

EXSUDAÇÃO RADICULAR DE GLYPHOSATE POR *Brachiaria decumbens* E SEUS EFEITOS EM PLANTAS DE EUCALIPTO¹

Radicular Exudation of Glyphosate by Brachiaria decumbens and Its Effects on Eucalypt Plant

TUFFI SANTOS, L.D.², SANTOS, J.B.³, FERREIRA, F.A.⁴, OLIVEIRA, J.A.⁵, BENTIVENHA, S.⁶ e MACHADO, A.F.L.⁷

RESUMO - Plantas de eucalipto com sintomas de intoxicação por glyphosate são comuns em áreas em que esse herbicida é usado. Uma das possíveis formas de contato com glyphosate é por meio da exsudação radicular do produto, por plantas daninhas tratadas, e subsequente absorção pelas plantas de eucalipto. Objetivou-se com este trabalho avaliar a exsudação de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos sobre plantas de eucalipto, por meio da aplicação de ¹⁴C-glyphosate misturado à calda de pulverização do produto comercial. Mudanças de dois clones de eucalipto (UFV05 e UFV06) foram cultivadas em consórcio com *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária), em vasos contendo dois tipos de solo: um arenoso e outro argiloso. Aos 35 dias após o transplante das mudas, foram aplicados na braquiária 50 µL da mistura de ¹⁴C-glyphosate com a formulação comercial de glyphosate Scout®, utilizando-se uma microseringa de precisão. Aos 2, 8, 16 e 24 dias após aplicação, as plantas de eucalipto foram coletadas e fracionadas em ápice primário, ápices secundários, folhas e raízes, sendo processadas de acordo com metodologia usual para determinação da radioatividade. Não foram observados sintomas de intoxicação por glyphosate nas plantas de eucalipto, em nenhuma das avaliações realizadas. Entretanto, o ¹⁴C-glyphosate foi encontrado em todas as plantas de eucalipto avaliadas, independentemente do solo, do clone e da época de avaliação, em maior concentração em plantas cultivadas no solo arenoso. Os resultados evidenciam a exsudação radicular do glyphosate e/ou de seus metabólitos pela braquiária e subsequente absorção, via raízes, pelas plantas de eucalipto, em concentrações inferiores às necessárias para causar intoxicação na cultura.

Palavras-chave: radioquímico, fitointoxicação, *Eucalyptus* sp.

ABSTRACT - *Eucalypt* plants commonly present symptoms of intoxication in areas where glyphosate is used. One possible way of contamination is through radicular exudation of glyphosate by the treated weed and later, plant absorption. This study aimed to evaluate glyphosate exudation by ***Brachiaria decumbens*** and its effects on eucalypt plants when ¹⁴C-glyphosate, mixed to the solution of the commercial product Scout® was applied. Seedlings of two eucalypt clones (UFV05 and UFV06) were cultivated in pots, intercropped with ***Brachiaria decumbens***, on two types of soil (clayey and sandy). At 35 days after transplantation, 50 µL of the mixture was applied on brachiaria by using a precision micro-syringe. After application, 2, 8, 16 and 24 days, samples of eucalypt plants were collected and fractioned in the primary apices, secondary apices, leaves and roots, following the usual methodology to determine radioactivity. Symptoms of intoxication were not observed in any eucalypt plant evaluation. However, ¹⁴C-glyphosate was found in all plants, regardless of the soil type, clone or evaluation time, with the highest concentration being found in the sandy soil. Results show radicular exudation of glyphosate by *B. decumbens* and its absorption by eucalypt plants through roots. However, concentrations lower than necessary may cause crop intoxication.

Keywords: radiochemical, phytointoxication, *Eucalyptus* sp.

¹ Recebido para publicação em 16.2.2007 e na forma revisada em 15.1.2008.

