

MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE MICROBIANA DE SOLO SOB CAFEIEIRO⁽¹⁾

Rogério Melloni⁽²⁾, Gabriela Belleze⁽³⁾, Arthur Manuel Silva Pinto⁽³⁾, Luiza Barbosa de Paula Dias⁽³⁾, Emilienne Margueritte Silve⁽⁴⁾, Eliane Guimarães Pereira Melloni⁽²⁾, Maria Inês Nogueira Alvarenga⁽²⁾ & Elifas Nunes de Alcântara⁽⁵⁾

RESUMO

Minas Gerais destaca-se como o Estado que mais produz café no Brasil. Essa cultura é extremamente suscetível à presença de plantas daninhas, que podem ser manejadas por meio de métodos manuais, mecanizados e, ou, químicos, com impacto nos custos da produção e qualidade do solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito exercido por diferentes métodos de controle de plantas daninhas na linha e entrelinha de cafeeiro, sobre a microbiota do solo e seus processos, que destacadamente têm sido utilizados em virtude de sua extrema sensibilidade e baixo custo. Para isto, amostras de solo foram retiradas em abril de 2010, em Latossolo Roxo distrófico da fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em São Sebastião do Paraíso, MG, na profundidade de 0-10 cm, no centro da rua (entrelinha) do café, e a 20 cm do caule da planta do café (linha), para determinar os atributos: densidade de bactérias e fungos totais, solubilizadores de fosfato, celulolíticos, amonificantes, bactérias diazotróficas não simbióticas, carbono da biomassa e atividade microbianas, quociente metabólico (qCO_2) e atividade enzimática pela hidrólise de diacetato de fluoresceína. O cafeeiro foi submetido a sete métodos de controle de plantas daninhas: roçadora, grade, enxada rotativa, herbicida pós-emergência, herbicida

⁽¹⁾ Apresentado no XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em Uberlândia-MG. Recebido para publicação em 11 de maio de 2012 e aprovado em 20 de novembro de 2012.

⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. do Instituto de Recursos Naturais, da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Av. BPS, 1303, Pinheirinho. CEP 37500-903 Itajubá (MG). E-mail: rogerio.melloni@gmail.com; eliane.melloni@gmail.com; minesalvarenga@gmail.com

⁽³⁾ Discente de Engenharia Ambiental da UNIFEI e ex bolsista PIBIC-FAPEMIG. E-mail: gabs_belleze@yahoo.com.br; arthurmanuel_sp@yahoo.com.br; lu_izadias@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UNIFEI. Ex bolsista CAPES. E-mail: millesilve@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador do Centro Tecnológico do Sul de Minas, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (CTSM/EPAMIG), Campus da UFLA. Caixa Postal 176. CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: elifas@epamig.ufla.br

pré-emergência, capina manual e sem capina. Os resultados evidenciaram a complexidade dos efeitos desses diferentes métodos na microbiota do solo e seus processos, com menores impactos para capina manual e enxada rotativa. Os impactos dos métodos roçadora, grade, sem capina e aplicação de herbicidas de pré-emergência foram considerados intermediários, enquanto a aplicação de herbicidas de pós-emergência, na entrelinha do cafeeiro, promoveu os maiores impactos negativos nos atributos avaliados. Esses impactos devem ser considerados quando houver avaliação e escolha do método a ser empregado para o controle de plantas daninhas em cafeeiro.

Termos de indexação: grupos microbianos, microrganismos do solo, processos microbiológicos, qualidade do solo.

