

EFEITO DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO¹

Effect of Herbicides on Soil Microbial Activity

TIRONI, S.P.², BELO, A.F.², FIALHO, C.M.T.², GALON, L.², FERREIRA, E.A.², SILVA, A.A.³, COSTA, M.D.⁴ e BARBOSA, M.H.P.³

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de herbicidas e doses na atividade microbiana e no potencial de solubilização de fosfato inorgânico de solo cultivado com cana-de-açúcar. Os tratamentos foram constituídos pelos herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e pela mistura (ametryn + trifloxysulfuron-sodium), aplicados nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose-referência de 10, 0,112 e 7,315 + 0,185 mg dm⁻³ do ingrediente ativo dos respectivos herbicidas. Após aplicação dos tratamentos, as amostras de solo foram incubadas por 15 dias, realizando-se as avaliações da evolução de CO₂ do solo (C-CO₂) em intervalos de três dias. Ao final do período de incubação foram realizadas análises de carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO₂), potencial de solubilização e solubilização relativa de fosfato inorgânico do solo. A evolução de C-CO₂ foi influenciada pelas maiores doses dos herbicidas, sendo reduzida com a aplicação do trifloxysulfuron-sodium (10,31%) e elevada com os demais herbicidas, com maiores efeitos logo após a aplicação. O CBM e o qCO₂ foram influenciados negativamente pelos herbicidas ametryn e trifloxysulfuron-sodium + ametryn, com maiores efeitos quanto maiores as doses. O trifloxysulfuron-sodium provocou a redução do CBM nas menores doses e incremento deste nas maiores, promovendo a redução do qCO₂. A solubilização potencial de fosfato inorgânico decresceu com a aplicação do ametryn (47,20%) e da mistura (13,55%), sendo estimulada pelo trifloxysulfuron-sodium (25,48%). O potencial de solubilização relativa teve comportamento semelhante.

Palavras-chave: biomassa microbiana, solubilização de fosfato, ametryn, trifloxysulfuron-sodium.

ABSTRACT - *This work aimed to evaluate the effects of herbicides and doses on the microbial activity and inorganic phosphate solubilization potential of a soil cultivated with sugarcane. The treatments were composed by the herbicides ametryn, trifloxysulfuron-sodium, and ametryn + trifloxysulfuron-sodium at 0, 1, 2, 4, and 8 times the reference doses of 10, 0.112, and 7.315 + 0.185 mg dm⁻³ of the active ingredient, respectively. After herbicide application, soil samples were incubated for 15 days and CO₂ evolution (C-CO₂) was evaluated every three days. At the end of incubation, microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient (qCO₂), phosphate solubilization potential, and relative phosphate solubilization were evaluated for the treatments tested. C-CO₂ evolution was affected by the herbicides and increasing application doses. Trifloxysulfuron-sodium caused a reduction in C-CO₂ evolution of 10.3% in comparison to the control. MBC and qCO₂ were negatively affected by the herbicides ametryn and trifloxysulfuron-sodium + ametryn. Trifloxysulfuron-sodium reduced MBC when applied at decreasing doses; the reverse was observed for qCO₂. Phosphate solubilization potential was reduced with the application of ametryn (47.20%) and trifloxysulfuron-sodium + ametryn (13.55%), while trifloxysulfuron-sodium applied singly stimulated this activity in the soil (25.48%). Similar behavior was observed for relative phosphate solubilization.*

Keywords: microbial biomass, phosphate solubilization, ametryn, trifloxysulfuron-sodium.

¹ Recebido para publicação em 12.4.2009 e na forma revisada em 11.12.2009.

² Eng^a-Agr^a., aluno do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – DEF/UFV, <sumar.tironi@ufv.br>; ³ Eng^a-Agr^a., D.Sc. Professor, DFT/UFV, Bolsista do CNPq; ⁴ Eng^a-Agr^a., D.Sc. Professor do Dep. de Microbiologia – DBM/UFV.



INTRODUÇÃO

No Brasil, a área cultivada com cana-de-açúcar vem se expandindo rapidamente nos últimos anos, com perspectivas de maior crescimento nas próximas safras (IBGE, 2008). A produção da cana-de-açúcar está sendo estimulada principalmente para suprir a crescente demanda de etanol, usado como combustível. Essa cultura é de grande importância para a economia brasileira, tendo em vista que é a mais utilizada para a produção de açúcar e álcool (Christoffoleti et al., 2006).

O aumento da demanda de álcool leva à necessidade de se elevar a produtividade da cana-de-açúcar. No entanto, existem alguns fatores limitantes, a exemplo da baixa fertilidade do solo (Reis Jr. & Monnerat, 2002) e da interferência causada pelas plantas daninhas, que podem frustrar os esforços para o aumento da produtividade (Kuva et al., 2003). Entre os nutrientes limitantes da produtividade de cana-de-açúcar, destacam-se o potássio (K), fósforo (P) e enxofre (S) (Reis Jr. & Monnerat, 2002). As plantas daninhas competem com a cultura pelos recursos escassos do meio, inclusive por nutrientes, causando perdas expressivas na produtividade, na qualidade do produto colhido e também na longevidade do canavial (Kuva et al., 2003; Negrisoni et al., 2004).