² Pós-Doutorado do Dep. de Fitotecnia/UFV, bolsista CNPq, <ltuffi@yahoo.com.br>; ³ Professor da UNIVALE; ⁴ Professor do Dep. de Fitotecnia/UFV, bolsista CNPq; ⁵ Professor do Dep. de Biologia Geral/UFV; ⁶ Engenheiro Florestal, Técnico em Pesquisa e Desenvolvimento da Suzano Papel e Celulose; ⁷ Doutorando em Fitotecnia/UFV, Laboratório de Herbicida na Planta, Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Fitotecnia, Av. PH Rolfs, s/n, 36570-000 Viçosa, MG.



INTRODUÇÃO

Dentre os herbicidas usados na cultura do eucalipto, o glyphosate se destaca por exercer efetivo controle sobre grande número de espécies daninhas, além de ser considerado ambientalmente seguro. Trata-se de um produto sistêmico, não seletivo, pertencente ao grupo dos inibidores da síntese de aminoácidos (Bridges, 2003).

Por se tratar de um herbicida não seletivo ao eucalipto, sua aplicação é feita de forma dirigida, evitando-se atingir a cultura. Apesar dos cuidados com a tecnologia de aplicação, é comum, em áreas em que o produto é aplicado, a ocorrência de contato indesejado desse herbicida com o eucalipto. Existe a preocupação quanto ao destino final da molécula do glyphosate, uma vez que, além do contato direto da calda aplicada com as folhas de eucalipto, esse produto pode, via exsudação radicular pelas plantas daninhas tratadas, ser também absorvido pelas raízes do eucalipto.

Tem-se verificado que alguns herbicidas, entre eles o glyphosate (Coupland & Caseley, 1979; Rodrigues et al., 1982), o 2,4-D (Fites et al., 1964) e o imazapyr (Silva et al., 2005), são exsudados pelo sistema radicular de plantas daninhas e de culturas agrícolas. Dependendo das condições do solo, das características do produto e de fatores ligados à planta, o herbicida exsudado pode ser absorvido por outros indivíduos. Na planta, a mobilidade do glyphosate no floema (Cole et al., 1983; Hess, 1994) poderá favorecer a exsudação radicular de sua molécula por plantas daninhas tratadas. A exsudação do ^{14}C -glyphosate para o solo já foi reportada para o trigo, com subsequente absorção da molécula herbicida por plantas de milho adjacentes (Rodrigues et al., 1982).

O cultivo de eucalipto em hidroponia ou em dois solos, um arenoso e outro argiloso, em consórcio com capim-braquiária tratado com glyphosate foi utilizado para observação da possível exsudação do herbicida pela espécie daninha e intoxicação da cultura (Tuffi Santos et al., 2005). Neste trabalho, a inexistência de sintomas de intoxicação do eucalipto indica que, se houve exsudação do glyphosate pela gramínea, ela ocorreu em concentrações inferiores às necessárias para provocar injúrias no eucalipto; entretanto, pela metodologia

utilizada, não foi possível determinar a quantidade do herbicida que foi exsudada. No caso do imazapyr, a sua aplicação em plantas de *E. grandis* resultou em exsudação do herbicida e/ou seus metabólitos, o que afetou o crescimento de plantas da mesma espécie, quando cultivadas no mesmo vaso em solução nutritiva (Silva et al., 2005).

Apesar do contato do glyphosate com o eucalipto via exsudação radicular de plantas daninhas tratadas não ser a principal forma de intoxicação da cultura no campo (Tuffi Santos et al., 2005), seu conhecimento é relevante, visto que as formas de contato podem ser aditivas e seus efeitos, diretos e indiretos, potencializados.

Neste estudo, objetivou-se avaliar a exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* tratada com esse herbicida e a absorção pelas raízes de eucalipto, cultivado em consórcio com a braquiária.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado sob condições controladas, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, entre os meses de janeiro e março de 2006.

Mudas de dois clones de *Eucalyptus grandis* (UFV05 e UFV06) foram cultivadas em consórcio com *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária) em ambiente protegido, em vasos com capacidade para 6 litros, preenchidos com dois tipos de solo (arenoso e argiloso), cujas características físicas encontram-se na Tabela 1. Cada vaso foi considerado uma parcela experimental, recebendo o transplântio, concomitantemente, de uma muda de eucalipto e quatro de capim-braquiária.

