

ARTIGO ORIGINAL

João Carlos Madalão^{1*}
Antonio Alberto da Silva²
Wilson de Almeida Orlando Junior²
Douglas Teixeira Saraiva²
Christiane Augusta Diniz Melo³
Leonardo D'Antonino²

O herbicida sulfentrazone interfere na biomassa microbiana e na atividade da microbiota do solo

The sulfentrazone interferes with microbial biomass and soil microbial activity

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, ES, Brasil

² Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil

³ Universidade Federal de Viçosa – UFV, Rio Paranaíba, MG, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: joaocmad@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Canavalia ensiformis
Fitorremediação
Efeito residual
Respirometria

KEYWORDS

Canavalia ensiformis
Phytoremediation
Residual effect
Respirometry

RESUMO: Uma das técnicas alternativas que minimizam o efeito de herbicidas de longo período residual consiste no cultivo de espécies vegetais que se associam a microbiota do solo, acelerando a degradação do agrotóxico no ambiente. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o impacto do herbicida sulfentrazone sobre a atividade e a biomassa microbiana em solo com e sem cultivo de *Canavalia ensiformis*, como espécie remediadora. Amostras de solo foram coletadas em um experimento de campo onde os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 2x2 (aplicação ou não do sulfentrazone associados ou não ao cultivo de *C. ensiformis*), em blocos casualizados, com quatro repetições. As datas de coleta das amostras de solo foram 15 e 70 dias após o plantio da espécie remediadora. Em laboratório, avaliou-se o carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado, o carbono da biomassa microbiana (CBM) e foi calculado o quociente metabólico (qCO₂). Com o cultivo de *C. ensiformis*, nas amostras de solo tratadas ou não com herbicida ocorreram oscilações nos valores do C-CO₂ liberado e do CBM. Todavia, o qCO₂ foi menor nos tratamentos com aplicação do sulfentrazone e com o cultivo da planta remediadora, indicando que cultivar *C. ensiformis* em áreas contaminadas com sulfentrazone reduz o efeito prejudicial sobre a atividade biológica do solo, proporcionando aumentos dos valores do CBM e proporcionando um equilíbrio do sistema.

ABSTRACT: One alternative technique that minimizes the effect of long-term residual herbicides is the cultivation of plants that associate with soil microorganisms, accelerating the degradation of the pesticide in the environment. Thus, the aim of this study was to evaluate the impact of sulfentrazone on activity and microbial biomass in soil with and without *Canavalia ensiformis*, as remedial species. Soil samples were collected in a field experiment where treatments were arranged in a 2x2 factorial design (application of sulfentrazone or not with or without the cultivation of *C. ensiformis*), in a randomized block design with four replications. Dates of collection of soil samples were 15 and 70 days after planting remedial species. In the laboratory, the evaluated C-CO₂, microbial biomass carbon (MBC) and it calculated the metabolic quotient (qCO₂). With the cultivation of *C. ensiformis* in samples of soil treated with herbicide or not there were variations in the amounts of C-CO₂ and MBC. However, the qCO₂ was lower with application of sulfentrazone and the cultivation of the remedial plan, indicating that cultivate *C. ensiformis* in areas contaminated with sulfentrazone reduces the detrimental effect on the soil biological activity, providing increases in MBC values and providing a balance of the system.

1 Introdução

O controle químico de plantas daninhas é prática comum na atividade agropecuária e consiste em importante tecnologia na redução dos custos de produção e, principalmente, viabilizar o cultivo em áreas extensas. Todavia, a aplicação de herbicidas que apresentam longa persistência no ambiente pode resultar em altos níveis de toxicidade aos cultivos em sucessão, além da possibilidade de contaminação de águas superficiais e subterrâneas (Mancuso et al., 2011). Para evitar esse problema é importante optar pela utilização de herbicidas de curta persistência no ambiente. Contudo, isto nem sempre é possível pela falta de compostos disponíveis no mercado seletivos às culturas de interesse, ou com eficácia comprovada no controle das plantas daninhas, ou pela necessidade de se fazer várias aplicações em uma cultura na mesma safra, o que encontra resistência por parte dos produtores (Silva et al., 2007).