A dinâmica dos nutrientes no solo é influenciada pela atividade microbiana, que promove a decomposição da matéria orgânica (mineralização) e solubilização de nutrientes contidos na fase sólida do solo, com destaque para o P (Tótola & Chaer, 2002; Bottomley, 2005). Esses microrganismos também desempenham outras funções importantes, como a supressão de patógenos, a produção de fitormônios e a decomposição de compostos xenobióticos, entre eles os agrotóxicos (Bottomley, 2005).

A utilização de agrotóxicos, em especial os herbicidas, pode influenciar a dinâmica dos microrganismos do solo (Santos et al., 2005; Jakelaitis et al., 2007; Reis et al., 2008a), podendo apresentar efeitos maléficos, benéficos (Reis et al., 2008b) ou nulos (Pereira et al., 2008). Entre os indicadores do impacto de produtos xenobióticos sobre os microrganismos de solo, os mais comuns são: a evolução de

CO₂ do solo (C-CO₂), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico (qCO₂) (Brookes, 1995) e o potencial de solubilização de fosfato inorgânico, usado como indicador da dinâmica do P no solo (Leita et al., 1995). A biomassa microbiana do solo é a fração viva da matéria orgânica, responsável por processos bioquímicos e biológicos (Moreira & Siqueira, 2003), encontrada em maior concentração no solo rizosférico, em função do maior aporte de carbono orgânico facilmente assimilável, exsudado pelo sistema radicular das plantas (Nautiyal, 1999). O qCO₂ representa a respiração por unidade de biomassa, em que os maiores valores são atribuídos a condições estressantes aos microrganismos, e os menores, à maior eficiência destes na incorporação de carbono à biomassa (Sakamoto & Obo, 1994).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico (MSFI) são considerados indicadores de impactos ao ambiente e importantes para a produção agrícola. Os MSFI têm maior importância em solos tropicais, os quais apresentam grande quantidade de P complexado com óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Novais & Smyth, 1999). Alguns trabalhos demonstram a importância dos MSFI encontrados no solo rizosférico no suprimento de P e, conseqüentemente, na promoção de crescimento das plantas (Freitas et al., 1997; Gyaneshwar et al., 2002), em decorrência da interação com as plantas. Entretanto, vários fatores influenciam a atividade dos microrganismos do solo e a solubilização de fosfato inorgânico, como a fonte de carbono e nitrogênio disponíveis (Nautiyal et al., 2000), a espécie de planta cultivada (Grayston et al., 1996), a fonte de fosfato (Barroso & Nahas, 2005) e a presença de agrotóxicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas) (Das, 2003; Reis et al., 2008a).

O manejo do solo pode interferir na qualidade deste, comprometendo a estabilidade e a sustentabilidade do sistema (Franzluebbbers, 2007). Todavia, a maioria das características físico-químicas do solo são pouco alteradas pelo sistema de manejo adotado em curto período de tempo. Os indicadores mais responsivos no curto prazo são os critérios bioquímicos e microbiológicos em razão da maior sensibilidade às perturbações (Chaer & Tótola, 2007) – estes

de grande importância para o sistema agrícola. Souza et al. (2008), ao investigarem os indicadores da qualidade do solo em relação à intensidade de pastejo, não observaram redução do carbono total do solo, porém verificaram alterações no carbono e no P da biomassa microbiana. Reis et al. (2008a) observaram estímulo de solubilização de fosfato inorgânico do solo rizosférico de cana-de-açúcar cultivada em ambiente protegido ao aplicarem o trifloxysulfuron-sodium sobre a cultura. Entretanto, Vivian et al. (2006) e Reis et al. (2008b) verificaram que outros herbicidas utilizados na cultura influenciaram negativamente o CBM, o qCO_2 e outros indicadores microbiológicos da qualidade do solo na cana-de-açúcar.

O método de manejo das plantas daninhas mais utilizado em lavouras de cana-de-açúcar é o químico, com o uso de herbicidas (Christofolletti, 2006). Para essa cultura, são utilizados herbicidas de alta persistência no solo, para controlar o estabelecimento das plantas daninhas por longo período de tempo, em razão de o período crítico de controle das plantas daninhas da cultura ser longo, variando de 50 a 130 dias após a emergência (Procópio et al., 2003; Kuva et al., 2003). Dos herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar, destacam-se o ametryn e o trifloxysulfuron-sodium, classificados respectivamente como muito tóxico e tóxico para o ambiente (Agrofit, 2008). Esses herbicidas podem ser aplicados isoladamente ou em mistura comercial, aumentando assim o espectro de controle (Syngenta, 2006).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de doses dos herbicidas ametryn,

trifloxysulfuron-sodium e trifloxysulfuron-sodium + ametryn sobre a evolução de CO_2 do solo ($C-CO_2$), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e no potencial de solubilização de fosfato inorgânico de solo cultivado com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Herbicida no Solo do Departamento de Fitotecnia e no Laboratório de Associações Micorrízicas do Departamento de Microbiologia/BIOAGRO, ambos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG. Amostras de solo foram coletadas em área cultivada com cana-de-açúcar na Estação Experimental da Horta Nova, pertencente à UFV, no município de Viçosa-MG. As amostras de solo coletadas foram peneiradas (malha de 2 mm) e armazenadas a 4 °C por um dia, sendo realizada a análise de equivalente umidade e das características físicas e químicas (Tabela 1). A seguir, amostras de 100 g de solo a 60% da capacidade de campo foram acondicionadas em frascos, realizando-se a aplicação dos tratamentos, seguida da incubação por 15 dias a 22 °C (± 2). O experimento foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada frasco correspondeu a uma unidade experimental. Os tratamentos foram constituídos de um esquema fatorial (3 x 5), sendo o fator A constituído pelos herbicidas formulados Metrimex 500 SC® (ametryn - 10 mg dm^{-3}), Envoke® (trifloxysulfuron-sodium - 0,112 mg dm^{-3}) e Krismat® (ametryn + trifloxysulfuron-sodium - 7,315 + 0,185 mg dm^{-3}), e o fator B, pelas doses