SUMMARY: METHODS OF WEED CONTROL AND THEIR IMPACTS ON MICROBIAL QUALITY OF SOIL UNDER COFFEE

Minas Gerais stands out as the largest coffee-producing state of Brazil. This crop is extremely susceptible to weeds, which can be handled by manual, mechanized and / or chemical methods, which strongly affect production costs and soil quality. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effect of different weed control methods in and between coffee rows on the soil microbiota and its processes. For this purpose, soil samples were taken in April 2010 from an Oxisol on the experimental farm of the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG), in São Sebastião do Paraíso, MG, at a depth of 0-10 cm in the middle of the track (interrow) of coffee and 20 cm away from the stem of the coffee trees (row), to determine the following properties: total density of bacteria and fungi, phosphate solubilizers, cellulolytic and ammonifying microorganisms, non-symbiotic diazotrophic bacteria, carbon biomass and microbial activity, metabolic quotient (qCO_2) and enzymatic activity by the hydrolysis of fluorescein diacetate. The coffee plants were subjected to seven methods of weed control: mowing, coffee tandem disk harrow (grid), rotary tiller, post-emergence herbicide, pre-emergence herbicide, manual weeding, and no weed control. The results showed the complexity of the effects of these different methods on soil and its processes, with lowest impacts of manual weeding and rotary hoe. Mowing, coffee tandem disk harrow, no weed control and pre-emergence herbicide caused intermediate impacts, while the application of post-emergence herbicides in-between coffee rows caused the most negative impacts on the evaluated properties. It is suggested that these impacts must be considered when evaluating and selecting the method for weed control in coffee plants.

Index terms: microbial groups, soil microorganisms, microbial processes, soil quality.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura nacional é um importante gerador de divisas para o país, visto que contribui com aproximadamente 2 % do valor total das exportações brasileiras e 40 % da produção mundial, tornando o Brasil o maior produtor e exportador. O maior Estado produtor nacional do café arábica é Minas Gerais, representando 74,6 % (30,96 a 33,17 milhões de sacas) da produção do país e 66,6 % (20,98 a 22,45 milhões de sacas) de café beneficiado (CONAB, 2011). A importância da cafeicultura mineira pode ser avaliada não apenas pela produção e renda, mas pelo seu papel social, como geradora de empregos e fator de fixação de mão de obra no meio rural.

O manejo intensivo de plantas daninhas é uma das práticas mais realizadas na agricultura (Yang et

al., 2007), sendo essencial ao cafeeiro, uma vez que é extremamente sensível e suscetível à competição por nutrientes (Ronchi & Silva, 2006), luz, água, prejudicando o florescimento, frutificação e, conseqüentemente, a sua produção (Alcântara & Ferreira, 2000). Entretanto, alguns benefícios da presença de plantas daninhas na entrelinha da lavoura cafeeira podem ser comprovados como controle da erosão, reciclagem de nutrientes e sustentabilidade da lavoura (Baumann et al., 2001), além de melhorias na estruturação do solo e no favorecimento de insetos que atuam no controle biológico de pragas (Cobucci et al., 1999).

Os sistemas de manejo, como a prática de controle de plantas daninhas, promovem revolvimento do solo e diferenças na composição dos resíduos vegetais, alterando as propriedades biológicas do solo, com reflexos na sua qualidade e, diretamente, na

produtividade das culturas (Vargas & Scholles, 2000). O manejo intensivo de plantas daninhas pode ser realizado por meio de técnicas manuais, mecanizadas e, ou, químicas, comprometendo os custos da produção e podendo levar a perdas de funcionamento do solo, quando conduzido sem preocupação conservacionista ou sem avaliação crítica de seus efeitos sobre as propriedades do solo.

A atividade e a diversidade da biota, entre outros fatores, podem ser utilizadas como indicadores da qualidade do solo (Zilli et al., 2003). Pela importância na funcionalidade do ecossistema, da diversidade, da dinâmica e da adaptação às alterações ambientais, os microrganismos representam indicadores sensíveis a mudanças no solo, oriundas de alterações no seu manejo (Mendes & Reis Júnior, 2004; Chaer & Tótola, 2007; Carneiro et al., 2008; Melloni et al., 2008; Cardoso et al., 2009; Silva et al., 2010; Gomide et al., 2011). Yang et al. (2007), avaliando um solo sob diferentes métodos de controle de plantas invasoras, em citricultura, na China, não observaram resposta de atributos como carbono da biomassa microbiana (CBM), matéria orgânica do solo (MOS) e nitrogênio (N) total no primeiro ano de avaliação. No entanto, a partir do segundo ano, roçadas anuais associadas ao preparo do solo contribuíram para melhoria dos indicadores CBM, MOS, número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e teor de N total, quando comparadas ao efeito de herbicida mais preparo do solo. A mensuração da biomassa microbiana pode fornecer dados nas modificações das propriedades biológicas dos solos, decorrentes das formas de manejo e das práticas agrícolas (Vargas & Scholles, 2000; Cardoso et al., 2009; Silva et al., 2010), além de ser indicadora sensível de mudanças edáficas e biológicas que influenciam a qualidade desses dados. Outra avaliação indireta da atividade microbiana do solo é por meio da hidrólise do diacetato de fluoresceína, que é quebrado por diversas enzimas (esterases, lípases e proteases) produzidas por microrganismos decompositores como bactérias e fungos (Mendes & Reis Júnior, 2004; Silva et al., 2004; Carneiro et al., 2008).

