Academic Press, 1982, p.140-161.

COUPLAND, D.; LUTMAN, P. Investigations into the movement of glyphosate from treated to adjacent untreated plants. **Ann. Appl. Biol.**, v. 101, p. 315-321, 1982.

DIAS, N.M.P. et al. Absorção e translocação do herbicida Diuron por espécies susceptível e tolerante de capim-colchão (*Digitaria spp*). **Planta Daninha**.v.21, n.2, p. 293-300, 2003.

GLASS, R.L. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. **J. Agric. Food. Chem.**, v.35, n.2, p.497-500, 1987.

HETHERINGTON, P. et al. The absorption, translocation and distribution of the herbicide glyphosate in maize expressing the CP-4 transgene. **J. Exp. Bot.**, v. 50, p.1567-1576, 1998.

KIRKWOOD, R.C. et al. Absorption, localization, translocation and activity of glyphosate in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L) Beauv): influence of herbicide and surfactant concentration. **Pest Manag. Sci.**, v.56, n.4, p.359-367, 1999.

MCALLISTER, R.; HABERLIE, L. L. Translocation of <sup>14</sup>C-glyphosate and <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>-Labeled photoassimilates in Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Sci.**, v. 33, p.153-159, 1985.

MONQUEIRO, P. A. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e susceptíveis a estes herbicidas. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p. 123-132, 2004.

RODRIGUES, J.F.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, p. 316-320, 1982.



SATICHIVI, N.M. et al.. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Sci.**, v.48, p.675-679, 2000.

SHOVAL, S.; YARIV, S. Adsorption of glyphosate in the soil. **Clay. Clay Miner.**, n.27, p.19-28, 1979.

SANTOS, J. B. et al. . Tolerance of *Bradyrhizobium* strains to glyphosate formulations. **Crop Prot.**,v. 24, n. 6, p. 543-547, 2005.

SILVA, J.F. et al. Herbicida: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 367 p.

SUBRAMANIAM, V.; HOGGARD, P E. Metal complexes of glyphosate, **J. Agr. Food Chem.**, v.36, p.1326-1329, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719 p.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n.1, p.133-142. 2005a.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 23, n.1, p.143-152. 2005b.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Características da epiderme foliar de eucalipto e seu envolvimento com a tolerância ao glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, n.2, p.513-520, 2006.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environ. Exp. Bot.**, .59, p.11-20, 2007.

VARGAS, L.; SILVA, A. A.; BORÉM, A.; REZENDE, S. T.; FERREIRA, F. A.; SEDIYAMA, T. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa: UFV, 1999. 131p.

## EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E USO DA ÁGUA EM PLANTAS DE EUCALIPTO PULVERIZADAS COM GLYPHOSATE

**RESUMO** – Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência fotossintética e o uso da água, por plantas de clones de eucalipto, submetidas ao herbicida glyphosate. O experimento foi realizado em esquema fatorial 4 x 5, com quatro clones de eucalipto (57, 386, 1203 e 1213) e quatro doses de glyphosate (43,2; 86,2; 129,6 e 172,8 g ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem herbicida, considerada dose zero, com quatro repetições. Aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação do herbicida (DAA) foi avaliada a intoxicação das plantas e aos 7 e 21 DAA, o fluxo de gases pelos estômatos ( $U - \mu\text{mol s}^{-1}$ ), a atividade fotossintética ( $A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $G_s - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), a transpiração ( $E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a eficiência do uso da água ( $WUE - \text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Aos 50 DAA, as plantas de eucalipto foram coletadas e colocadas em estufa de ventilação forçada a 70°C até atingirem peso constante para quantificação da massa seca. Aos 21 DAA, o clone 1203 comportou-se como mais sensível ao herbicida. Não houve diferença entre clones para as variáveis fisiológicas avaliadas. Aos 21 DAA constatou-se que com o incremento da dose de glyphosate houve redução na condutância estomática, na taxa de fluxo de gases pelos estômatos, na taxa fotossintética e na eficiência do uso da água. Plantas dos clones 1213 e 1203 apresentaram maior acúmulo de massa seca. O aumento da dose do glyphosate promoveu menor acúmulo de massa seca das plantas de eucalipto. O glyphosate afetou negativamente o crescimento, a eficiência fotossintética e de uso da água dos clones estudados.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus* spp, fisiologia vegetal, transpiração, deriva.

## PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY AND WATER USE IN EUCALYPTUS PLANTS SPRAYED WITH GLYPHOSATE

**ABSTRACT** - The objective of this study was to assess the photosynthetic efficiency and water use by eucalyptus clones submitted to the herbicide glyphosate. The experiment was performed in a 4 x 5 factorial, with four eucalyptus clones (57, 386, 1203 and 1213) and four doses of glyphosate (43.2, 86.2, 129.6 and 172.8 g ha<sup>-1</sup>) and a control without herbicide, considered zero dose, with four replications. At 7, 14, 21 and 28 days after the herbicide application (DAA) it was evaluated the intoxication of the plants and at 7 and 21 DAA, the stomatal gas flow ( $U$  -  $\mu\text{mol s}^{-1}$ ), photosynthetic activity ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), stomatal conductance ( $G_s$  -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), transpiration ( $E$  -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and water use efficiency ( $WUE$  -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). At 50 DAA, the eucalyptus plants were collected and placed in forced-ventilation oven at 70 °C until constant weight to determine the dry mass. At 21 DAA, the clone 1203 showed to be the most sensitive to the herbicide. There was no difference between clones for the assessed physiological variables. At 21 DAA it was found that with increasing dose of glyphosate there was reduction in stomatal conductance, stomatal gas flow rate, photosynthetic rate and water use efficiency. Plants of clones 1213 and 1203 showed higher accumulation of dry mass. Increasing dose of glyphosate promoted less accumulation of dry mass on eucalyptus plants. The glyphosate negatively affected growth, photosynthetic efficiency and water use of the evaluated clones.

**Keywords:** *Eucalyptus* spp, plant physiology, transpiration, drift.

## INTRODUÇÃO

Na cultura do eucalipto, um dos grandes problemas enfrentados são as plantas daninhas, cujo manejo, assume papel de destaque dentre os tratamentos culturais, apresentando reflexos diretos no rendimento e nos custos de produção.