Tabela 1 - Características químicas do solo, de amostras coletadas de 0 a 10 cm em lavouras de cana-de-açúcar. Viçosa-MG, 2008

Características químicas ^{1/}												
pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(t)	CTC (T)	V	m	MO
(H ₂ O)	(mg dm^{-3})		(cmol _c dm^{-3})							%		(dag kg^{-1})
6,0	7,4	168	4,2	0,7	0,0	4,46	5,33	5,33	9,79	54	0	2,4
Características físicas ^{1/}												
Argila		Silte		Areia grossa		Areia Fina		Classificação textural				
(%)												
47		32		7		14		Argiloso				

^{1/} Análise realizada no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda; CTC (T): capacidade da troca de cátions (pH 7); CTC (t): capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação de bases; m: saturação de alumínio; MO: matéria orgânica.



de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose-referência de cada herbicida (proporcional à recomendada).

Na avaliação da taxa respiratória utilizou-se o método respirométrico de avaliação do C-CO₂ evoluído do solo. As amostras foram incubadas durante 15 dias em frascos hermeticamente fechados. O C-CO₂ liberado do solo foi carregado por fluxo contínuo de ar (isento de CO₂) até um tubo contendo 30 mL de solução de NaOH 0,25 mol L⁻¹. Em intervalos de três dias, estimou-se o C-CO₂ evoluído a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH com solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, preenchendo-se novamente os tubos com 30 mL de solução de NaOH 0,25 mol L⁻¹. Como padrão de comparação, indicando a qualidade do ar, utilizaram-se frascos sem solo, chamado de amostra “em branco”, em relação às demais.

Após o período de incubação, foi feita a análise do carbono da biomassa microbiana (CMB), seguindo o método descrito por Vance et al. (1987), modificado por Islam & Weil (1998). Foram retiradas duas porções de solo de cada tratamento (18 g), sendo uma submetida à radiação de micro-ondas por tempo previamente calculado (60 s + 60 s), substituindo a fumigação com clorofórmio. Foram adicionados às amostras de solo 80 mL de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, as amostras foram agitadas por 30 minutos em mesa agitadora horizontal, permanecendo em repouso por mais 30 minutos, para decantação. Posteriormente, a fase superior foi filtrada em papel-filtro Whatman nº 42. Foram adicionados 10 mL do filtrado em tubos digestores e a seguir adicionados os reagentes: 2 mL de solução K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹; e 10 mL de H₂SO₄ concentrado. Após o resfriamento, a solução foi completada para 100 mL com água destilada e adicionado o indicador de difenilamina (seis gotas), procedendo em seguida à titulação com solução 0,333 mol L⁻¹ de (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ até a mudança de coloração para vermelho-tijolo. O CBM foi estimado pela diferença entre a amostra irradiada e a não irradiada. Com a relação entre os valores de C-CO₂ e CBM, determinou-se o quociente metabólico (qCO₂), que representa a quantidade de evolução de CO₂ diário por unidade de biomassa.

Após o período de incubação, determinou-se o potencial de solubilização de fosfato

inorgânico pelos microrganismos do solo, em meio líquido. Para isso, transferiu-se 1 g de solo, de cada tratamento, para tubo de ensaio com meio líquido NBRI, pH 6,8-7,0, contendo (g L⁻¹): glicose, 10; Ca₃(PO₄)₂, 5; MgCl₂.6H₂O, 0,5; MgSO₄.7H₂O, 0,25; KCl, 0,2; e (NH₄)₂SO₄, 0,1 (Nautiyal, 1999). Após incubação por 15 dias a 30 °C, 1,5 mL da fase líquida foi submetido à centrifugação (8.000 rpm por 20 minutos). Em seguida, determinou-se a quantidade de P inorgânico do sobrenadante pelo método colorimétrico da vitamina C modificada, a 725 nm (Braga & Defelipo, 1974).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, realizaram-se análises de regressão. A escolha dos modelos baseou-se na significância estatística (F), no coeficiente de determinação (R²) e na explicação dos fenômenos biológicos. As equações ajustadas foram comparadas pelo teste de identidade dos modelos, tanto para os modelos lineares (Regazzi, 1993) quanto para os não lineares (Regazzi & Silva, 2004). Todas as avaliações foram efetuadas a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução diária de C-CO₂ do solo em função das doses de trifloxysulfuron-sodium apresentou maiores valores logo após a sua aplicação, decrescendo ao longo do tempo (Figura 1A). Somente o tratamento com a maior dose do trifloxysulfuron-sodium diferenciou-se dos demais quanto ao C-CO₂, esses representados por uma taxa respiratória comum (Figura 1A). A menor evolução de C-CO₂ pode ser indicativo de maior eficiência no uso dos recursos do solo (Sakamoto & Obo, 1994), desde que se mantenha a mesma biomassa microbiana. Contudo, pode também ocorrer devido à redução da população microbiana, em função de a toxicidade do composto reduzir a evolução de C-CO₂, o que não é denotado nas menores doses, pela baixa dose aplicada do herbicida. Zabaloy et al. (2008) observaram que o metsulfuron-methyl (inibidor da enzima ALS), aplicado em dez vezes a dose recomendada, não alterou o C-CO₂ do solo.