São poucos os trabalhos envolvendo aspectos microbiológicos de solo e o desenvolvimento de café no Brasil e no mundo. Ishida (2003) verificou que o uso de herbicidas de pós-emergência no controle de plantas daninhas em lavoura cafeeira promoveu maiores valores de C da biomassa e atividade microbiana em razão da utilização do C do herbicida pelos microrganismos. Entretanto, Santos (2005) observou que métodos de capina manual e sem capina para controle de plantas daninhas em uma lavoura cafeeira promoveram maiores valores de C da biomassa e atividade microbiana e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$).

Outros atributos microbiológicos apresentaram grande potencial de utilização como indicadores

sensíveis do estresse ecológico, destacando-se a densidade total de bactérias e fungos, e aqueles envolvidos em ciclos biogeoquímicos importantes do C, como os celulolíticos; do P, como os solubilizadores de fosfato; e do N, como os amonificantes e as bactérias diazotróficas não simbióticas. Essas, por sua vez, contribuem de maneira fundamental na sustentabilidade e na dinâmica do ambiente, principalmente por causa das rápidas respostas às condições edáficas e à adição de N ao sistema. A facilidade de isolamento e caracterização fenotípica em meios de cultura específicos também contribuem para ampliar o seu potencial de uso como indicadores da qualidade do solo (Melloni et al., 2004; Nóbrega et al., 2004; Silva & Melloni, 2011), no cafeeiro.

Portanto, a análise desses atributos pode auxiliar a avaliação do manejo, do uso e de outras ações antrópicas sobre o solo. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito exercido por diferentes métodos de controle de plantas daninhas na linha e entrelinha de cafeeiro sobre a microbiota do solo e seus processos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de amostragem encontra-se na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em São Sebastião do Paraíso, MG (20° 55' 00" S e 47° 07' 10" W), onde a precipitação pluvial média anual é de 1.470,4 mm, temperatura média de 20,8 °C, média máxima de 27,6 °C e média mínima de 14,1 °C. O solo foi classificado como Latossolo Roxo distrófico, textura muito argilosa e mineralogia gibbsítica originada de basalto, em relevo suave ondulado, com as seguintes caracterizações físicas e químicas médias (Embrapa, 1997): densidade do solo (1,19 g cm⁻³); volume total de poros (0,59 %); diâmetro médio geométrico (3,97 mm); diâmetro médio ponderado (4,47 mm); pH (H₂O)(6,6); P e K (31,26 e 108,03 mg dm⁻³, respectivamente); Ca (4,10); Mg (1,07); Al (0,01) e H+Al (2,23 cmol_c dm⁻³); t e T (5,46 e 7,69 cmol_c dm⁻³, respectivamente); V (69,73 %); m (0,47 %); e matéria orgânica (3,01 dag kg⁻¹).

A lavoura foi plantada no espaçamento 4 x 1 m, no ano de 1974, com o cultivar Catuaí Vermelho LCH 2077-2-5-99. Em 2005, em razão do declínio da produção da lavoura implantada, essa foi substituída pela cultivar Paraíso e o espaçamento foi alterado para 0,7 m entre as raízes do café. As operações de troca dos cultivares foram realizadas mantendo-se o efeito dos tratamentos ao longo dos anos na entrelinha. As laterais das fileiras de cafeeiros, com faixa de 0,8 m de largura na projeção da copa, foram mantidas limpas por meio de herbicidas de pré-emergência e pós-emergência e de capina manual, para facilitar a aplicação das adubações, o manejo do café e a movimentação de maquinário. Portanto, o efeito direto

dos tratamentos na entrelinha, independentemente do cultivo de Catuí por 30 anos e de Paraíso por sete anos, pode ser considerado constante na microbiota do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de alguns métodos de controle de plantas daninhas (Quadro 1), aplicados na parte central das entrelinhas de cada "rua" das parcelas, numa faixa com aproximadamente 1,20 m de largura.