O manejo das plantas daninhas em plantios florestais é baseado praticamente em métodos químicos e mecânicos, isolados ou combinados (Toledo et al., 2003). No controle químico de plantas daninhas, destaca-se o glyphosate. Por se tratar de um herbicida não seletivo ao eucalipto, sua aplicação é feita de forma dirigida, evitando-se atingir a cultura. Todavia, apesar dos cuidados na aplicação, é comum o contato indesejado ou deriva, causando intoxicação à cultura, o que pode acarretar prejuízos no desenvolvimento do eucalipto ou mesmo a diminuição do estande, devido à morte de plantas mais jovens (Tuffi Santos et al., 2005; 2007).

A iminente possibilidade da ocorrência de injúrias pelo glyphosate, devido ao contato indesejado do herbicida com a planta tem estimulado várias pesquisas envolvendo o conceito de "deriva simulada". Todavia poucos são os trabalhos que envolvem as respostas fisiológicas das plantas quando em contato com o herbicida.

Vários são os fatores que influenciam direta ou indiretamente a fotossíntese. Déficit hídrico, estresse térmico (Loreto & Bonghi, 1989), concentração interna e externa de gases (Kirschbaum & Pearcy, 1988) e composição e intensidade da luz (Sharkey & Raschke, 1981) são os principais. Embora a capacidade de condução e trocas gasosas pelos estômatos seja considerada como a principal limitação da assimilação de CO<sub>2</sub> fotossintético (Hutmacher & Krieg, 1983), é improvável que as trocas gasosas venham a limitar a taxa de fotossíntese quando em interação com outros fatores.

A transpiração é a perda de vapor d'água pelas plantas, assim, plantas que possuem altas taxas de absorção de CO<sub>2</sub> apresentam grande perda por transpiração e, provavelmente, grande consumo de água implica no incremento positivo da produtividade (Klar, 1984). A transpiração da maioria das espécies vegetais, incluindo eucalipto, é determinada pela demanda climática relacionada à radiação solar, mecanismos fisiológicos relacionados com respostas estomáticas a fatores ambientais, índice de área foliar e disponibilidade de água no solo (Taiz & Zeiger, 2004).

A condutância estomática, por sua vez, pode ser entendida como mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração (Messinger et al., 2006). Segundo Naves-Barbiero et al. (2000), a epiderme das folhas encontra-se envolvida por uma cutícula relativamente impermeável, tanto ao vapor d'água quanto ao gás carbônico, e contém quantidade de estômatos variável, cuja resposta, mediante a regulação da condutância estomática, controla a transpiração da folha e é influenciada pela luz, pela concentração de gás carbônico atmosférico, pela umidade e temperatura. Para Ludlow (1980), a condutância estomática é proporcional à transpiração, à fotossíntese líquida e ao potencial da água na folha.

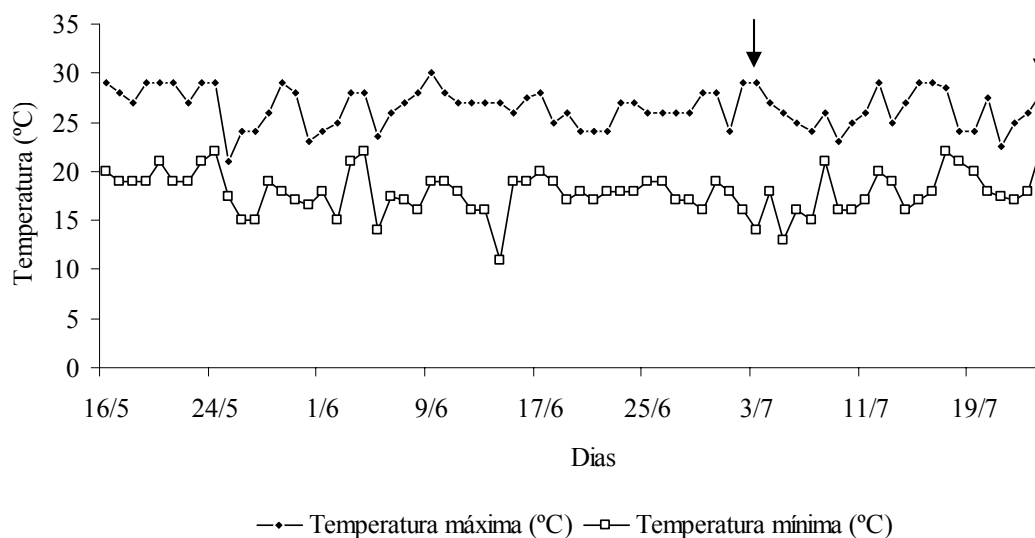
A eficiência do uso da água é caracterizada como a quantidade de água evapotranspirada por uma planta para a produção de certa quantidade de matéria seca. Sendo assim, plantas mais eficientes no uso da água produzem mais matéria seca por grama de água transpirada (Baptista et al., 2001). O uso mais eficiente da água está diretamente atrelado ao tempo de abertura estomática, pois enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a água é perdida para o ambiente por evapotranspiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (Pereira-Netto et al., 2002).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar as características associadas à eficiência fotossintética e à eficiência de uso da água em plantas de clones de eucalipto submetidos a doses crescentes de glyphosate.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação, cujos dados de temperatura encontram-se na Figura 1, em vasos de 8 L de capacidade, contendo substrato constituído de 3/4 de solo argiloso e 1/4 de areia, e adubação e calagem realizados conforme as exigências da cultura. As mudas utilizadas, todas com aproximadamente três meses de idade, formadas em substrato de vermiculita e casca de arroz carbonizada, contidas em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm<sup>3</sup> de capacidade foram padronizadas quanto ao tamanho e vigor e posteriormente, realizado o transplântio. Após o transplântio, realizou-se adubações quinzenais de cobertura com 1,5 g por vaso

de uma mistura de minerais comercial “ouro verde”, previamente dissolvida em 100 mL de água.



**Figura 1**-Temperaturas máxima e mínima dentro da casa de vegetação durante a realização do experimento. As setas indicam as datas de realização das leituras com o IRGA.

Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 5 em blocos casualizados com quatro repetições, com quatro clones de eucalipto, cedidos pela empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A (CENIBRA), codificados como 57, 1203 (*Eucalyptus grandis*), 386 e 1213 (híbridos provenientes do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) e cinco doses de glyphosate 43,2; 86,2; 129,6 e 172,8 g ha<sup>-1</sup> (formulação comercial Scout®) e uma testemunha sem herbicida, dose zero, sendo considerada como parcela experimental cada vaso contendo uma planta de eucalipto.