O trifloxysulfuron-sodium proporcionou menor taxa na evolução acumulada de CO₂ na maior dose testada (oito vezes). Os demais tratamentos com herbicida diferiram da

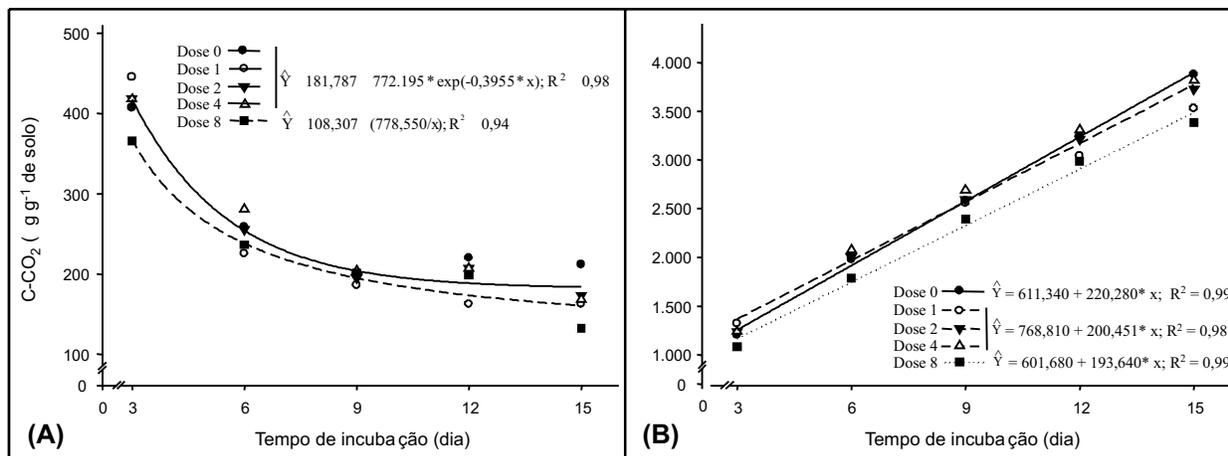


Figura 1 - Evolução diária (A) e acumulada (B) de CO₂ (C-CO₂) do solo após a incubação em função da aplicação do herbicida trifloxysulfuron-sodium nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de referência (0,112 mg dm⁻³ de solo). Viçosa-MG, 2008.

testemunha e não entre si, apresentando logo após a aplicação maiores taxas respiratórias e menores ao final do período de incubação. Reis et al. (2008a) observaram, ao aplicarem o trifloxysulfuron-sodium sobre cana-de-açúcar cultivada em casa de vegetação, que esse produto estimulou a evolução de C-CO₂ do solo rizosférico. Alguns autores atribuem a maior evolução de C-CO₂ dos solos tratados com herbicidas ao fato de este servir como fonte de carbono e energia aos microrganismos (Costa et al., 1997; Moreno, 2007). No entanto, isso é pouco provável para o trifloxysulfuron-sodium, devido à baixa quantidade utilizada por área.

O ametryn provocou incremento da evolução de C-CO₂ diária do solo somente na maior dose aplicada (Figura 2A), com maiores evoluções de CO₂ logo após a aplicação. O composto pode ter sido tóxico para parte da comunidade microbiana, reduzindo a população ao longo do tempo e, conseqüentemente, diminuindo a evolução de C-CO₂ total do solo. Resultados semelhantes a estes foram observados por Santos et al. (2005), após a aplicação de doses do herbicida fomesafen em plantas de feijão.

A evolução de C-CO₂ acumulada do solo em função das doses de ametryn foi maior quando se utilizou duas vezes a dose de referência (10 mg dm⁻³ de solo). A menor taxa de evolução de C-CO₂ foi observada no tratamento sem aplicação de herbicidas. Os demais tratamentos apresentaram respiração intermediária,

sendo representados por uma única equação (Figura 2B). Alterações na taxa de evolução de C-CO₂ do solo podem ser atribuída aos efeitos tóxicos do herbicida, como relatado anteriormente. Não foi observada diferença entre os tratamentos que receberam quatro, oito e uma vez a dose do ametryn. Isso pode ser explicado pela maior taxa respiratória por unidade de biomassa nas maiores doses, porém estas podem ter reduzido a população dos microrganismos.

O ametryn atua na inibição do fotossistema II (Silva et al., 2007), podendo ser letal para os microrganismos fotossintetizantes, como algas, cianobactérias, bactérias do enxofre, entre outros microrganismos (Moreira & Siqueira, 2006). Também os ingredientes inertes das formulações dos herbicidas, como adjuvantes, podem ocasionar efeitos tóxicos à microbiota do solo, tendo em vista a grande quantidade aplicada ao solo (Agrofit, 2008), com maior efeito que o ingrediente ativo, fato esse constatado por Santos et al. (2005) e Massenssini et al. (2008).