A elevada utilização de herbicidas de longa persistência no ambiente em culturas como cana-de-açúcar, pastagens, soja, algodão e fruteiras resulta em grandes extensões de áreas contaminadas. Neste caso, a utilização de plantas remediadoras para acelerar a degradação dos herbicidas surge como alternativa de grande (Pires et al., 2003). A fitorremediação é ambientalmente aceita para a despoluição do solo e da água contaminados com compostos orgânicos e inorgânicos. Várias pesquisas, tanto no Brasil quanto em outros países, têm demonstrado a sua efetividade na descontaminação de ambientes (Madalão et al., 2012a, b; Oliveira et al., 2014; Mitter et al., 2013; Mitton et al., 2014).

As espécies vegetais utilizadas em programas de fitorremediação devem apresentar boa tolerância ao herbicida em questão. Essa tolerância pode ser resultante de processos como a translocação diferencial para outros tecidos do vegetal, havendo subsequente volatilização e/ou degradação parcial ou completa transformação em compostos menos tóxicos (Zhu et al., 2014).

Para esta técnica ser efetiva é necessário que o herbicida não afete negativamente a atividade da microbiota do solo associada à espécie remediadora. A interação entre a raiz e o solo promove a proliferação da comunidade microbiana na região da rizosfera, pela exsudação de aminoácidos e polissacarídeos pela planta (Yousaf et al., 2011; Khan et al., 2013; Afzal et al., 2014), o que permite à rizosfera apresentar grande potencial para degradação de agrotóxico.

Dentre os herbicidas que apresentam longa persistência no solo e são muito utilizados no Brasil destaca-se o sulfentrazone (Vivian et al., 2006; Blanco et al., 2010). Esse herbicida, derivado das triazolonas, inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase, causando disfunção na síntese de clorofila, com acúmulo de protoporfirina IX no citoplasma, aparecimento de oxigênio singlete e, conseqüente, peroxidação dos ácidos graxos insaturados da plasmalema (Dayan et al., 1998).

Além de persistente, o sulfentrazone é classificado como móvel e tem um alto potencial de lixiviação, tanto vertical (águas subterrâneas) quanto horizontal (Martinez et al., 2008), com coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico (Koc) em torno de 40.

Considerando que esse herbicida é utilizado em todo o país e pela sua elevada persistência do no solo, o sulfentrazone pode constituir-se em fonte de contaminação de aquíferos,

como conseqüência de várias aplicações ao longo do tempo no mesmo local. Diante disso, é necessário o desenvolvimento de técnicas que reduzam a persistência desse agrotóxico no solo, promovendo sua descontaminação. Acredita-se que com o cultivo de espécies de capacidade remediadora de solos contaminados com agrotóxicos seja possível introduzir culturas posteriores sem prejuízos econômicos, além do benefício ambiental.

Em estudos anteriores, comprovou-se a eficiência da *C. ensiformis* em remediar sulfentrazone (Madalão et al., 2012a; b; 2013). Dentre as variáveis microbiológicas utilizadas para estudar o comportamento microbiano na presença de herbicidas, a determinação do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado, carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (*q*CO₂) estão entre as técnicas mais empregadas (Gomez et al., 2009; García-Orenes et al., 2010; Pose-Juan et al., 2015; Nguyen et al., 2016; Singh et al., 2016). Pois, permitem uma avaliação rápida, simples e precisa do comportamento microbiano. E como a degradação microbiana é tida como a principal forma de dissipação do sulfentrazone no ambiente ((Tomlin, 2011) e a associação entre micro-organismos e a *C. ensiformis*, possivelmente, tem grande importância na degradação desse composto, sendo assim, torna-se fundamental o estudo dessa associação pela determinação do C-CO₂, CBM e o *q*CO₂. Devia a coerência de estudos que relacionem a associação de leguminosas com a atividade dos micro-organismos, aumentando o potencial de descontaminação de solos com o sulfentrazone, objetivou-se nesse trabalho avaliar o impacto desse herbicida sobre a biomassa e atividade microbiana do solo com e sem cultivo da *Canavalia ensiformis*.

