

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E USO DA ÁGUA EM PLANTAS DE EUCALIPTO PULVERIZADAS COM GLYPHOSATE¹

Photosynthetic Efficiency and Water Use in Eucalyptus Plants Sprayed with Glyphosate

MACHADO, A.F.L.², FERREIRA, L.R.³, SANTOS, L.D.T.⁴, FERREIRA, F.A.³, VIANA, R.G.⁵, MACHADO, M.S.⁶ e FREITAS, F.C.L.⁷

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⁻¹) 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 ($QUE - \text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$). Aos 50 DAA, as plantas de eucalipto foram coletadas e colocadas em estufa de ventilação forçada a 70 °C até atingirem massa constante. 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 e a eficiência fotossintética e de uso da água dos clones estudados.

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

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), four doses of glyphosate (43.2, 86.2, 129.6 and 172.8 g ha⁻¹) and a control without herbicide, considered zero dose, with four replications. At 7, 14, 21 and 28 days after herbicide application (DAA), plant intoxication was evaluated and at 7 and 21 DAA, 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 a forced-ventilation oven at 70 °C until constant weight to determine dry mass. At 21 DAA, clone 1203 was found to be the most sensitive to the herbicide. There was no difference among the clones for the assessed physiological variables. At 21DAA, it was verified that increasing doses of glyphosate led to a reduction in stomatal conductance, stomatal gas flow rate, photosynthetic rate and water use efficiency. Plants of clones 1213 and 1203 showed a higher accumulation of dry mass. Increasing doses of glyphosate promoted less accumulation of dry mass in the eucalyptus plants. Glyphosate negatively affected growth, photosynthetic efficiency and water use of the evaluated clones.

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

¹ Recebido para publicação em 21.8.2009 e na forma revisada em 15.6.2010.

² Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD/Capes), Universidade Federal do Tocantins – UFT, Rua Badajós, Chácaras 69 e 72 Lt. 07, Zona Rural, Caixa Postal 66, 77402-970 Gurupi-TO, <aroldomachado@yahoo.com.br>; ³ Professor do Dep. de Fitotecnia, DFT/UFV, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36570-000 Viçosa-MG; ⁴ Professor do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG; ⁵ Doutorando em Fitotecnia, DFT/UFV; ⁶ Mestrando em Fitotecnia, Laboratório de Herbicida na Planta, DFT/UFV.; ⁷ Professor do Dep. de Ciências Vegetais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA.



INTRODUÇÃO

Na cultura do eucalipto, um dos grandes problemas enfrentados são as plantas daninhas, cujo manejo assume papel de destaque entre 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., 2006, 2007, 2009).

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”. Entretanto, poucos são os trabalhos que abordam 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, concentração interna e externa de gases e composição e intensidade da luz são os principais (Concenção et al., 2008). Embora a capacidade de condução e trocas gasosas pelos estômatos seja considerada a principal limitação da assimilação de CO₂ 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 CO₂ apresentam grande perda por transpiração, e, provavelmente, grande consumo de água implica incremento positivo da produtividade (Klar, 1984). A transpiração da maioria das espécies vegetais, incluindo eucalipto, é determinada

por 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 o 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. Segundo esses autores, 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. Dessa forma, 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 CO₂ 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 três quartos de solo argiloso e um quarto de areia; a adubação e calagem foram realizadas conforme as exigências da cultura. As mudas utilizadas, todas com aproximadamente três