Em condições de casa de vegetação, Reis et al. (2008a) observaram que o ametryn causou maiores efeitos negativos na evolução de C-CO₂ de solo rizosférico quando comparado com os herbicidas 2,4-D e trifloxysulfuron-sodium, também utilizados em cana-de-açúcar. Estudos mostraram que o atrazine, também inibidor do fotossistema II, aplicado em campo na cultura do milho, não influenciou a evolução de C-CO₂ do solo (Jakelaitis et al., 2007).



Nos tratamentos com a mistura de trifloxysulfuron-sodium + ametryn, não houve diferenças entre os tratamentos com duas e oito vezes a dose de referência (7,315 + 0,185 mg dm⁻³ de solo), em relação à testemunha. Os demais tratamentos apresentaram diferença para evolução diária de C-CO₂ (Figura 3A). Ao aplicar a mistura em quatro vezes a dose de referência, houve menor evolução diária de C-CO₂, comparativamente aos demais tratamentos. Esse efeito pode ser atribuído à redução da biomassa microbiana, devido aos efeitos tóxicos do composto, porém sem causar efeitos negativos de aumento considerável da evolução de C-CO₂ das espécies restantes, como pode ter ocorrido no

tratamento com a maior dose. Efeito sinérgico da mistura de herbicidas na atividade da microbiota do solo foram observados por Santos et al. (2005), com aplicação da mistura de fluazifop-p-butil + fomesafen em campo na cultura do feijão.

A evolução de C-CO₂ acumulada, nos tratamentos que envolveram a mistura de trifloxysulfuron-sodium + ametryn, foi maior quando se aplicaram duas, quatro e oito vezes a dose de referência, diferenciando-se da dose 1 e da testemunha sem herbicidas (Figura 3B). As maiores doses ocasionaram elevado estresse microbiano ou também o herbicida pode ter sido letal a parte da

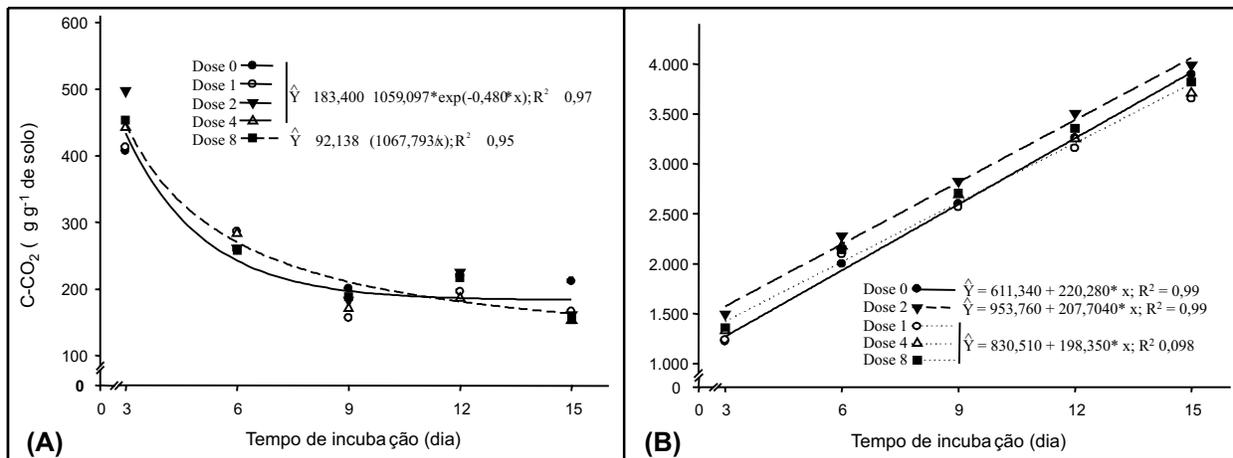


Figura 2 - Evolução diária (A) e acumulada (B) de CO₂ (C-CO₂) do solo após a incubação, em função da aplicação do herbicida ametryn nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de referência (10 mg dm⁻³ de solo). Viçosa-MG, 2008.

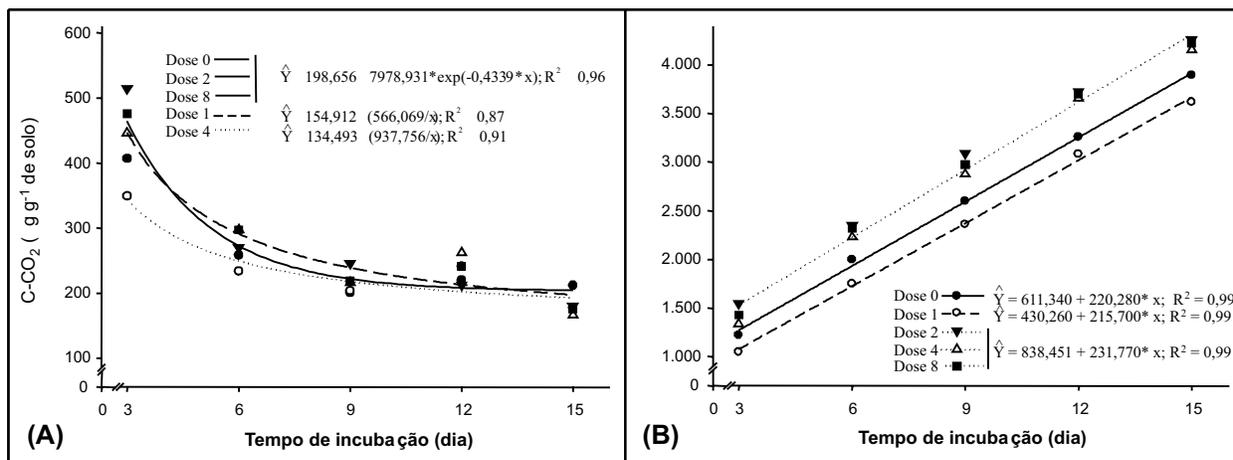


Figura 3 - Evolução diária (A) e acumulada (B) de CO₂ (C-CO₂) do solo após a incubação, em função da aplicação do herbicida trifloxysulfuron-sodium + ametryn nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de referência (7,315 + 0,185 mg dm⁻³ de solo). Viçosa-MG, 2008.