2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido entre os meses de setembro de 2012 a janeiro de 2013 no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, MG, em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco argilo-arenoso. O clima da região é subtropical úmido com inverno seco e verão quente, de acordo com a classificação de Koppen-Geiger. A temperatura média anual é de 21°C e precipitação pluvial média anual de 1.200 mm. Os dados climáticos coletados na área experimental durante a realização da pesquisa estão apresentados na Figura 1. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 2x2 (tratamento com ou sem aplicação do herbicida associados ou não ao cultivo da espécie remediadora *C. ensiformis*), no delineamento de blocos casualizados com 4 repetições.

O solo foi arado e gradeado sendo caracterizado química e fisicamente (Tabela 1). O sulfentrazone foi aplicado em pré-plantio na dosagem de 1000 g ha⁻¹, utilizando-se pulverizador pressurizado a CO₂ e munido de pontas TT 110.02, num volume de calda de 150 L ha⁻¹. As condições climáticas, durante a aplicação, foram: temperatura do ar média de 15,7°C, umidade relativa do ar média de 86%, velocidade do vento de 5,76 km h⁻¹. Decorridos 30 dias após a aplicação foi realizada a semeadura da espécie remediadora (*C. ensiformis*) na densidade de 140 mil plantas ha⁻¹. Cada parcela experimental foi composta por 3,0 m de largura por 6,0 m de comprimento. A área útil de cada parcela correspondeu as quatro linhas centrais, ocupando 2 m de largura e 4 m de comprimento, perfazendo um total

Tabela 1. Resultados das análises físico-química de amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo da camada arável (0-20 cm) da área experimental.
Table 1. Results of physical and chemical analysis of samples of a Red-Yellow Podzolic arable layer (0-20 cm) of the experimental area.

Análise Granulométrica (dag kg ⁻¹)												
Areia Grossa		Aria Fina		Silte		Argila		Classificação Textural				
32		16		19		33		Franco Argilo-Arenoso				
Análise Química												
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	T	t	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%			dag kg ⁻¹		
6,51	17,1	104	4,12	0,87	2,1	0,0	5,26	7,36	5,26	71,5	0,0	4,06

pH em água; P - K - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB - Soma de Bases Trocáveis; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V - Saturação por Bases; m - Saturação por alumínio.

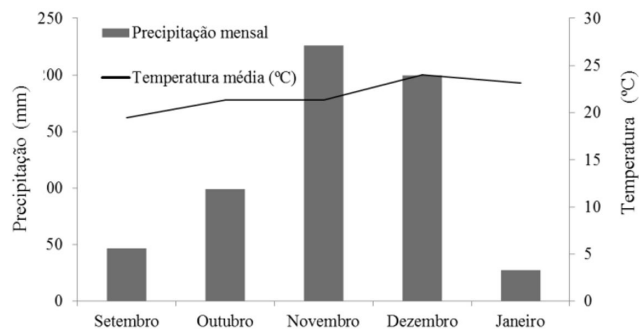


Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais durante o período experimento.

Figure 1. Pluvial precipitation and average monthly temperatures during the experimental period.

de 8 m². Semanalmente foi realizado o monitoramento e controle das plantas daninhas em todas as parcelas para evitar a interferência na microbiota do solo.

Aos 15 e 70 dias após o plantio da *C. ensiformis* foram coletadas amostras de solo de 0-20 cm nas parcelas experimentais, as quais foram conduzidas até ao Laboratório para incubação e avaliação do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado e do carbono da biomassa microbiana (CBM).

Na quantificação da taxa respiratória da microbiota do solo, amostras de 100 g de solo úmido (60% da capacidade de campo) foram incubadas durante 15 dias em frascos hermeticamente fechados. O C-CO₂ liberado do solo foi carreado por fluxo contínuo de ar (isento de CO₂) até outro frasco contendo 100 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. O C-CO₂ liberado foi estimado a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, acrescidos de 3 gotas do indicador fenolftaleína (Jenkinson & Powlson, 1976).