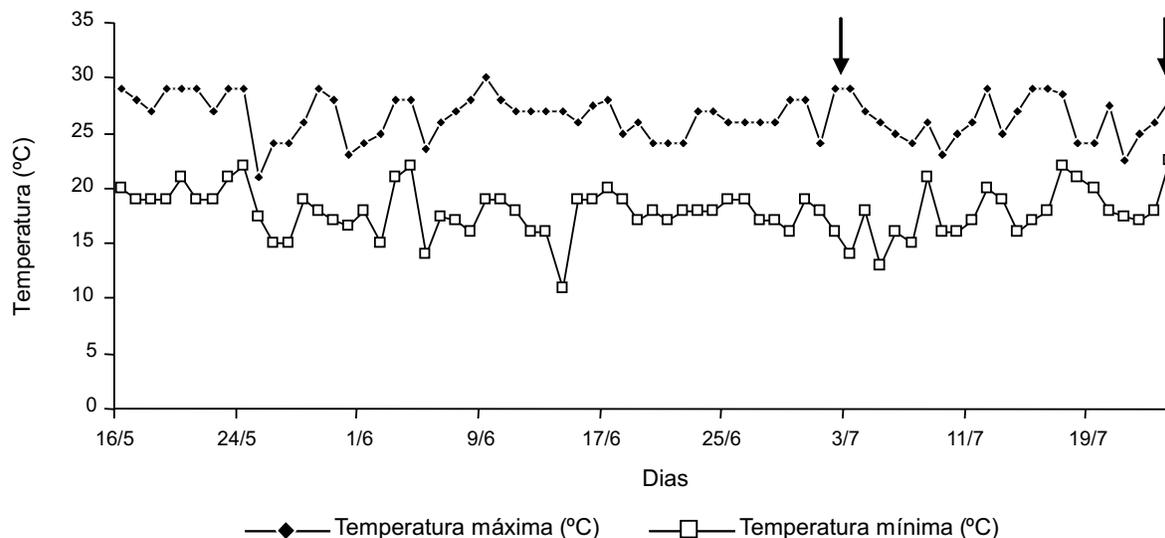


Figura 1 - Temperaturas máxima e mínima dentro da casa de vegetação durante a realização do experimento. As setas indicam as datas de realização das leituras com o IRGA.

meses de idade, formadas em substrato de vermiculita e casca de arroz carbonizada, contidas em recipientes de polipropileno preto (tubetes) de 55 cm³ de capacidade, foram padronizadas quanto ao tamanho e vigor; posteriormente, realizou-se o transplantio. Após o transplantio, foram feitas 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.

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*), quatro doses de glyphosate: 43,2; 86,2; 129,6; e 172,8 g ha⁻¹ (formulação comercial Scout®) e uma testemunha sem herbicida, dose zero. Foi considerado 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 transplantio e aproximadamente 0,40 m de altura, utilizando-se pulverizador costal, pressurizado a CO₂ 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⁻¹.

Após a aplicação do glyphosate, as plantas foram avaliadas diariamente, registrando-se as alterações morfológicas na parte aérea. 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 preestabelecida, em que 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 que fossem mantidas as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco. Foram avaliadas a taxa de fluxo de gases pelos estômatos (U - μmol s⁻¹), taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹), condutância estomatal de vapores de água (Gs - mol m⁻¹ s⁻¹) e taxa de transpiração (E - mol H₂O m⁻² s⁻¹), sendo calculada a eficiência do uso da água (WUE - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) a partir dos valores de quantidade de CO₂ 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 delas (região entre o colo e o ápice da planta), 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 a 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 de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto para o fator quantitativo (doses) foram ajustadas equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

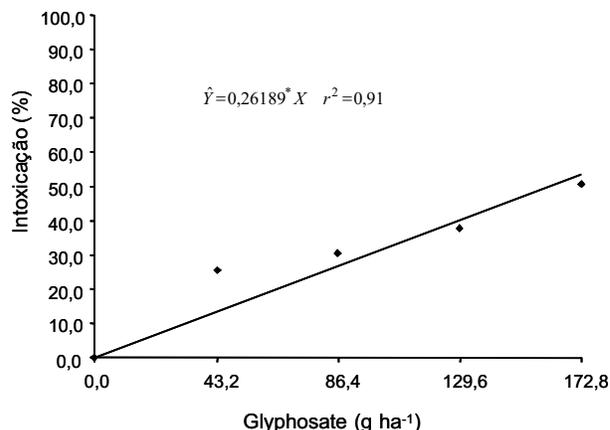
Os sintomas de intoxicação, para todos os clones avaliados, foram caracterizados por clorose, murcha e enrolamento das folhas dos ápices das plantas – observados já a partir do quinto dia após aplicação do glyphosate e progredindo nas maiores doses para necrose de folhas. Esses sintomas estão de acordo com os observados para a cultura do eucalipto (Tuffi Santos et al., 2009). Em avaliação realizada aos 7 DAA, não foi verificada 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 porcentagens de intoxicação

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

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

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



* significativo a 5% pelo teste t.

Figura 2 - Intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 7 dias após a aplicação (DAA).

(62,5 e 65,0%, respectivamente) para a dose de 129,6 g ha⁻¹ de glyphosate. Para a dose de 172,8 g ha⁻¹ do herbicida, o clone 1203 apresentou maior intoxicação (86,25%), enquanto o clone 57 mostrou menor nível de intoxicação (70%). Quanto às demais doses, não foram verificadas 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.