A aplicação foi feita diretamente sobre as plantas, que se encontravam com 33 dias após o transplante e aproximadamente 0,40 m de altura, utilizando-se pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub> com pressão constante, munido de barra com duas pontas tipo leque XR 11002, operando a 250 kPa de pressão e volume de calda correspondente a 200 L ha<sup>-1</sup>.

Após a aplicação do glyphosate as plantas foram avaliadas diariamente e alterações morfológicas na parte aérea registradas. Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), foram realizadas avaliações visuais da porcentagem de intoxicação

em relação à testemunha, de acordo com escala pré-estabelecida, onde 0% corresponde à ausência de sintomas visíveis de intoxicação e 100% à morte das plantas (Frans, 1972).

Aos 7 e 21 dias após aplicação do herbicida (DAA) foram realizadas avaliações fisiológicas, no terço superior da planta em uma folha completamente expandida sem sintomas visuais de intoxicação. Foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA 4 (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK) em casa de vegetação aberta, permitindo livre circulação do ar. As avaliações foram realizadas entre 8 e 11 h, de forma a manter as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco. Foram avaliados a taxa de fluxo de gases pelos estômatos ( $U - \mu\text{mol s}^{-1}$ ), taxa fotossintética ( $A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomatal de vapores de água ( $G_s - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e taxa de transpiração ( $E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), sendo calculada a eficiência do uso da água ( $WUE - \text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) a partir dos valores de quantidade de  $\text{CO}_2$  fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

Aos 50 DAA, foi mensurado o diâmetro das plantas a aproximadamente 2 cm do solo e a altura das plantas (região entre o colo e o ápice da planta) de eucalipto, sendo em seguida cortadas rente ao solo, coletadas e colocadas em estufa de ventilação forçada a 70 °C até atingirem massa constante para determinação da massa seca em balança de precisão.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Nos casos em que houve interação foi feito o desdobramento. Para o fator qualitativo (clones) as médias foram comparadas utilizando-se o teste Tukey a 5 % de probabilidade, enquanto para o fator quantitativo (doses) foram ajustadas equações de regressão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os sintomas de intoxicação, para todos os clones avaliados, foram caracterizados por clorose, murcha e enrolamento das folhas dos ápices das plantas, observados já a partir do quinto dia após aplicação do glyphosate e progredindo nas maiores doses para necrose de folhas. Estes sintomas estão de acordo com os observados para a cultura do eucalipto (Tuffi Santos et al., 2007b e 2009). Em avaliação realizada aos 7 DAA não foi verificado diferença entre clones quanto à intoxicação pelo glyphosate (Tabela 1).

Entretanto, os sintomas nas plantas se tornaram mais expressivos quando da exposição a maiores doses do herbicida (Figura 2).

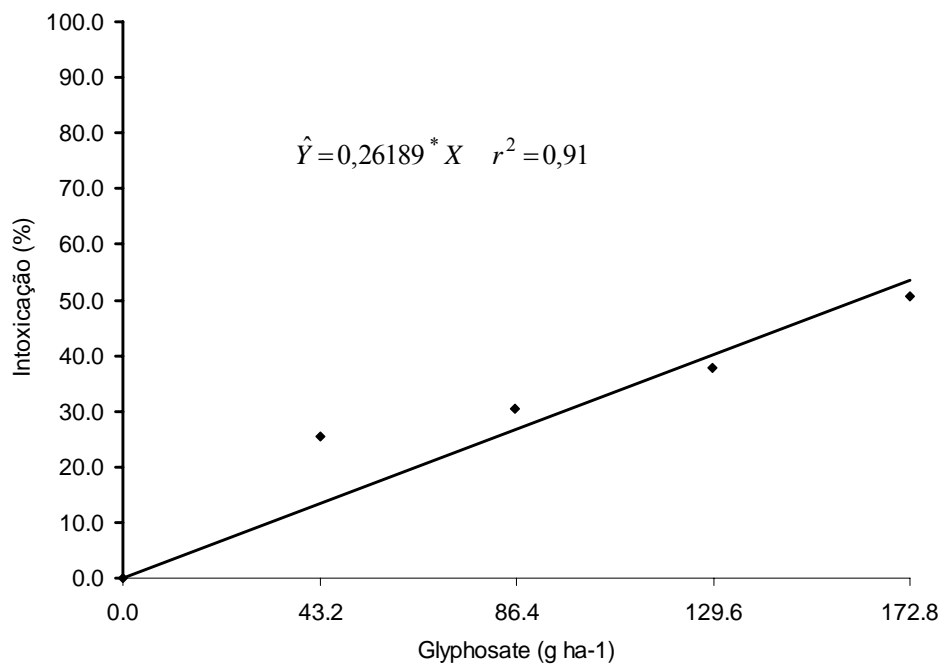
Na avaliação realizada aos 21 DAA, houve interação entre clones e doses do herbicida. Os clones 386 e 1203 foram os que apresentaram maiores percentagem de intoxicação (62,5 e 65,0%, respectivamente) para a dose de 129,6 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Para a dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> do herbicida o clone 1203 apresentou maior intoxicação (86,25 %), enquanto o clone 57 apresentou menor nível de intoxicação (70%). Para as demais doses não foi verificada diferenças entre clones (Tabela 2). Comportamento semelhante foi observado na avaliação dos 21 DAA, na qual os sintomas de intoxicação observados foram mais pronunciados nas maiores doses (Figura 3). O mesmo comportamento foi observado por Tuffi Santos et al. (2006) na cultura do eucalipto para os herbicidas glyphosate, triclopyr e carfentrazone-ethyl.