Após 15 dias de incubação, o solo foi retirado dos frascos, tomando-se 18 g para determinação do CBM, sendo utilizado o método descrito por Vance et al. (1987), modificado por Islam & Weil (1998).

O quociente metabólico (*q*CO₂) foi calculado dividindo-se o C-CO₂ liberado pelo CBM determinado no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade.

3 Resultados e Discussão

Aos 15 dias após o plantio (DAP) da *C. ensiformis* houve maior desprendimento de C-CO₂, ou seja, houve maior respiração microbiana com o cultivo da planta remediadora na presença e na ausência do sulfentrazone (3.570,00 e 3.997,50 µg C-CO₂ liberado, respectivamente). Tal fato pode estar relacionado à maior colonização de micro-organismos neste ambiente pelo efeito rizosférico das plantas de *C. ensiformis* (Tabela 2).

O ambiente rizosférico é importante devido aos exsudatos liberados pelas plantas, auxiliando na proliferação de micro-organismos responsáveis pela degradação do contaminante (Walker et al., 2003). Assim, o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de substâncias, favorecem a multiplicação de micro-organismos que podem atuar degradando o herbicida no solo, caracterizando, em algumas plantas, como aptidão rizosférica na remediação desses compostos.

Aos 70 DAP verificou-se menor desprendimento de C-CO₂ no solo cultivado com a planta fitorremediadora e com aplicação do sulfentrazone (Tabela 2). A redução da taxa respiratória do solo pode significar que nesse ambiente há menores distúrbios à atividade microbiana. Na presença do herbicida, a liberação de C-CO₂ foi afetada negativamente, com ou sem o cultivo de *C. ensiformis*. Aos 15 DAP da espécie remediadora houve maior desprendimento de C-CO₂ nos solos tratados com sulfentrazone, possivelmente, porque o tempo de cultivo ainda não havia sido suficiente para minimizar os distúrbios causados pelo herbicida, tempo este suficiente aos 70 DAP.

O maior desprendimento de C-CO₂ aos 15 DAP pode estar relacionado ao fato de existir vários fatores que contribuem para mudanças no metabolismo microbiano. Os herbicidas degradados podem ser usados como fonte de energia, cometabolismo ou provocar intoxicação dos micro-organismos que levam à menor eficiência de utilização do carbono, promovendo aumento na emissão de C-CO₂ (Oliveira et al., 2009).

Os efeitos negativos das práticas agrícolas efetivadas no campo sobre a microbiota podem ser verificados pela variação na biomassa microbiana. Práticas como, revolvimento do solo e aplicação de herbicidas, podem expor os micro-organismos a condições de estresse, diferentes daquelas pré-estabelecidas para seu desenvolvimento (Moreira & Siqueira, 2006). Aos 15 DAP, a biomassa microbiana foi maior no solo cultivado com *C. ensiformis*, independente da presença ou ausência do herbicida (195,52 e 203,42 µg CBM) (Tabela 3). Tal fato era

esperado no solo cultivado sem aplicação do sulfentrazone, contudo o impacto do herbicida sobre a comunidade microbiana rizosférica, com o cultivo da *C. ensiformis*, foi menor.

Aos 70 DAP notou-se que o CBM (150,52 µg CBM) foi menor no solo sem o cultivo da leguminosa e com aplicação do herbicida em comparação ao tratamento sem cultivo da leguminosa e sem aplicação do herbicida (213,42 µg CBM) (Tabela 3). Tal fato indica que quando o herbicida é aplicado no solo ocorre supressão dos micro-organismos. O mesmo não ocorre quando são comparados os tratamentos com cultivo da

Tabela 2. C-CO₂ liberado após 15 dias de incubação em amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo coletadas aos 15 e 70 dias após o plantio (DAP) em áreas com ou sem aplicação do sulfentrazone cultivadas ou não com *Canavalia ensiformis*.

Table 2. C-CO₂ evolved after 15 days of incubation in samples of a Red-Yellow Podzolic collected at 15 and 70 days after planting (DAP) in areas with or without application of cultivated or not sulfentrazone with *Canavalia ensiformis*.