Cada parcela (tratamento) era formada por três "ruas", entre três fileiras de cafeeiros, em um total de 154 covas. As ruas laterais, juntamente com as duas fileiras de plantas laterais adjacentes a outros tratamentos, formavam as bordaduras, comuns aos tratamentos adjacentes. Para a amostragem de solo, realizada em abril de 2010, na profundidade de 0-10 cm, foram feitas coletas de três amostras simples para formar cada amostra composta, tanto no centro da rua (entrelinha) do café quanto a 20 cm do caule da planta do café (linha), utilizando-se uma enxada desinfestada com álcool etílico a 70 %.

As amostras foram retiradas e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas, antes de

serem submetidas às análises microbiológicas descritas em Melloni et al. (2001), Silva & Melloni (2011) e Carneiro et al. (2008): densidade de bactérias e fungos pelo método do plaqueamento por gotas, densidade de solubilizadores de fosfato em meio com fosfato insolúvel, densidade de microrganismos celulolíticos em meio líquido com celulose, densidade de amonificantes em meio ácido casamino, densidade de bactérias diazotróficas não simbióticas em meios de cultura semissólidos NF^b, JNF^b e Fam, carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método da irradiação/incubação, por meio de micro-ondas, atividade microbiana (respiração basal) pelo método da captura do CO₂ em NaOH, determinação do quociente metabólico (qCO_2) pela razão entre atividade microbiana e CBM e quantificação da atividade enzimática por meio da hidrólise do diacetato de fluoresceína.

As análises de variância (Anova) e os testes de comparações múltiplas pelo teste de Duncan a 5 %, empregado em virtude de melhor facilidade de discriminação entre os tratamentos de campo, foram feitos utilizando-se o *software* ASSISTAT. Posteriormente, os valores médios dos atributos microbiológicos foram usados para análise de componentes principais (PCA) por meio do *software* PC-ORD 3.12.

Quadro 1. Caracterização dos métodos de controle de plantas daninhas no cafeeiro em estudo

Identificação	Descrição do método
Roçadora (RÇ) ⁽¹⁾	Roçadora da marca Kamaq [®] , modelo KD 132, com largura de corte de 1,32 m. Cinco operações anuais foram necessárias.
Grade (GR)	Equipamento composto de duas seções dispostas em tandem, sendo cada seção equipada com sete discos lisos com largura de corte de 1,3 m e profundidade de trabalho de aproximadamente 10 cm. Foram necessárias três operações anuais.
Enxada rotativa (RT)	O eixo da enxada rotativa tem cinco flanges, sendo as duas laterais com três facas e as três centrais com seis facas cada uma, com profundidade de trabalho de aproximadamente 15 cm. Foram necessárias duas operações anuais.
Herbicida de pós-emergência ou de contato (HC)	Aplicação de glyphosate com o auxílio de uma bomba costal, na dosagem 0,72 kg ha ⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado solúvel 360 g L ⁻¹ e com volume de calda de 400 L ha ⁻¹ . Foram necessárias cerca de duas aplicações anuais.
Herbicida de pré-emergência ou residual (HR)	Aplicação de oxyfluorfen (2-cloro-a,a,a-trifluoro-p-tolyl-3-etoxi-4-nitrophenyl 1ether), na dose de 0,48 kg ha ⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado emulsionável 240 g L ⁻¹ , a um volume de calda de 400 L ha ⁻¹ . Foram necessárias duas aplicações anuais.
Capina manual (CM)	Realizada com o auxílio da enxada e do trabalho braçal quando as plantas invasoras atingiam a altura de 45 cm. Foram necessárias cinco operações anuais.
Sem capina (SC)	As plantas invasoras foram deixadas em livre crescimento nas entrelinhas do cafeeiro.

⁽¹⁾ Todos os equipamentos foram acoplados ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet[®] modelo 68 cafeeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos dos métodos de controle de plantas daninhas podem ser considerados diretos, quando são avaliados na entrelinha, e indiretos, quando na linha do cafeeiro. A densidade de bactérias e fungos apresentou baixa discriminação dos efeitos desses métodos, avaliados tanto na linha quanto na entrelinha do cafeeiro (Quadro 2). Menor densidade de bactérias ocorreu na linha para o método GR (efeito indireto) e menor densidade de fungos na entrelinha do HC (efeito direto). Quanto aos solubilizadores de fosfato, microrganismos envolvidos no ciclo de P, os métodos RÇ, GR e HC promoveram efeito direto e negativo na entrelinha do cafeeiro, enquanto os microrganismos celulolíticos (ciclo do C) e amonificantes (ciclo do N) foram extremamente sensíveis aos métodos e discriminaram o efeito causado por esses, tanto na linha quanto na entrelinha do cafeeiro, principalmente nos métodos GR, RT, HR e SC (Quadro 2).