**Tabela 1.** Valores médios de intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 7 dias após aplicação (DAA)

CLONE	Glyphosate (g ha <sup>-1</sup> )					Média
	0,0	43,2	86,2	129,6	172,8	
	----- Intoxicação (%)-----					
<b>57</b>	0,00	4,00	10,75	33,25	51,25	<b>19,85 A</b>
<b>386</b>	0,00	2,50	15,50	42,50	45,00	<b>21,10 A</b>
<b>1203</b>	0,00	2,50	10,50	41,25	55,00	<b>21,85 A</b>
<b>1213</b>	0,00	2,75	4,75	33,75	51,25	<b>18,50 A</b>

Medias seguidas por um mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade



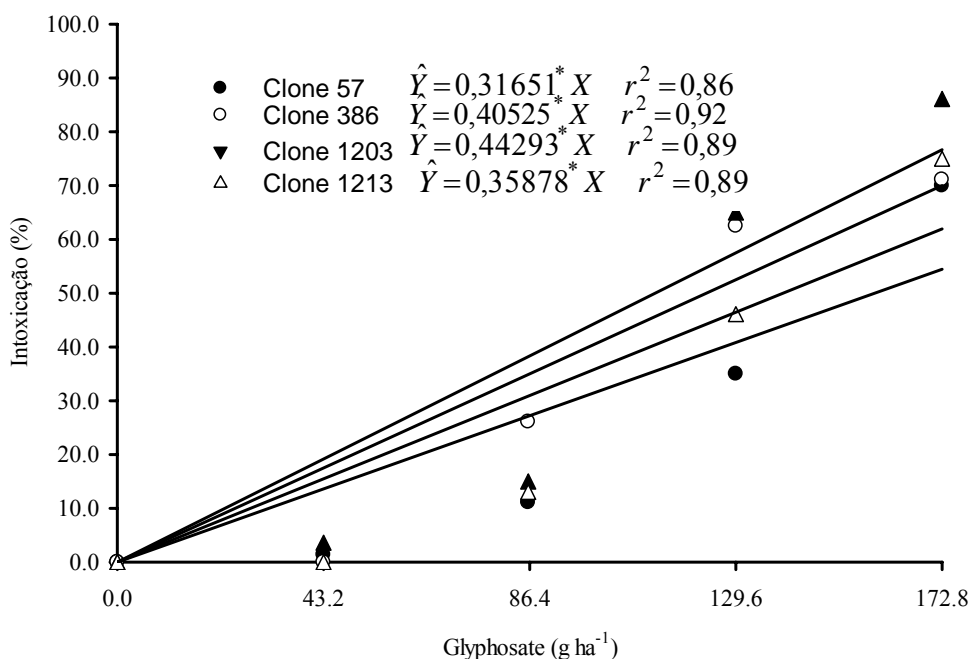


**Figura 2** – Intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 7 dias após a aplicação (DAA). \* significativo a 5% pelo teste t.

**Tabela 2.** Valores médios de intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 21 dias após aplicação (DAA)

CLONE	Glyphosate (g ha <sup>-1</sup> )				
	0,0	43,2	86,2	129,6	172,8
	----- Intoxicação (%) -----				
<b>57</b>	0,00 A	2,50 A	11,25 A	35,00 B	70,00 B
<b>386</b>	0,00 A	0,00 A	26,25 A	62,50 A	71,25 AB
<b>1203</b>	0,00 A	3,75 A	15,00 A	65,00 A	86,25 A
<b>1213</b>	0,00 A	0,00 A	13,00 A	46,25 B	75,00 AB

Medias seguidas por um mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

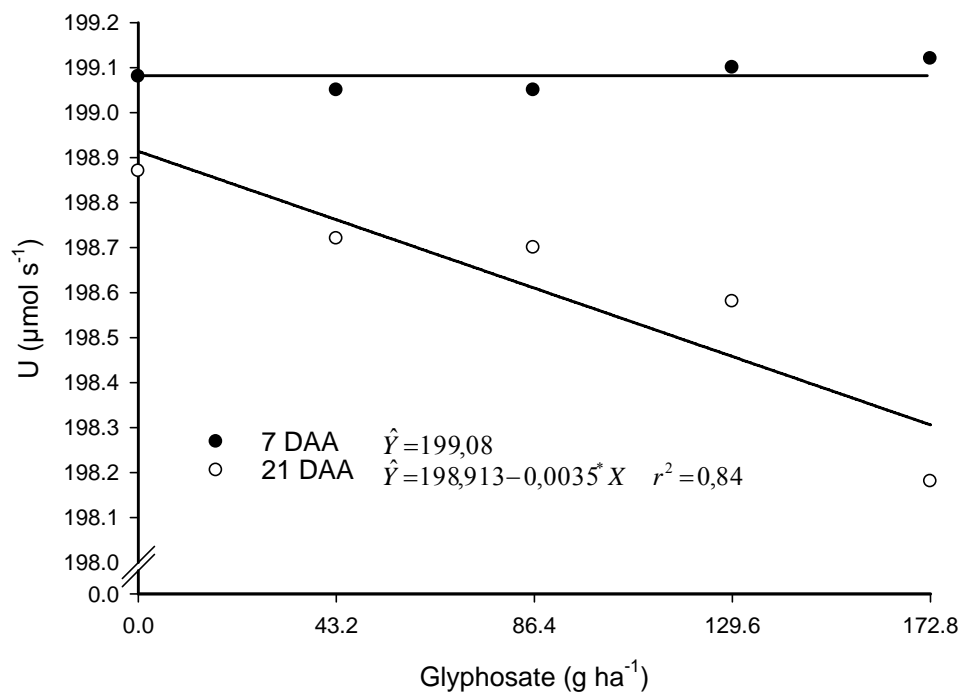


**Figura 3** – Intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 21 dias após aplicação (DAA). \* significativo a 5% pelo teste t.

Para taxa de fluxo de gases pelos estômatos (U), taxa fotossintética (A), condutância estomatal de vapores de água (Gs), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água (WUE) e massa seca da parte aérea não foi verificada interação entre clones e doses do glyphosate.

Para a taxa de fluxo de gases pelos estômatos (U), não foi observado diferenças entre clones aos 7 e 21 DAA (Tabela 3).

Quando avaliado em função das doses do herbicida, verifica-se (Figura 4) que aos 7 DAA não ocorreu diferença entre as doses, apresentando uma taxa média de fluxo de gases pelos estômatos de 199,08  $\mu\text{mol s}^{-1}$ . Aos 21 DAA observou-se que a taxa de fluxo de gases pelos estômatos em plantas de eucalipto foi reduzida de forma linear com o incremento das doses de glyphosate aplicadas (Figura 4).



**Figura 4** – Taxa de fluxo de gases pelos estômatos ( $U - \mu\text{mol s}^{-1}$ ) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA). \* significativo a 5% pelo teste t.

**Tabela 3** - Fluxo de gás pelos estômatos (U -  $\mu\text{mol s}^{-1}$ ), taxa fotossintética (A -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (Gs -  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), Taxa de transpiração (E -  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e eficiência do uso da água (WUE -  $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) de diferentes clones de eucalipto submetidos ao glyphosate aos 7e 21 dias após a aplicação (DAA).