Planta remediadora	C-CO ₂ liberado [µg g ⁻¹]	
	Sulfentrazone	
	solo tratado	solo não tratado
	----- 15 DAP-----	
sem cultivo	2.630,00 bA*	1.937,50 bA
com cultivo	3.570,00 aA	3.997,50 aA
CV (%)	15,5	
	----- 70 DAP-----	
sem cultivo	1.705,00 aB	2.356,50 aA
com cultivo	805,00 bB	2.162,50 aA
CV (%)	9,71	

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Carbono da biomassa microbiana avaliado em amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo coletadas aos 15 e 70 dias após o plantio (DAP) em áreas com ou sem aplicação do sulfentrazone, cultivadas ou não com *Canavalia ensiformis*.

Table 3. Microbial biomass carbon valued at samples of a Red-Yellow Podzolic collected at 15 and 70 days after planting (DAP) in areas with or without application of sulfentrazone, cultivated or not with *Canavalia ensiformis*.

Planta remediadora	Carbono da biomassa microbiana [µg g ⁻¹]	
	Sulfentrazone	
	solo tratado	solo não tratado
	----- 15 DAP-----	
sem cultivo	106,90 bA*	87,82 bA
com cultivo	195,52 aA	203,42 aA
CV (%)	17,16	
	----- 70 DAP-----	
sem cultivo	150,52 aB	213,42 aA
com cultivo	179,32 aA	200,47 aA
CV (%)	20,21	

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

C. ensiformis, com ou sem aplicação do herbicida, os quais não mostram diferenças estatísticas entre eles (Tabela 3). Isso reflete o efeito positivo do ambiente rizosférico para os micro-organismos, mesmo na presença do sulfentrazone.

É provável que a diferença provocada na biomassa microbiana devido à presença do sulfentrazone nas amostras sem cultivo esteja relacionada ao fato de que nesse solo a diversidade dos grupos de micro-organismos que condicionam maior capacidade de resiliência esteja comprometida pela ausência de cultivos. Dessa forma, o cultivo de *C. ensiformis* promoveu a liberação de exsudatos na região das raízes, permitindo o crescimento e o desenvolvimento de maior número de grupos de micro-organismos (Moreira & Siqueira, 2006).

Vivian et al. (2006) verificaram que o sulfentrazone causou redução da biomassa microbiana do solo. Santos et al. (2010) avaliaram a atividade microbiana rizosférica de *Stizolobium aterrimum*, durante processo de fitorremediação de solo contaminado com o herbicida trifloxysulfuron sodium, e observaram menor valor de CBM no solo tratado com o herbicida e não cultivado com a espécie fitorremediadora. Em solo cultivado com soja, Vieira et al. (2007) verificaram que o sulfentrazone causou a redução da CBM apenas na fase inicial da cultura.

O *qCO₂* estabelece a relação entre a liberação diária de C-CO₂ e o CBM. Com o aumento da eficiência dessa biomassa em utilizar os recursos disponíveis, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração, podendo o mesmo ser incorporado aos tecidos microbianos (Anderson & Domsch, 1985). Menores valores de *qCO₂* significam maior estabilidade da biomassa microbiana, equivalendo a maior estabilidade do sistema. O *qCO₂* pode indicar o equilíbrio da microbiota do solo e a magnitude do distúrbio causado por determinada atividade agrícola (Chaer & Tótola, 2007).

Observa-se que o *qCO₂* foi elevado nos tratamentos com e sem aplicação de herbicida e sem a presença da planta remediadora, em ambas as avaliações (Tabela 4). O cultivo da *C. ensiformis*,

Tabela 4. Quociente metabólico avaliado em amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo coletadas aos 15 e 70 dias após o plantio (DAP), em áreas com ou sem aplicação do sulfentrazone cultivadas ou não com *Canavalia ensiformis*.

Table 4. Metabolic quotient measured in samples of a Red-Yellow Podzolic collected at 15 and 70 days after planting (DAP), in areas with or without application of sulfentrazone cultivated or not with *Canavalia ensiformis*.