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.

No tocante à taxa de fluxo de gases pelos estômatos (U), não foram observadas diferenças entre clones aos 7 e 21 DAA (Tabela 3).

Quando se avaliou em função das doses do herbicida, verifica-se (Figura 4) que aos 7 DAA não ocorreu diferença entre elas, ocorrendo uma taxa média de fluxo de gases pelos estômatos de 199,08 μmol 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).

Em relação à taxa fotossintética (A), não foram verificadas 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 analisadas 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 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 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.

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

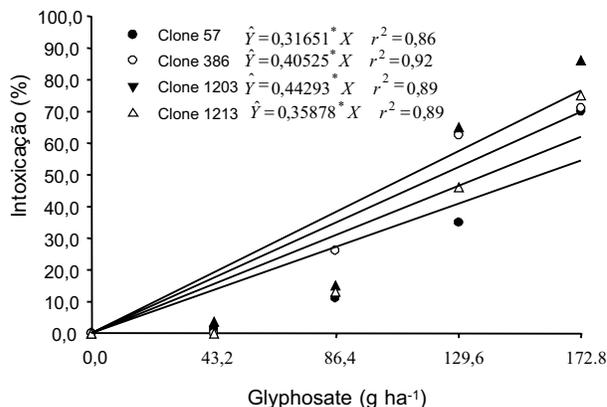
Clone	Glyphosate (g ha^{-1})				
	0,0	43,2	86,2	129,6	172,8
	Intoxicação (%)				
57	0,00 A	2,50 A	11,25 A	35,00 B	70,00 B
386	0,00 A	0,00 A	26,25 A	62,50 A	71,25 AB
1203	0,00 A	3,75 A	15,00 A	65,00 A	86,25 A
1213	0,00 A	0,00 A	13,00 A	46,25 B	75,00 AB

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

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 7 e 21 dias após a aplicação (DAA)

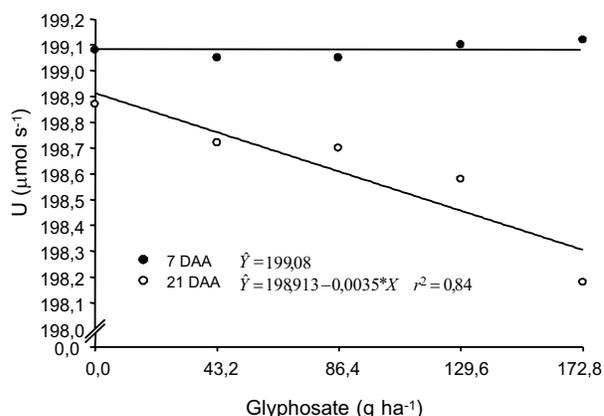
Clone	U ($\mu\text{mol s}^{-1}$)		A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		GS ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$)		E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		WUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)	
	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA
57	199,12 A	198,79 A	17,80 A	45,47 A	0,69 A	3,02 A	4,53 A	10,94 A	3,79 A	4,28 A
386	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
1203	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
1213	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
CV (%)	0,45	0,23	15,29	23,49	40,08	46,36	26,35	18,73	20,24	32,28

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



* significativo a 5% pelo teste t.

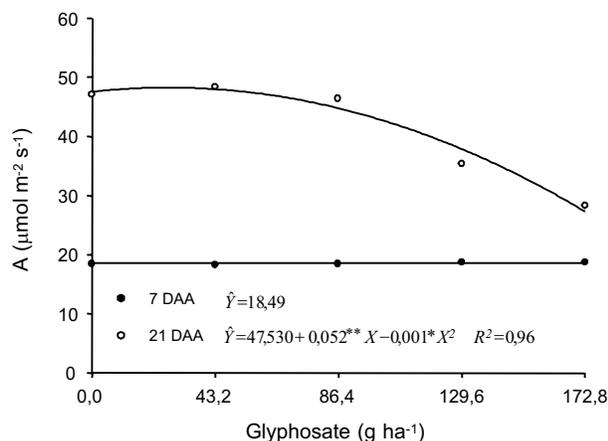
Figura 3 - Intoxicação (%) em plantas de clones de eucalipto pelo glyphosate aos 21 dias após aplicação (DAA).



* significativo a 5% pelo teste t.

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 1% pelo teste t.

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).