população microbiana, estimulando assim outras populações insensíveis ao composto, com maior respiração e crescimento, usando as células mortas como fonte de energia (Sakamoto & Obo, 1994), ou os maiores valores de respiração em função da decomposição dos herbicidas (Moreno et al., 2007).

A dose de referência apresentou menor valor de C-CO₂ acumulado comparativamente à testemunha, podendo isso ser atribuído a efeitos sinérgicos dos herbicidas, reduzindo algumas populações de microrganismos, sem alterar consideravelmente a respiração (estresse) daqueles que permaneceram no ambiente (Figura 3B). A mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn apresentou efeitos semelhantes aos do ametryn em aplicação isolada, promovendo maior taxa de evolução de C-CO₂, quando comparada com o trifloxysulfuron-sodium (Reis et al., 2008a).

O trifloxysulfuron-sodium promoveu redução do CBM nas menores doses; já nas maiores, proporcionou estímulo ao crescimento da população microbiana (Figura 4A). Santos et al. (2005), ao trabalharem com o fluazyfop-p-butil, atribuíram esse comportamento ao estresse e à limitação de crescimento de parte da população microbiana nas menores doses. Com o aumento da dose, esses autores constataram que o herbicida pode ter sido tóxico a parte da população de microrganismos, ocorrendo estímulo de crescimento de microrganismos saprófitas, insensíveis ao herbicida. Parte desse comportamento pode ser atribuída à redução da competição entre os microrganismos do solo, permitindo crescimento de outras populações. Zilli et al. (2007) observaram redução do CBM em solo com aplicação de imazaquin, herbicida inibidor da enzima ALS, alterando também a composição das espécies que compõem as populações de microrganismos.

O ametryn influenciou negativamente a biomassa microbiana, com maiores reduções nas maiores doses testadas (Figura 4A). Este herbicida, como já relatado, tem a capacidade de agir sobre a microbiota do solo, em função de seu mecanismo de ação e dos componentes inertes de sua formulação comercial.

A mistura de trifloxysulfuron-sodium + ametryn provocou efeitos intermediários no

CBM, comparativamente aos herbicidas aplicados isoladamente, com redução dessa variável com o aumento da dose (Figura 4A). Resultados semelhantes foram encontrados por Reis et al. (2008a) com aplicações do trifloxysulfuron + ametryn na cana-de-açúcar, em ambiente protegido, proporcionando redução da biomassa microbiana da rizosfera da cultura.

O trifloxysulfuron-sodium provocou comportamento linear decrescente para o qCO₂, quando aplicado em diferentes doses, caracterizando maior equilíbrio dos microrganismos do solo, o que significa maior eficiência destes na incorporação de carbono com o aumento da dose (Figura 4B). Esse comportamento pode ser atribuído aos efeitos benéficos a algumas populações microbianas e/ou maléficis a outras, reduzindo algumas populações de microrganismos, ou também estimulando outras populações saprófitas (Santos et al., 2005), com menor competição entre os microrganismos. O ametryn apresentou efeitos negativos para o qCO₂, os quais foram maiores com o aumento das doses. Esses resultados representam estresse dos microrganismos do solo, com maior gasto de energia (CO₂) e menor crescimento da biomassa. O trifloxysulfuron-sodium + ametryn proporcionou redução deste parâmetro até o tratamento que envolveu quatro vezes a dose de referência, apresentando comportamento similar ao do trifloxysulfuron-sodium aplicado isoladamente. No tratamento com oito vezes a dose, houve aumento do qCO₂ – comportamento similar ao do ametryn em aplicação isolada. Reis et al. (2008a) não observaram diferenças no qCO₂ do solo rizosférico entre os tratamentos com aplicação da mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn e o ametryn aplicado em cana-de-açúcar.

O trifloxysulfuron-sodium promoveu estímulo à solubilização de fosfato inorgânico, com maiores efeitos com elevação das doses, tendendo a estabilizar nas maiores doses testadas (Figura 5A). Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento do CBM ou à seleção de microrganismos com maior eficiência na solubilização. Griffiths et al. (2008) observaram mudança na constituição da comunidade de microrganismos após aplicação de glufosinato de amônio. No entanto, acredita-se que as