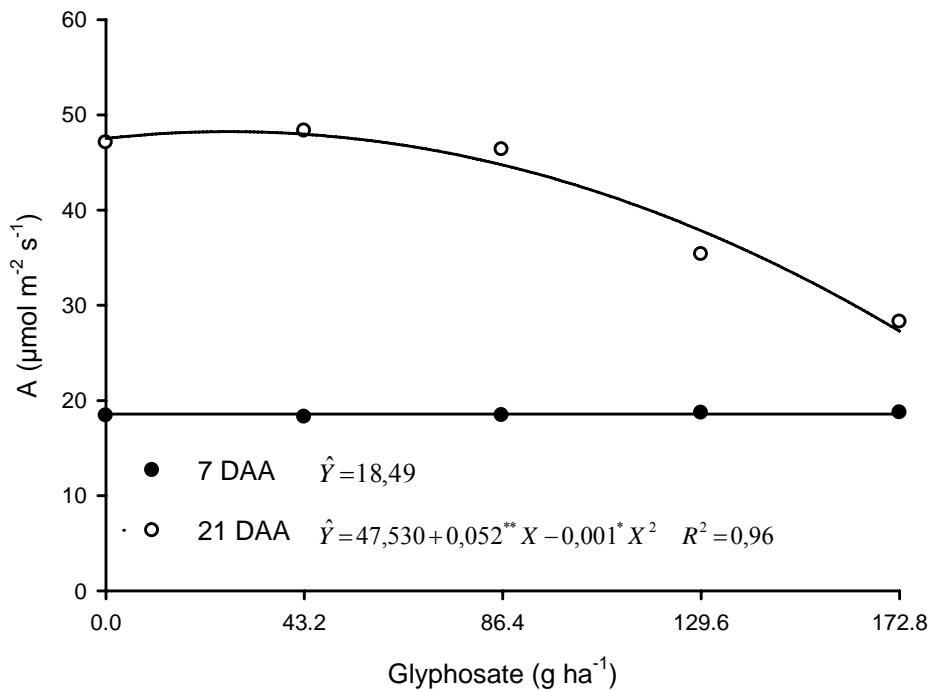
Clone	U ( $\mu\text{mol s}^{-1}$ )		A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		GS ( $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )		E ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		WUA ( $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ )	
	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA
<b>57</b>	199,12 A	198,79 A	17,80 A	45,47 A	0,69 A <sup>1/</sup>	3,02 A	4,53 A	10,94 A	3,79 A	4,28 A
<b>386</b>	198,93 A	198,80 A	18,35 A	43,23 A	0,70 A	2,97 A	5,27 A	10,87 A	3,82 A	4,14 A
<b>1203</b>	199,08 A	198,67 A	19,09 A	39,11 A	0,66 A	2,88 A	5,02 A	10,10 A	4,00 A	3,87 A
<b>1213</b>	198,93 A	198,74 A	19,42 A	37,94 A	0,64 A	3,02 A	5,03 A	10,25 A	4,05 A	3,58 A
<b>CV (%)</b>	<b>0,45</b>	<b>0,23</b>	<b>15,29</b>	<b>23,49</b>	<b>40,08</b>	<b>46,36</b>	<b>26,35</b>	<b>18,73</b>	<b>20,24</b>	<b>32,28</b>

Medias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à taxa fotossintética (A), não foi verificada diferenças entre clones aos 7 e 21 DAA. Entretanto, verificou-se que aos 21 DAA os valores de fotossíntese foram superiores aos observados aos 7 DAA em todos os clones estudados (Tabela 3). Quando analisada em função das doses herbicidas, verificou-se, aos 7 DAA que os valores não variaram ( $18,49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Entretanto aos 21 DAA houve incremento na taxa fotossintética observada na menor dose ( $43,2 \text{ g ha}^{-1}$  de glyphosate) com posterior queda em resposta ao aumento das doses do herbicida (Figura 5). Segundo Concenço et al. (2008) a taxa fotossintética está diretamente relacionada com o consumo de  $\text{CO}_2$  do meio e com o aumento de massa das plantas. Com o incremento da dose do herbicida, aumentou-se o nível de intoxicação das plantas de eucalipto (Figuras 2 e 3), causando abscisão foliar e, conseqüentemente reduzindo a área foliar útil para realização da fotossíntese.

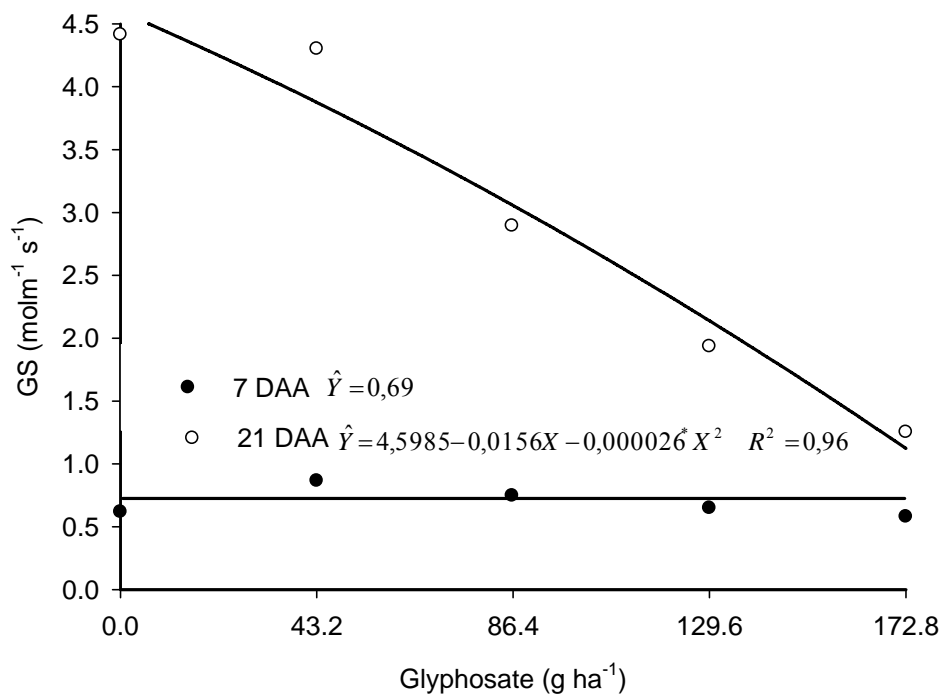
A fotossíntese, e conseqüentemente a respiração, dependem de um constante fluxo de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  entrando e saindo da célula; este fluxo livre é função da concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  nos espaços intercelulares que dependem da abertura estomática, controladora majoritária do fluxo de gases (Taylor Jr. & Gunderson, 1986; Messinger et al., 2006). Esta, por sua vez, é em grande parte controlada pela turgescência tanto das células-guarda (que controlam a abertura dos estômatos) como das células epidérmicas dos estômatos (Humble & Hsiao, 1970).