A fotossíntese e, conseqüentemente, a respiração dependem de um constante fluxo de CO_2 e O_2 entrando e saindo da célula; esse fluxo livre é função da concentração de CO_2 e O_2 nos espaços intercelulares, que dependem da abertura estomática, controladora majoritária do fluxo de gases (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) quanto das células epidérmicas dos estômatos (Humble & Hsiao, 1970).

Quanto à condutância estomática (GS), não foram observadas 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) e 3,02 $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (clones 57 e 1213, respectivamente).

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 ($\text{GS} = 0,69 \text{ mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$). Esse comportamento pode ser explicado pela ação lenta do glyphosate (Silva et al., 2007), não apresentando assim sintomas elevados de intoxicação por ocasião da avaliação (Figura 1). Contudo, 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 influência da deriva do glyphosate.

De acordo com Brodrribb & 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 a redução da transpiração. A condutância estomática é responsável pelo fluxo de entrada e saída de água e CO_2 pelo estômato; quanto menor sua abertura, maior a resistência estomática e a 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, observam-se cloroses e necroses para as maiores doses, levando à morte desses ponteiros. Esse mesmo

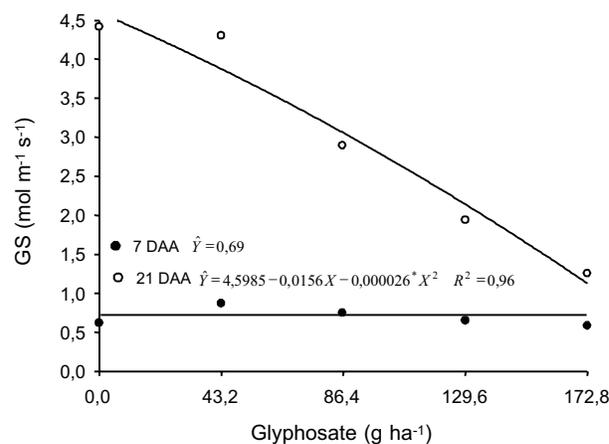


Figura 6 - Condutância estomática (Gs - $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).

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 $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os clones 57 e 386, respectivamente. Os valores observados aos 21 DAA variaram de 10,10 a 10,94 mols $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os clones 1203 e 57, respectivamente – valores estes superiores aos observados aos 7 DAA (Tabela 3).

Em relação às doses, não se verificaram diferenças na transpiração aos 7 DAA, cujo valor médio foi de 4,90 $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 6). Aos 21 DAA, constatou-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

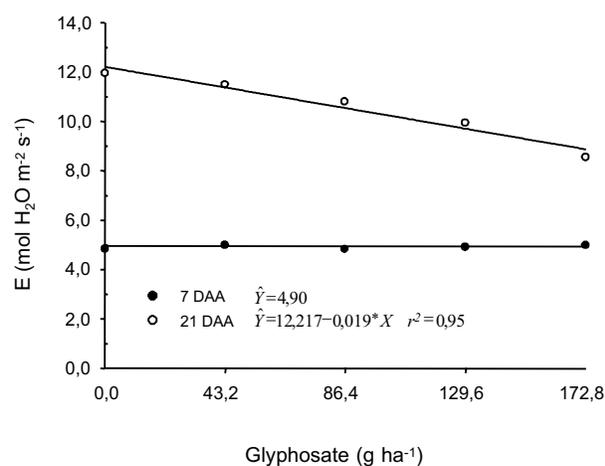


Figura 7 - Taxa de transpiração (E - mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).



apresenta seu máximo de eficiência de controle entre os 15 e 25 DAA, apesar de esse herbicida ser rapidamente absorvido e deslocado na planta de eucalipto (Machado et al., 2009).

Maior transpiração pela planta é benéfica, pois esse fator está diretamente correlacionado com a taxa fotossintética. A diminuição da transpiração foliar reforça a ideia do estresse promovido pela ação do glyphosate, causando desbalanço metabólico, levando assim ao 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).

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. Nas avaliações realizadas aos 7 e 21 DAA não foram observadas diferenças entre clones. Os valores variaram de 3,79 mols $\text{CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ para o clone 57 a 4,05 mols $\text{CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ para o clone 1213 e de 3,58 mols $\text{CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ para o clone 1213 a 4,28 mols $\text{CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ para o clone 57, aos 7 e 21 DAA, respectivamente (Tabela 3).