Aos 50 dias após o transplântio das mudas, quando as plantas de eucalipto e capim-braquiária apresentavam, respectivamente, cerca de 52 e 43 cm de altura, em média, aplicou-se o ^{14}C -glyphosate em mistura à formulação comercial de glyphosate (Scout®). Para aplicação, utilizou-se uma microseringa de precisão, em que 200 μL de calda contendo o ^{14}C -glyphosate (radioatividade aproximada de 0,080 μCi) e 22,68 mg e.a. vaso⁻¹ de glyphosate (equivalentes a 2 kg ha⁻¹ da formulação

Tabela 1 - Características físicas dos solos usados para plantio do eucalipto e da braquiária

	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	----- dag kg ⁻¹ -----				
Solo 1	71	4	1	24	Franco-argilo-arenosa
Solo 2	14	9	2	75	Muito argilosa

Análise realizada pelo Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa.

comercial, considerando a área aplicada por vaso) foram espalhados uniformemente em três limbos foliares, totalmente expandidos, sendo um limbo (terceiro a partir do ápice caulinar) em cada ramo da planta de braquiária. No período imediatamente antes da aplicação até a coleta das plantas, o eucalipto teve a parte inferior de sua copa protegida, por meio de uma cartolina, do contato com as plantas de capim-braquiária, evitando-se o contato com a calda herbicida aplicada. Vasos contendo o eucalipto em monocultivo e, portanto, que não receberam a aplicação do herbicida foram mantidos para comparação na avaliação de intoxicação.

A avaliação da radioatividade do ¹⁴C-glyphosate, no eucalipto, foi feita em intervalos de 2, 8, 16 e 24 dias após a aplicação – DAA, sendo as plantas coletadas e fracionadas em ápice principal, ápices secundários, folhas e raízes. 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 horas, para determinação da massa seca. Após a secagem, procedeu-se à moagem, em moinho de bola, até apresentarem textura equivalente a 200 mesh. Amostras de aproximadamente 100 mg de massa seca de cada componente foram adicionadas em frascos de contagem de 20 mL, acrescentando-se 1 mL de Triton-X-100®, sob agitação em vórtex por aproximadamente 14 segundos, e, em seguida, 5 mL de coquetel de cintilação (Sigma Flúor, contendo 30 g de cab-o-sil), com posterior homogeneização. Após essa etapa, as amostras foram colocadas em espectrômetro de cintilação líquida Beckman 6500, o qual corrigia o “quenching” automaticamente, para efetuar as determinações de radioatividade.

Os valores da radioatividade (cpm total) encontrados em cada planta de eucalipto foram convertidos em porcentagem em relação à atividade total aplicada. Em seguida, consideran-

do o total de glyphosate efetivamente absorvido pelas plantas, os valores de ¹⁴C glyphosate foram convertidos em porcentagem em relação ao total presente na planta, distribuídos no ápice primário, ápices secundários, folhas e raízes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ¹⁴C-glyphosate foi encontrado em todas as plantas de eucalipto cultivadas em consórcio com o capim-braquiária tratado com o herbicida, independentemente do solo, do clone e da época de avaliação, sugerindo que houve exsudação radicular do glyphosate pela planta daninha e subsequente absorção, via raízes, pelas plantas de eucalipto. Entretanto, nenhum sintoma de intoxicação por glyphosate foi verificado nas plantas de eucalipto, indicando que as quantidades absorvidas foram insuficientes para causar injúrias visíveis. Esses resultados corroboram os obtidos por Tuffi Santos et al. (2005), em que não foram observados sintomas de intoxicação do eucalipto cultivado em hidroponia ou no solo, em consórcio com *Brachiaria decumbens* tratada com glyphosate. Neste trabalho, se houve exsudação do glyphosate por plantas de capim-braquiária, tratadas com este herbicida, ela ocorreu em concentrações inferiores às necessárias para provocar injúrias no eucalipto (Tuffi Santos et al., 2005). A exsudação do ¹⁴C-glyphosate para o solo também já foi constatada para plantas de trigo, com subsequente absorção e translocação da molécula herbicida para todas as partes de plantas de milho adjacentes (Rodrigues et al., 1982).