Para condutância estomática (GS), não foi observada diferenças entre clones aos 7 e 21 DAA (Tabela 3). Aos 7 DAA os valores de GS variaram de 0,64 a 0,70  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$  para os clones 1213 e 386, respectivamente, enquanto aos 21 DAA esses valores foram superiores (Tabela 3), variando entre 2,88 (clone 1203) a 3,02  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$  (clones 57 e 1213 respectivamente).



**Figura 5** - Taxa fotossintética ( $A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA). \* significativo a 5% pelo teste t. \*\* significativo a 1% pelo teste t.

Quando se verifica o comportamento da condutância estomática em relação às doses do glyphosate, observa-se aos 7 DAA que os valores não diferiram (Figura 5) com o incremento das doses ( $GS = 0,69 \text{ mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da ação lenta do glyphosate (Silva et al. 2007), não apresentando assim sintomas elevados de intoxicação por ocasião da avaliação (Figura 1). Entretanto, na avaliação realizada aos 21 DAA, verificou-se decréscimo acentuado na condutância estomática com o aumento das doses do herbicida (Figura 6). Os dados estão de acordo com os de Pereira et al. (2008) que avaliaram a taxa transpiratória, resistência estomática e temperatura de folhas de plantas de eucalipto sob influencia da deriva do glyphosate.



**Figura 6** – Condutância estomática (Gs - mol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).

De acordo com Brodribb & Holbrook (2003) a condutância estomática é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e diâmetro da abertura do estômato, características que dependem de outros fatores endógenos e ambientais. Entretanto, em condições de estresse a planta tende a fechar os estômatos como mecanismo de defesa contra a perda de água, aumentando a resistência e por consequência reduzindo a condutância estomática (Taiz & Zeiger, 2004).

O fechamento estomático influencia na redução da transpiração. A condutância estomática é responsável pelo fluxo de entrada e saída de água e CO<sub>2</sub> pelo estômato, quanto menor sua abertura, maior a resistência estomática e conseqüente diminuição na transpiração (Taiz & Zeiger, 2004).

O herbicida glyphosate é sistêmico e se transloca pela planta até os pontos de crescimento. Na parte aérea do eucalipto, quando do contato com esse herbicida, observa-se cloroses e necroses para as maiores doses, levando a morte desses ponteiros. Esse mesmo efeito, provavelmente ocorre nos ápices radiculares, o que pode ocasionar

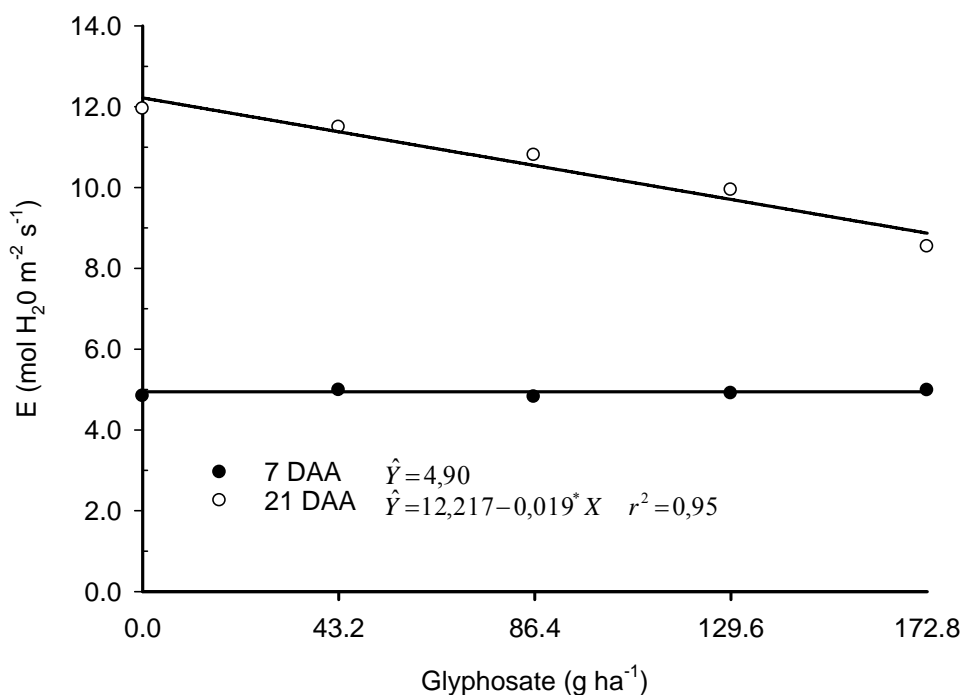
necrose de raízes capazes de absorver água e sais minerais do solo, refletindo diretamente nas características fisiológicas das plantas.

A transpiração seguiu o mesmo comportamento da condutância estomática e da fotossíntese. Não foram verificadas diferenças entre clones nas avaliações realizadas aos 7 e 21 DAA. Os valores observados aos 7 DAA variaram de 4,53 a 5,27 mols H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para os clones 57 e 386, respectivamente. Os valores observados aos 21 DAA variaram de 10,10 a 10,94 mols H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para os clones 1203 e 57, respectivamente, valores estes superiores aos observados aos 7 DAA (Tabela 3).

Em relação às doses, não se verificou diferenças na transpiração aos 7 DAA, cujo valor médio foi de 4,90 H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 6). Aos 21 DAA, verificou-se redução linear na transpiração com o incremento nas doses (Figura 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2008) avaliando a taxa transpiratória e a resistência estomática de folhas de plantas de eucalipto sob influência da deriva do glyphosate. Esse comportamento inicial aos 7 DAA, sem alteração da condutância estomática e a diferença observada aos 21 DAA podem ser explicados pela lenta ação do glyphosate na planta. Segundo Silva et al. (2007) o glyphosate apresenta seu máximo de eficiência de controle entre os 15 e 25 DAA, apesar deste herbicida ser rapidamente absorvido e translocado na planta de eucalipto (Machado et al., 2009).