A eficiência no uso da água foi alterada pelo incremento nas doses do herbicida. Nas doses de 43,2 e 86,4 g ha^{-1} de glyphosate, houve incremento na produção de matéria seca por unidade de água transpirada. Entretanto, a partir da dose de 86,4 g ha^{-1} 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 por planta, respectivamente, diferindo dos clones 386 e 57, cujos valores foram de 19,31 e 19,22 g por planta, 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.

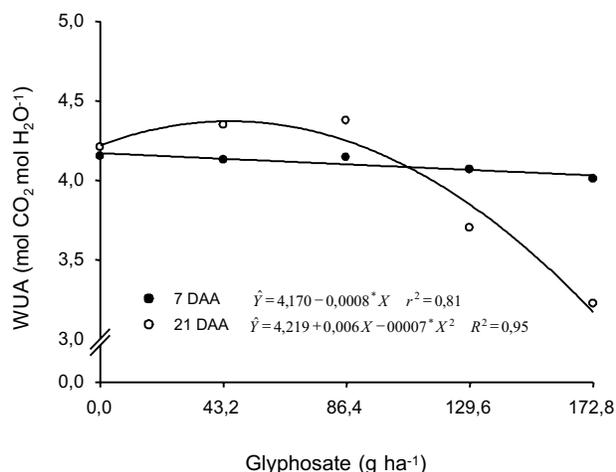


Figura 8 - Eficiência no uso da água (QUE - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) em plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 7 e 21 dias após aplicação (DAA).

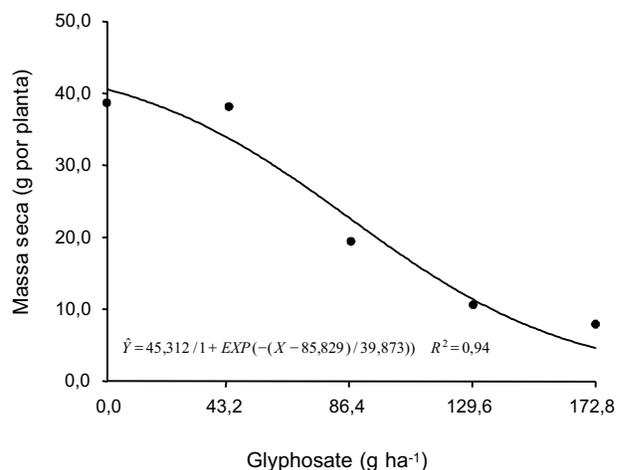


Figura 9 - Massa seca (g por planta) de plantas de eucalipto submetidas a doses crescentes de glyphosate aos 50 dias após aplicação (DAA).

Tabela 4 - Massa seca da parte aérea (MSPA – g por planta) de clones de eucalipto submetidos a diferentes doses de glyphosate

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

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

No tocante ao efeito das doses de glyphosate sobre o acúmulo de massa seca das plantas de eucalipto, constatou-se que a menor dose (43,2 g ha⁻¹ de glyphosate) proporcionou incremento na produção de massa seca (Figura 9). Todavia, a partir da dose de 43,2 g ha⁻¹ 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 suscetibilidade e acúmulo de massa seca das plantas a diferentes doses do glyphosate. Segundo Tuffi Santos et al. (2007), 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.

De acordo com os resultados, pode-se inferir que o menor acúmulo de massa seca pelas plantas de eucalipto nas doses superiores a 43,2 g ha⁻¹ 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. Desse modo, cuidados na aplicação desse herbicida, quando do manejo de plantas daninhas no eucalipto, devem ser tomados a fim de se evitar intoxicação da cultura e possível morte de plantas, levando à redução de estande e da 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, n. 4, 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, n. 3, p. 483-487, 1970.
- HUTMACHER, R. B.; KRIEG, D. R. Photosynthetic rate control in cotton. **Plant Physiol.**, v. 73, n. 3, p. 658-661, 1983.
- KLAR, A.E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.
- MACHADO, A. F. L. et al. Absorção, translocação e exsudação radicular de glyphosate em clones de eucalipto. (*in press*). **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 549-554, 2009.
- MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO₂. **Plant Physiol.**, v. 140, n. 2, 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 cerrado. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2000.
- PEREIRA, M. M. R. et al. Taxa transpiratória, resistência estomática e temperatura de folhas de plantas de eucalipto sob influência 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.
- SILVA, A. A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 17-55.
- 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, n. 1, p. 78-92, 2003.
- 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, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Braz. J. Biol.**, v. 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.