No solo arenoso, aos 2, 8 e 24 dias após aplicação (DAA) do glyphosate, encontrou-se maior porcentagem de aplicação de ¹⁴C-glyphosate no eucalipto, em relação ao solo argiloso (Figura 1). O glyphosate em contato com solo é adsorvido por seus colóides, principalmente



por óxidos de ferro, cálcio e pela matéria orgânica, ficando indisponível à solução do solo (Rodrigues & Almeida, 2005). Assim, é de se esperar a maior disponibilidade de glyphosate no solo arenoso, em que os valores percentuais de ^{14}C -glyphosate presentes são praticamente o dobro do observado no solo argiloso. Glass (1987), trabalhando com adsorção de glyphosate em diferentes solos, concluiu que o herbicida é mais adsorvido em solos argilosos do que em arenosos. Adicionalmente, o glyphosate pode ser adsorvido dentro dos espaços interlaminares dos minerais de argila (Shoval & Yariv, 1979), tornando-se menos disponível à solução do solo.

Não se observou diferença entre os clones (Figura 2), bem como na época de avaliação (Figura 3), quanto ao percentual de ^{14}C -glyphosate encontrado nas plantas de eucalipto. No entanto, existe a tendência de diminuição da quantidade de ^{14}C -glyphosate encontrado na planta com o passar do tempo (Figuras 1, 2 e 3), que pode ser consequência do metabolismo da molécula herbicida pelo eucalipto. A metabolização do glyphosate leva à formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA), o qual é clivado em metilamina e fosfato inorgânico, como produtos finais de degradação (Hoagland, 1980). Adicionalmente, uma vez na planta de eucalipto, o ^{14}C -glyphosate pode ser exsudado pelas raízes, ficando sujeito aos processos de adsorção pelos colóides do solo, tornando-se indisponível para absorção radicular das plantas.

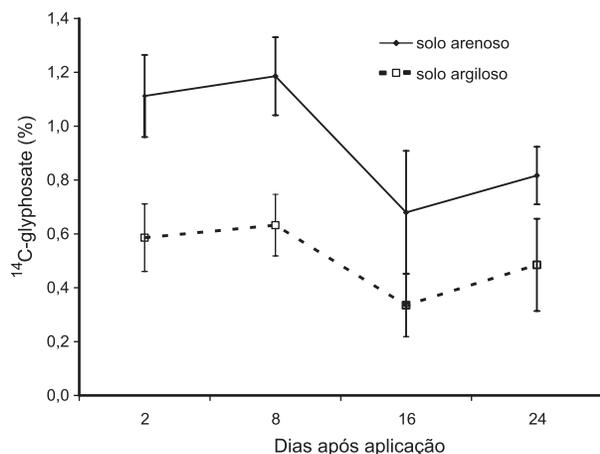


Figura 1 - ^{14}C -glyphosate, em percentual de aplicação, presente nas plantas de eucalipto (média de dois clones) cultivadas em dois tipos de solo, em função da época de avaliação.

Independentemente da época de avaliação, o ^{14}C -glyphosate efetivamente absorvido pelo eucalipto apresentou sua maior porcentagem nas folhas, tanto no solo arenoso quanto no argiloso (Figura 4). Quanto ao restante do material amostrado, com o decorrer do tempo após aplicação, nota-se maior concentração do ^{14}C -glyphosate nos ápices secundários, representando maior participação no acúmulo, comparado ao sistema radicular (Figura 4).