Maior transpiração pela planta é benéfica, pois este fator está diretamente correlacionada com a taxa fotossintética. A diminuição da transpiração foliar reforça a idéia do estresse promovido pela ação do glyphosate causando desbalanço metabólico, ocasionando colapso e desarranjo na formação e manutenção das estruturas da planta, devido à inibição da síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (Vidal, 1997).





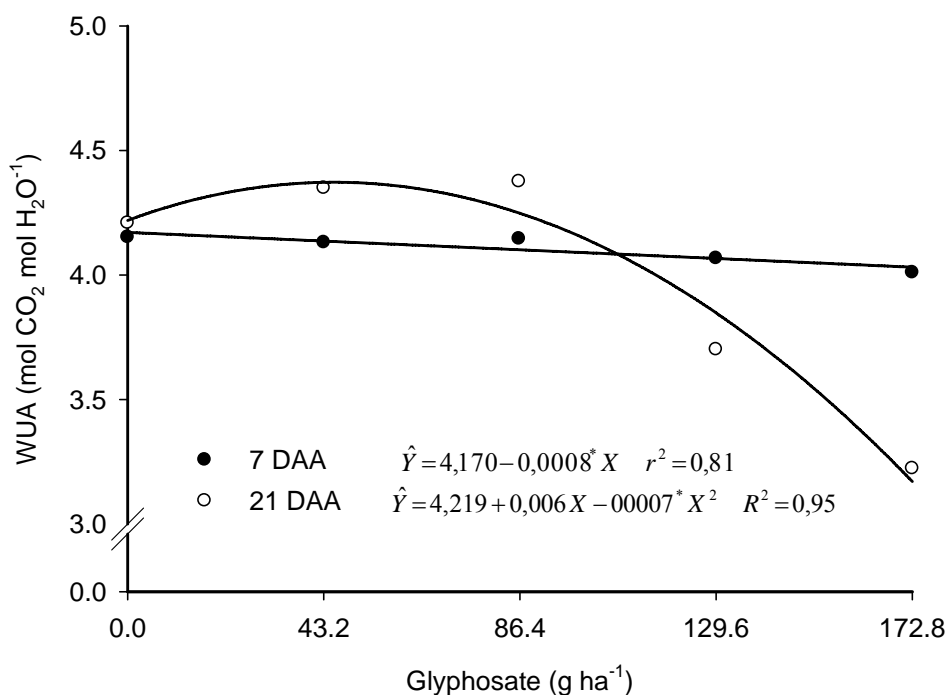
**Figura 7** - Taxa de transpiração ( $E$  – mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).

A eficiência do uso da água é caracterizada como a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura para a produção de certa quantidade de matéria seca. Em ambas as avaliações realizadas aos 7 e 21 DAA, não foram observadas diferenças entre clones. Os valores variaram de 3,79 mols CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para o clone 57 a 4,05 mols CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para o clone 1213 e 3,58 mols CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para o clone 1213 a 4,28 mols CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para o clone 57, aos 7 e 21DAA, respectivamente (Tabela 3).

A eficiência no uso da água foi afetada pelo incremento nas doses do herbicida. Nas doses 43,2 e 86,4 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate houve incremento na produção de matéria seca por unidade de água transpirada. Entretanto, a partir da dose 86,4 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate ocorreu redução na eficiência no uso da água pelas plantas de eucalipto (Figura 8). Essa redução na eficiência pode ser explicada pela redução na fotossíntese da planta (Figura 4), causando em última instância, redução no acúmulo de biomassa e pela necrose de folhas devido à intoxicação pelo herbicida (Figuras 2 e 3).

Em relação ao acúmulo de massa seca, verificou-se que os clones 1213 e 1203 apresentaram os maiores valores com 27,63 e 25,37 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente,

diferindo dos clones 386 e 57, com valores de massa seca iguais a 19,31 e 19,22 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4). Tuffi Santos et al. (2006) observaram diferenças no acúmulo de massa seca de diferentes espécies de eucalipto quando submetidas à deriva simulada de glyphosate.



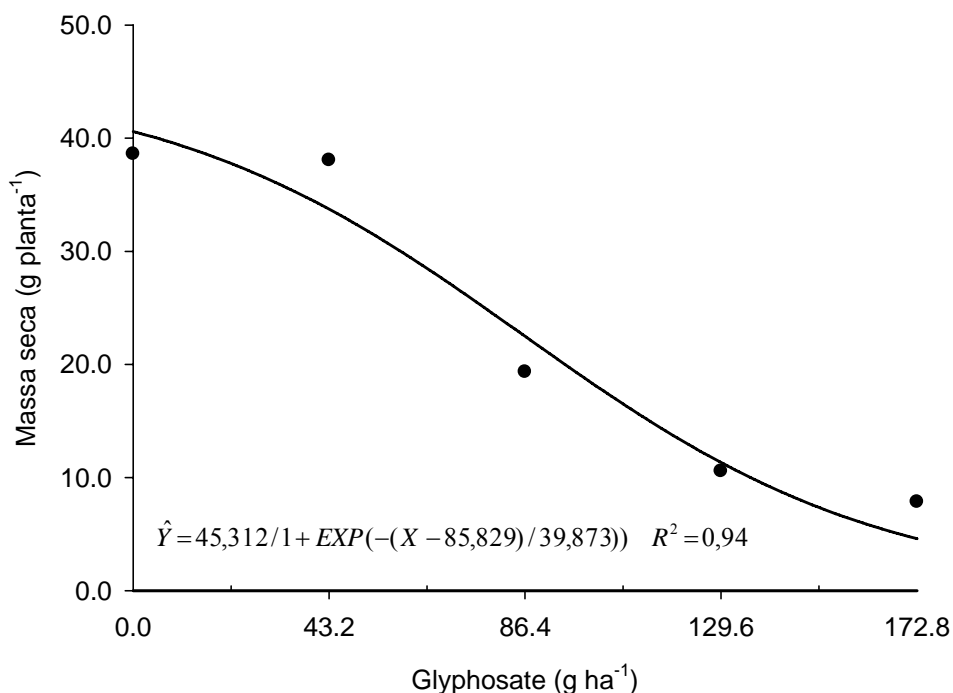
**Figura 8** – Eficiência no uso das água (WUE – mol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).