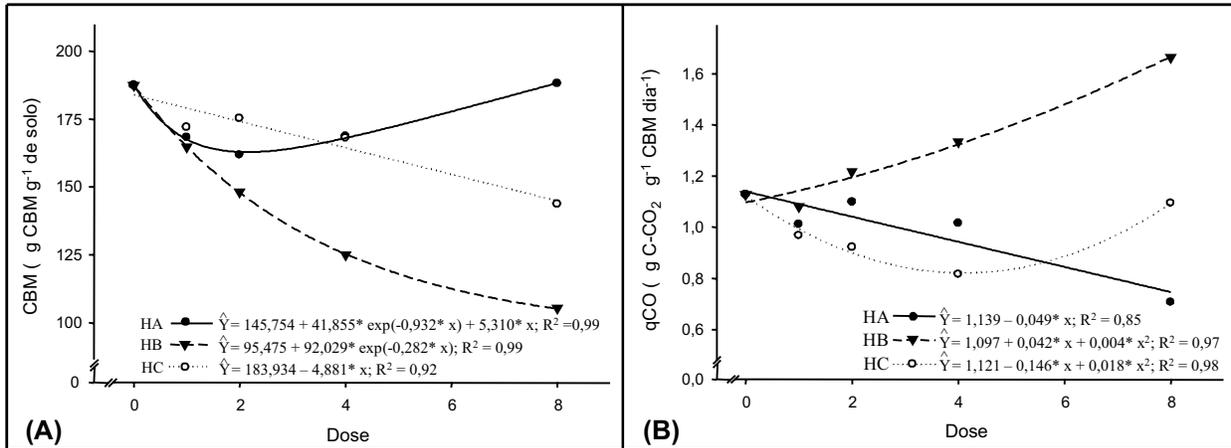


Figura 4 - Carbono da biomassa microbiana – CBM (A) e quociente metabólico – qCO₂ (B) do solo, 15 dias após a incubação, em função da aplicação dos herbicidas trifloxysulfuron-sodium (HA), ametryn (HB) e trifloxysulfuron-sodium + ametryn (HC) nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de referência de cada herbicida. Viçosa-MG, 2008.

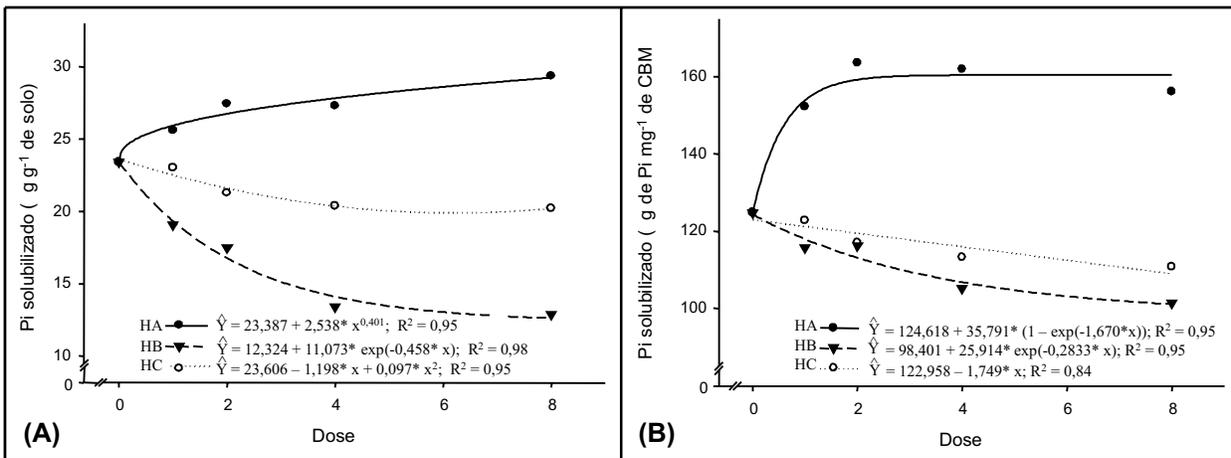


Figura 5 - Solubilização potencial (A) e solubilização potencial relativa (B) de fósforo inorgânico (Ca₃(PO₄)₂) pelos microrganismos solubilizadores de fósforo inorgânico do solo, 15 dias após a aplicação dos herbicidas trifloxysulfuron-sodium (HA), ametryn (HB) e trifloxysulfuron-sodium + ametryn (HC) nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de referência de cada herbicida. Viçosa-MG, 2008.

maiores taxas de solubilização se devam ao estímulo do herbicida à liberação de ácidos orgânicos pelos microrganismos do solo (Reis et al., 2008b). Os ácidos orgânicos liberados pelos microrganismos são considerados o principal mecanismo para a solubilização de fosfatos inorgânicos do solo (Moreira & Siqueira, 2006).

O ametryn proporcionou maior redução no potencial de solubilização de fosfato inorgânico, sendo os efeitos maiores com o aumento das doses, tendendo à estabilização nas maiores doses (Figura 5A). Efeitos negativos do ametryn no potencial de solubilização de

fósforo inorgânico foram relatados por Reis et al. (2008b).

O potencial de solubilização de fosfato inorgânico foi influenciado pelas doses de trifloxysulfuron-sodium + ametryn, sendo os maiores efeitos negativos nas maiores doses. A mistura apresentou efeitos intermediários em relação aos herbicidas aplicados isoladamente, evidenciando efeito aditivo entre os herbicidas (Figura 5A).

Quanto à solubilização relativa de fosfato inorgânico, o trifloxysulfuron-sodium proporcionou estímulo para essa variável, reforçando a hipótese de seleção de espécies com maior

potencial de solubilização, ou estímulo dessas populações na produção de ácidos orgânicos (Reis et al., 2008b). O trifloxysulfuron-sodium + ametryn apresentou efeitos negativos e mais pronunciados com o aumento da dose, com comportamento semelhante ao do ametryn quando aplicado isoladamente.