Segundo a análise univariada, os métodos que, em geral, apresentaram maior impacto negativo nesses microrganismos foram GR, RT, HR, além do SC (controle), contrariamente ao observado para o método CM. Pode-se verificar que os microrganismos considerados não específicos, como bactérias e fungos, não foram influenciados pelos métodos, mas que os grupos de microrganismos de atuação específica nos diferentes ciclos biogeoquímicos, como os celulolíticos, amonificantes e solubilizadores de fosfato, foram extremamente sensíveis a esses. A sensibilidade diferenciada desses grupos de microrganismos tem sido frequentemente observada em alguns trabalhos de avaliação da qualidade do solo, no sul de Minas Gerais (Melloni et al., 2001; Silveira et al., 2006). O impacto

negativo em grupos específicos como esses pode comprometer o funcionamento dos ciclos do C, N e P e a ciclagem de nutrientes no ecossistema cafeeiro em estudo.

Os atributos relacionados ao CBM e à atividade microbiana, em geral, foram pouco influenciados pelos diferentes métodos de controle de plantas daninhas (Quadro 3) ou apresentaram baixa sensibilidade na discriminação dos seus efeitos, corroborando os trabalhos de Melloni et al. (2008) e de Lisboa et al. (2012) e de encontro aos resultados de Carneiro et al. (2008), Silva et al. (2010) e Gomide et al. (2011), em áreas sob diferentes ações antropogênicas, em Minas Gerais.

Neste estudo, não houve estímulo dos métodos de controle de plantas daninhas na hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). Como a hidrólise do FDA é utilizada para quantificação de células ativas nos solos e também para caracterização da atividade microbiana global do solo (Silva et al., 2004), a ausência de respostas pode indicar ou baixa dinâmica da microbiota do solo ou baixa sensibilidade desse indicador aos efeitos proporcionados por tais tratamentos, comportamento variável também obtido por Carneiro et al. (2008), utilizando tal atributo como indicador em solos de áreas de mineração.

Os menores valores de atividade microbiana ocorreram em RÇ e HR, na linha, enquanto GR e SC proporcionaram os menores valores de CBM também na linha do cafeeiro, considerados efeitos indiretos dos métodos de controle de plantas daninhas. Somente os métodos com herbicidas (HC e HR), na entrelinha, elevaram os valores de qCO_2 a ponto de serem significativamente diferentes e maiores que os dos demais. Tal fato caracteriza impacto direto negativo desses métodos na microbiota do solo, pela formação de um ambiente de estresse na rizosfera das plantas.

Quadro 2. Número mais provável de bactérias, fungos, solubilizadores de fosfato, celulolíticos e amonificantes, na linha e entrelinha do cafeeiro em estudo

MC ⁽¹⁾	Bactérias		Fungos		Solubilizadores de fosfato		Celulolíticos		Amonificantes	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
	NMP de microrganismos g ⁻¹ de solo seco									
RÇ	5,9a	5,8a	5,1a	5,1ab	4,9a	3,9bc	12,2b	11,8ab	6,0b	5,7b
GR	5,0b	5,4a	5,2a	5,1ab	3,1a	3,5c	12,4b	10,5b	5,7b	5,9b
RT	5,7a	5,2a	4,9a	5,2a	5,1a	5,0a	9,8bc	11,4b	6,0b	5,7b
HC	5,5ab	4,7a	4,6a	4,7b	3,4a	3,6bc	11,8bc	14,5a	7,2a	7,7a
HR	5,4ab	5,0a	5,1a	5,0ab	4,7a	4,6ab	9,5c	10,7b	5,1b	5,1b
CM	5,3ab	4,8a	4,9a	4,8ab	5,0a	4,2ab	15,0a	12,2ab	7,7a	7,5a
SC	5,7a	5,0a	4,7a	5,0ab	3,8a	4,4ab	11,1bc	10,8b	5,2b	5,3b
C.V. (%)	5,7	7,5	4,6	4,6	24,5	13,6	12,0	12,5	8,6	9,4

⁽¹⁾MC: Métodos de controle de plantas daninhas: roçadora (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida pós-emergência (HC), herbicida pré-emergência (HR), capina manual (CM) e sem capina (SC). Médias seguidas pela mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si por Duncan a 5 %.