**Tabela 4.** Massa seca da parte aérea (MSPA – g planta<sup>-1</sup>) de clones de eucalipto submetidos a diferentes doses de glyphosate.

CLONE	Glyphosate (g ha <sup>-1</sup> )					Média
	0,0	43,2	86,2	129,6	172,8	
	----- g planta <sup>-1</sup> -----					
<b>1213</b>	47,00	46,15	23,75	12,60	8,67	<b>27,63 A</b>
<b>1203</b>	45,05	41,02	22,2	11,05	7,55	<b>25,37 A</b>
<b>386</b>	31,90	35,57	13,55	7,97	7,55	<b>19,31 B</b>
<b>57</b>	28,27	31,65	17,87	10,67	7,65	<b>19,22 B</b>

Medias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao efeito das doses de glyphosate sobre o acúmulo de massa seca das plantas de eucalipto, verificou-se que a menor dose (43,2 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate) proporcionou incremento na produção de massa seca (Figura 9). Entretanto, a partir da dose 43,2 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, verificou-se redução no acúmulo de massa seca com o incremento nas doses do herbicida. (Figura 9). Tuffi Santos et al. (2006) trabalhando com diferentes espécies de eucalipto verificaram diferenças na susceptibilidade e acúmulo de massa seca das plantas a diferentes doses do glyphosate. Segundo Tuffi Santos et al. (2007b) a diferença de tolerância entre espécies e entre clones de eucalipto, pode ser usada na escolha de materiais genéticos a serem cultivados, constituindo-se em informação relevante para o manejo da cultura.



**Figura 9** – Massa seca (g planta<sup>-1</sup>) de plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 50 dias após aplicação (DAA).

De acordo com os resultados obtidos, pode-se inferir que menor acúmulo de massa seca pelas plantas de eucalipto nas doses superiores a 43,2 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate pode ser explicado pelo incremento na intoxicação das plantas, causando necrose e

abscisão foliar, bem como pela menor eficiência fotossintética e no uso da água dessas plantas expostas a maiores doses do herbicida. Deste modo, cuidados na aplicação desse herbicida, no manejo de plantas daninhas no eucalipto devem ser tomados a fim de se evitar intoxicação da cultura e possível morte de plantas causando redução de estande e reduzindo a produtividade.

## LITERATURA CITADA

BAPTISTA, J. M. et al. **Programa nacional para o uso eficiente da água**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2001. 212 p.

BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiol.**, v. 132, p. 2166–2173, 2003.

CONCENÇO, G. et al. Eficiência fotossintética de biótipos de azevém em condição de competição. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2008.

FRANS, R. E. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). **Research methods in Weed Science**. Melbourne: Southern Weed Science Society, 1972. p. 28-41.

HUMBLE, G. D.; HSIAO, T. C. Light-dependent influx and efflux of potassium of guard cells during stomatal opening and closing. **Plant Physiol.**, v. 46, p. 483-487, 1970.

HUTMACHER, R. B.; KRIEG, D. R. Photosynthetic rate control in cotton. **Plant Physiol.**, v. 73, p. 658-661, 1983.

KLAR, A.E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ed. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; PEARCEY, R. W. Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemical factors in photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiol.**, v. 86, p. 782-785, 1988.

LORETO, F.; BONGI, G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiol.**, v. 91, p. 1580-1585, 1989.

LUDLOW, M.M. Adaptive significance of stomatal responses to water stress. In: TURNER, N.C. & KRAMER, P.J., (Eds). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John-Wiley, 1980. p. 123-138.

- MACHADO, A. F. L. et al. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto. (*in press*). **Planta Daninha**, 2009. No prelo.
- MAGALHÃES, P. C. et al. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2001.
- MALIK, J.; BARRY, G.; KISHORE, G. The herbicide glyphosate. **Biofactores**, v. 2, p. 17-25, 1989.
- MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO<sub>2</sub>. **Plant Physiol.**, v. 140, p. 771-778, 2006.
- MILLER, D. K. et al. Response of non glyphosate resistant cotton to reduced rates of glyphosate. **Weed Sci.**, v. 52, p. 178-182, 2004.
- NAVES-BARBIERO, C. C. et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 12, p. 119-134, 2000
- PEREIRA, M. M. R. et al. Taxa transpiratória, resistência estomática e temperatura de folhas de plantas de eucalipto sob influencia da deriva do glyphosate In: CONGRESSO DE PLANTAS DANINHAS, 26., 2008, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2008. CD-ROM.
- PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.) **Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 2002, p. 17-42.
- SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiol.**, v. 68, p. 1170-1174, 1981.
- SILVA, A.A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas Daninhas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.17-55. TAYLOR Jr., G. E.; GUNDERSON, C. A. The response of foliar gas exchange to exogenously applied ethylene. **Plant Physiol.**, v. 82, p. 653-657, 1986.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719 p.

TOLEDO, R. E. B. et al. Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto. **Sci. For.**, v. 64, p. 78-92, 2003.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.133-137, 2007a.

TUFFI SANTOS, LD. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. *Environ. Exp. Bot.*, vol. 59, n. 1, p. 11-20, 2007b.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Braz. J. Biol.**, vol. 69, n. 1, p.129-136, 2009.

VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: Palote, 1997. p. 39-44.

## CONCLUSÕES GERAIS

- Existe diferença quanto à tolerância ao glyphosate entre clones da mesma espécie e entre híbridos provenientes do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*.
- Dentre os clones estudados os mais sensíveis ao glyphosate foram C3733, C3748, C3837 e C4143, enquanto os clones mais tolerantes foram 57,1213 e C3635.
- O clone 531 apresentou menor absorção de glyphosate em relação ao clone 2277.
- Não houve diferença entre os clones 531 e 2277 quanto à translocação e a exsudação radicular do glyphosate pelas plantas.
- Não se observou diferença entre clones quanto à fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência no uso da água.
- Com o incremento da dose do glyphosate houve redução na condutância estomática, taxa de fluxo de gases pelos estômatos, taxa fotossintética e eficiência do uso da água para os clones 57, 386, 1203 e 1213.
- Plantas de eucalipto dos clones 1213 e 1203 apresentaram maior acúmulo de massa seca da parte aérea.



- Com incremento da dose do glyphosate houve redução no acúmulo de massa seca da parte aérea.
- Plantas de eucalipto intoxicadas pelo glyphosate apresentam menor crescimento quando comparadas a plantas que não foram intoxicadas.