Conclui-se que a evolução de C-CO₂ é influenciada pelos herbicidas e doses, ocorrendo os maiores efeitos logo após a aplicação e nas maiores doses. O CBM e o qCO₂ foram influenciados negativamente pelos herbicidas ametryn e trifloxysulfuron-sodium + ametryn, com maiores efeitos com o aumento da dose. O trifloxysulfuron-sodium ocasionou a redução do CBM nas menores doses e o aumento nas maiores, com diminuição do qCO₂ proporcionalmente ao acréscimo das doses. O ametryn e o trifloxysulfuron-sodium + ametryn provocaram redução no potencial e potencial relativo de solubilização de fosfato, enquanto o trifloxysulfuron-sodium estimulou a solubilização.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas concessões de bolsas e pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit>>. Acesso em: 21 de dez. de 2008.
- BARROSO, C. B.; NAHAS, E. The status of soil phosphate fractions and the ability of fungi to dissolve hardly soluble phosphates. **Appl. Soil Ecol.**, v. 29, n. 1, p. 73-83, 2005.
- BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In: SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. 2.ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2005. p. 463-488.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **R. Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy-metals. **Biol. Fert. Soils**, v. 19, n. 2, p. 269-279, 1995.
- CHAER, M. C.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de *Ipomoea* spp. e *Commelina benghalensis* na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.
- COSTA, M. A.; MONTEIRO, R. T. R.; TORNISIELO, V. L. Influência da adição de palha de cana-de-açúcar na degradação de 14C-ametrina em solo areia quartzosa. **Sci. Agric.**, v. 54, n. 3, p. 117-122, 1997.
- DAS, A. C.; DEBNATH, A.; MUKHERJEE, D. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**, v. 53, n. 2, p. 217-221, 2003.
- FRANZLUEBBERS, A. S. Integrated crop-livestock systems in the Southeastern USA. **Agron. J.**, v. 99, n. 3, p. 361-372, 2007.
- FREITAS, J. R.; BANERJEE, M. R.; GERMIDA, J. J. Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not uptake of canola (*Brassica napus* L.). **Biol. Fert. Soils**, v. 24, n. 4, p. 358-364, 1997.
- GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: The importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Appl. Soil Ecol.**, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1996.
- GRIFFITHS, B. S. et al. Soil microbial and faunal responses to herbicide tolerant maize and herbicide in two soils. **Plant Soil**, v. 308, n. 1, p. 93-103, 2008.
- GYANESHWAR, P. et al. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant Soil**, v. 245, n. 1, p. 83-93, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estatistica/indicadores/>>. Acesso em: 10 dez. 2008.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fert. Soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.
- JAKELAITIS, A. et al. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 71-78, 2007.
- KUVA, M. A. et al. Periodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.



- LEITA, L. et al. Bioavailability and effects of heavy-metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. **Biol. Fert. Soils**, v. 19, n. 1 p. 103-108, 1995.
- MASSENSINI, A. M. et al. Atividade de isolados bacterianos solubilizadores de fosfato na presença de formulações comerciais de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 815-823, 2008.
- MORENO, J. L. et al. Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil. **Appl. Soil Ecol.**, v. 35, n. 1, p. 120-127, 2007.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.
- NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiol. Letters**, v. 170, n. 1, p. 265-270, 1999.
- NAUTIYAL, C. S. et al. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils. **FEMS Microbiol Lett**, v. 182, n. 2, p. 291-296, 2000.
- NEGRISOLI, E. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 567-575, 2004.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. (Eds.). **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- PEREIRA, J. L. et al. Effects of glyphosate and endosulfan on soil microorganisms in soybean crop. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 825-830, 2008.
- PROCÓPIO, S. O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 150 p.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar igualdade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo poligonal ortogonal. **R. Ceres**, v. 40, n. 2, p. 176-195, 1993.
- REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I dados no delineamento inteiramente casualizado. **R. Mat. Estat.**, v. 22, n. 3, p. 33-45, 2004.
- REIS JR., R. A.; MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, n. 3, p. 367-372, 2002.
- REIS, M. R. et al. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 323-331, 2008a.
- REIS, M. R. et al. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 333-341, 2008b.
- SANTOS, J. B. et al. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.
- SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fert. Soils**, v. 17, n. 1, p. 39-44, 1994.
- SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 83-148.
- SOUZA, E. D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **R. Bras. Ci.Solo**, v. 32, n. 3, p. 1273-1282, 2008.
- SYNGENTA. **Syngenta Foundation**. 2006. Disponível em: <<http://www.syngenta.com/products/services/krismat>>. Acesso em: 30 de out. de 2008.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V. H. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do solo**. 2.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.
- VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 471-480, 2006.
- ZABALOY, M. C.; GARLAND, J. L.; GÓMEZ, M. A. An integrated approach to evaluate the impacts of the herbicides glyphosate, 2,4-D and metsulfuron-methyl on soil microbial communities in the Pampas region, Argentina. **Appl. Soil Ecol.**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2008.
- ZILLI, J. E. et al. População microbiana em solo cultivado com soja e tratado com diferentes herbicidas em área de cerrado no Estado de Roraima. **Acta Amaz.**, v. 37, n. 2, p. 201-212, 2007.