Planta remediadora	Quociente metabólico (C-CO ₂ d ⁻¹)	
	Sulfentrazone	
	solo tratado	solo não tratado
	----- 15 DAP-----	
sem cultivo	1,69 aA*	1,48 aA
com cultivo	1,22 bA	1,33 aA
CV (%)	20,11	
	----- 70 DAP-----	
sem cultivo	0,76 aA	0,75 aA
com cultivo	0,31 bB	0,72 aA
CV (%)	17,35	

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

nas condições desse estudo, reduziu o efeito prejudicial do herbicida na atividade biológica do solo, caracterizando-se como uma das possíveis razões da capacidade remediadora dessa espécie em solos contaminados pelo sulfentrazone. Os maiores valores de qCO_2 nos tratamentos com aplicação de herbicida e sem espécie remediadora é consequência da maior atividade microbiana, com maior liberação de C- CO_2 por unidade de CBM.

4 Conclusões

O cultivo da *C. ensiformis* em áreas contaminadas com sulfentrazone reduz o efeito prejudicial do mesmo na atividade biológica do solo proporcionando aumentos dos valores da CBM. Desta forma, é aumentado o equilíbrio do sistema, pois menores valores de quociente metabólico (qCO_2) são obtidos.

Referências

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biology and Fertility of Soils*, v. 1, n. 2, p. 81-89, 1985.
- AFZAL, M.; KHANA, Q. M.; SESSITSCH, A. Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants. *Chemosphere*, v. 117, n.3, p.232-242, 2014.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.
- DAYAN, F. E. ARMSTRONG, B. M.; WEETE, J. D. Inhibitory activity of sulfentrazone and its metabolic derivatives on soybean (*Glycine max*) protoporphyrinogen oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 46, n. 5, p. 2024-2029, 1998.
- GARCÍA-ORENES, F.; GUERRERO, C.; ROLDÁN, A.; MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀC, A.; CAMPOY, M.; ZORNOZA, R.; BÁRCENAS, G.; CARAVACA, F. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, v. 109, n. 2, p. 110-115, 2010.
- GOMEZ, E.; FERRERAS, L.; LOVOTTI, L.; FERNANDEZ, E. Impact of glyphosate application on microbial biomass and metabolic activity in a Vertic Argiudoll from Argentina. *European Journal of Soil Biology*, v. 45, n. 2, p. 163-167, 2009.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, v.27, n.4, p.408-416, 1998.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: a method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.
- KHAN, S.; AFZAL, M.; IQBAL, S.; KHAN, Q. M. Plant-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere*, v. 90, n. 4, p. 1317-1332, 2013.
- MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; NASCIMENTO, A. F.; CHAGAS, K.; ARAÚJO, R. S.; PROCÓPIO, S. O.; BONOMO, R. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. *Revista Ceres*, v. 60, n. 1, p. 111-121, 2013.
- MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A. F.; GARCIA, G. O. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 55, n. 4, p. 288-296, 2012a.
- MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S. O. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012b.
- MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011.
- MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; MAIA, A. H. N.; ABAKERLI, R. B.; DURRANT, L. R. Degradation of the herbicide sulfentrazone in a Brazilian Typic Hapludox soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 40, n. 4, p. 879-888, 2008.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.
- MITTER, B.; PETRIC, A.; SHIN, M. W.; CHAIN, P. S.; HAUBERGLLOTTE, L.; REINHOLD-HUREK, B.; NOWAK, J.; SESSITSCH, A. Comparative genome analysis of *Burkholderia phytofirmans* PsJN reveals a wide spectrum of endophytic lifestyles based on interaction strategies with host plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 4, p. 1-15, 2013.
- MITTON, M. F.; MIGLIORANZA, K. S. B.; GONZALEZ, M.; SHIMABUKURO, V. M.; MONSERRAT, J. M. Assessment of tolerance and efficiency of crop species in the phytoremediation of DDT polluted soils. *Ecological Engineering*, v. 71, p. 501-508, 2014.
- NGUYEN, D. B.; ROSE, M. T.; ROSE, T. J.; MORRIS, S. G.; ZWIETEN, L. V. Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 92, p. 50-57, 2016.
- OLIVEIRA, T. A.; SANTOS, J. B.; CAMELO, G. N.; BOTELHO, R. G.; LÁZARI, T. M. Efeito da interação do nicosulfuron e chlorpyrifos sobre o banco de sementes e os atributos microbianos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 3, p. 563-570, 2009.
- OLIVEIRA, V.; GOMES, N. C. M.; ALMEIDA, A.; SILVA, A. M. S.; SIMOES, M. M. Q.; SMALLA, K.; CUNHA, A. Hydrocarbon contamination and plant species determine the phylogenetic and functional diversity of endophytic degrading bacteria. *Molecular Ecology*, v. 23, n. 6, p. 1392-1404, 2014.
- PIRES, F.R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados por herbicidas. *Planta Daninha*, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.
- POSE-JUAN, E.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; HERRERO-HERNÁNDEZ, E.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Application of mesotrione at different doses in an amended soil: Dissipation and effect on the soil microbial biomass and activity. *Science of The Total Environment*, v. 536, p. 31-38, 2015.

- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. *Guia de herbicidas*. 6. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2011. 697 p.
- SANTOS, E. A.; SOUTO, K. M.; AVILA, L. A.; CASSOL, G.; MACHADO, S. O.; JACQUES, R. J. S.; ZANELA, R.; RECK, L. Atividade rizosférica de solo tratado com herbicida durante processo de remediação por *Stizolobium aterrimum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n.1, p.1-7, 2010.
- SILVA, A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA Jr, R. S. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.; SILVA, J. F. (Eds.). *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.
- SINGH, A.; SINGH, M. K.; GHOSHAL, N. Microbial Biomass Dynamics in a Tropical Agroecosystem: Influence of Herbicide and Soil Amendments. *Pedosphere*, v. 26, n. 2, p. 257–264, 2016.
- TOMLIN, C. D. S. *The pesticide manual: A world compendium*. 15th. ed. Croydon: British Crop Protection Council, 2011. 1457p.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, v.19, n. 6, p. 703-707, 1987.
- VIEIRA, R. F. SILVA, C. M. M. S.; SILVEIRA, A. P. D. Soil microbial biomass C and symbiotic processes associated with soybean after sulfentrazone herbicide application. *Plant Soil*, v.300, n.1, p.95-103, 2007.
- VIVIAN, R.; REIS, M. R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; GUIMARÃES, A. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Persistência de sulfentrazone em argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, v.24, n.4, p.741-750, 2006.
- ZHU, X.; NI, X.; LIU, J.; GAO, Y. Application of endophytic bacteria to reduce persistent organic pollutants contamination in plants. *Clean-Soil Air Water*, v.42, n.3, p.306–310, 2014.
- YOUSAF, S.; AFZAL, M.; REICHENAUER, T. G.; BRADY, C. L.; SESSITSCH A. Hydrocarbon degradation, plant colonization and gene expression of alkane degradation genes by endophytic *Enterobacter ludwigistrains*. *Environmental Pollution*. v.159, n.10, p.2675–2683, 2011.
- WALKER, T. S.; BAIS, H. P.; GROTEWOLD, E.; VIVANCO, J. M. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology*, v.132, n.1, p.44–51, 2003.

Contribuição dos autores: João Carlos Madalão realizou o experimento da tese de Doutorado, montagem e manutenção do experimento, interpretação dos dados e redação científica; Wilson de Almeida Orlando Junior e Douglas Teixeira Saraiva contribuíram com a montagem e manutenção do experimento, pesquisa de campo e coleta de dados; Christiane Augusta Diniz Melo contribuiu com análises estatísticas e revisões científica, ortográfica e gramatical do trabalho; Antonio Alberto da Silva e Leonardo D'Antonino contribuíram com a revisão bibliográfica e a redação científica.

Agradecimentos: À FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro para realização dessa pesquisa.

Fonte de financiamento: FAPEMIG e CNPq.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.