A partir desses resultados e dos observados por Rodrigues et al. (1982), constata-se a possibilidade da transferência de glyphosate de uma espécie vegetal a outra, via sistema radicular. Considerando a forte adsorção desse herbicida em solos, principalmente nos argilosos, e a improvável disponibilidade na solução do solo,

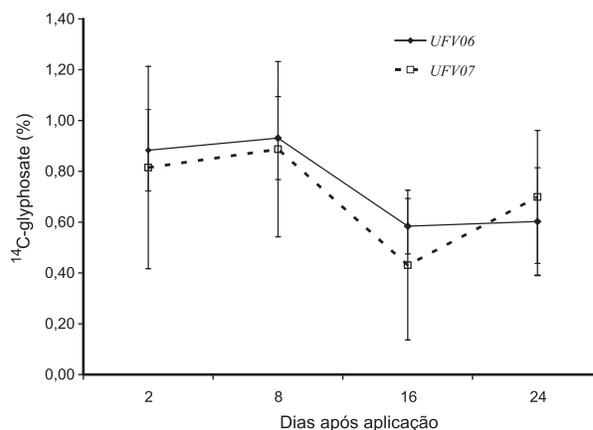


Figura 2 - ^{14}C -glyphosate, em percentual de aplicação, presente nas plantas de dois clones de eucalipto (UFV05 e UFV06), na média de dois tipos de solos, em função da época de avaliação.

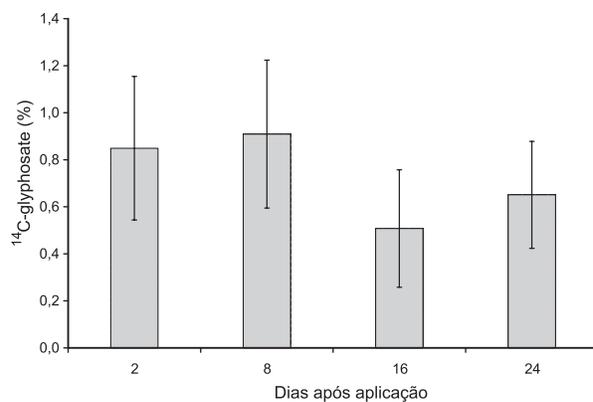


Figura 3 - ^{14}C -glyphosate, em percentual de aplicação, presente nas plantas de eucalipto (médias de dois clones), em função da época de avaliação.

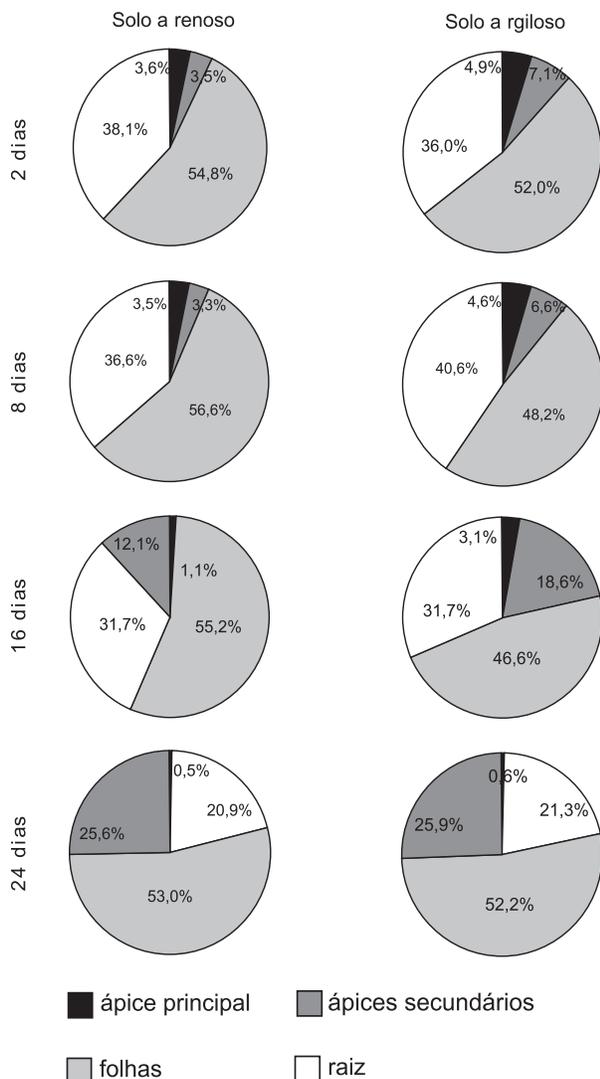


Figura 4 - Distribuição relativa (%) de ^{14}C -glyphosate do efetivamente absorvido pelo eucalipto cultivado em dois tipos de solo, em função da época de avaliação após aplicação.

passível de absorção pelas raízes, acredita-se que outros eventos seriam responsáveis pela transferência do herbicida entre plantas, via solo. Diversos fatores podem estar envolvidos na transferência, destacando-se o contato direto entre raízes no solo por anastomose, bem como a ligação de raízes de indivíduos distintos por hifas fúngicas. Já foi constatada a possibilidade de troca de água e nutrientes por meio da ligação entre raízes de plantas diferentes promovida por hifas de fungos formadores de micorriza (Hogberg & Hogberg, 2002). Além

disso, parte da molécula radiomarcada presente nos tecidos da planta de eucalipto pode ser o resultado da metabolização da molécula original no solo pela ação dos microrganismos. Assim, parte da radioatividade encontrada nas plantas de eucalipto pode ser resultante de moléculas que possuem o carbono marcado (^{14}C), resultante da transformação do ^{14}C -glyphosate pela microbiota do solo ou pelas plantas do sistema.

No presente ensaio e, também, no realizado por Tuffi Santos et al. (2005), não se observaram sintomas de intoxicação do eucalipto mesmo nas situações extremas simuladas: alta densidade de capim-braquiária, solos muito arenoso e aplicação de dose elevada de glyphosate. No campo, o contato do glyphosate com a parte aérea do eucalipto pode acarretar problemas com a intoxicação da cultura, após aplicação dirigida do produto para controle de plantas daninhas, principalmente em genótipos muito sensíveis ao glyphosate.

Considerando a exsudação radicular, é provável que em solos muito arenosos a intoxicação do eucalipto seja maior, dadas as formas cumulativas de contato. Isoladamente, a quantidade absorvida via sistema radicular não causa intoxicação do eucalipto no campo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Suzano Papel e Celulose, pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- BRIDGES, D. C. Glyphosate-type herbicidas. In: BRIDGES, D. C. **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 501-513.
- COLE, D. J.; CASELEY, J. C.; DODGE, A. D. Influence of glyphosate on selected plant process. **Weed Res.**, v. 23, n. 3, p. 173-183, 1983.
- COUPLAND, D.; CASELEY, J. C. Presence of ^{14}C activity in root exsudates and guttation fluid from *Agropyron repens* treated with ^{14}C -labelled glyphosate. **New Phytol.**, v. 83, n. 1, p. 17-22, 1979.



- FITES, R. C.; SLIFE, F. W.; HANSON, J. B. Translocation and metabolism of radioactive 2,4-D in jimsonweed. **Weeds**, v. 12, n. 3, p. 180-183, 1964.
- GLASS, R. L. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. **J. Agric. Food. Chem.**, v. 35, n. 2, p. 497-500, 1987.
- HOAGLAND, R. E. Effects of glyphosate on metabolism phenolic compounds. **Weed Sci.**, v. 28, p. 393-400, 1980.
- HESS, F. D. Mechanism of action of inhibitors of amino acid biosynthesis. In: **Herbicide action: An intensive course on the activity, selectivity, behavior and fate of herbicides in plants and soil.** West Lafayette: Purdue University, 1994. p. 344-365.
- HOGBERG, M. N.; HOGBERG, P. Extramatrical ectomycorrhizal mycelium contributes half the microbial biomass and produces, together with associated roots, half the dissolved organic carbon in a forest soil. **New Phyt.**, v. 154, p. 791-795, 2002.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. Guia de herbicidas. 5. ed., Londrina: Edição dos Autores, 2005. 591 p.
- 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.
- SILVA, C. M. M. et al. Exsudação radicular de imazapyr por mudas de eucalipto cultivadas em solução nutritiva. **R. Árvore**, v. 29, n. 6, p. 915-920, 2005.
- SHOVAL, S.; YARIV, S. Adsorption of glyphosate in the soil. **Clays Clay Mineral**, v. 27, p. 19-28, 1979.
- 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, 2005.