Quadro 3. Atividade microbiana, carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e atividade enzimática na hidrólise do diacetato de fluoresceína, na linha e entrelinha do cafeeiro em estudo

MC ⁽¹⁾	Atividade microbiana		CBM		qCO_2		Atividade enzimática	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
	mg g ⁻¹ de C-CO ₂ solo 10 dias ⁻¹		µg g ⁻¹ de C		µg g ⁻¹ de C-CO ₂ da biomassa		mg fluoresceína g ⁻¹ solo	
RÇ	73,3b	309,3a	232,6a	341,5a	0,30a	1,21b	0,075a	0,068a
GR	232,0ab	431,3a	78,5bc	366,8a	6,58a	1,50b	0,076a	0,068a
RT	233,4ab	250,7a	223,3a	305,9a	1,38a	1,18b	0,071a	0,075a
HC	202,3ab	432,0a	211,7a	127,3a	1,17a	5,97a	0,096a	0,068a
HR	74,0b	309,9a	112,7ab	104,3a	0,65a	2,97ab	0,083a	0,074a
CM	256,8a	262,0a	177,9ab	280,7a	1,44a	0,92b	0,087a	0,098a
SC	128,0ab	273,9a	33,3c	272,9a	4,40a	1,93b	0,085a	0,099a
CV (%)	51,26	52,74	41,02	72,66	154,43	71,84	16,85	23,44

⁽¹⁾ Métodos de controle de plantas daninhas: roçadora (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida pós-emergência (HC), herbicida pré-emergência (HR), capina manual (CM) e sem capina (SC). Médias seguidas pela mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si por Duncan a 5%.

Valores elevados de qCO_2 indicam que está ocorrendo maior gasto de energia para a manutenção da comunidade microbiana, ou seja, em razão da condição de estresse, os microrganismos têm que consumir mais substrato para sua sobrevivência (Carneiro et al., 2008; Silva et al., 2010; Gomide et al., 2011). Santos (2005) considerou que altos valores de qCO_2 também podem estar relacionados à maior atividade decompositora da biomassa microbiana, com maior gasto energético e, conseqüentemente, menor eficiência para incorporar C na célula microbiana. Paralelamente, resultados de Ishida (2003) e de Silva et al. (2010) confirmaram a extrema sensibilidade desses indicadores microbiológicos, já que maiores valores de CBM e atividade microbiana em métodos de controle de plantas daninhas, em cafeeiro de cinco anos de idade, e em outros sistemas de manejo de solo no Campos das Vertentes (MG), respectivamente, foram encontrados quando da utilização frequente de herbicidas. Cardoso et al. (2009), ao avaliarem as alterações nos atributos biológicos do solo, em razão da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e da submissão de pastagens nativas a sistema de pastejo contínuo, no pantanal sul-matogrossense, associaram a maior atividade microbiana obtida em pastagens cultivadas sob intervenção antrópica ao intenso desenvolvimento e ciclagem do sistema radicular das gramíneas forrageiras na camada superior solo.

Com relação à densidade dos microrganismos diazotróficos não simbióticos, houve efeito diferenciado dos métodos de controle de plantas daninhas, independentemente do local amostrado (linha e entrelinha) e dos meios de cultura (Figura 1), concordando com a sensibilidade observada por Melloni

et al. (2004) em áreas degradadas e em reabilitação, no sul de Minas Gerais. Os resultados deste trabalho vêm ampliar os estudos sobre esse grupo microbiano em cafeeiro, que, apesar da importância ambiental, são raros (Jimenez-Salgado et al., 1997; Santos et al., 2001).

Na linha, verificou-se que o método HC causou forte redução na densidade desses microrganismos, independentemente do meio de cultura, evidenciando o impacto negativo indireto do método aplicado na entrelinha do cafeeiro. Tal fato não se repetiu na entrelinha do cafeeiro sob esse mesmo método.

Na linha do cafeeiro, a maior densidade de microrganismos foi obtida com o meio FAM, em todos os métodos, exceto no HC. Já na entrelinha, obteve-se a maior densidade em amostras de solo sob a maioria dos métodos de controle de plantas daninhas, utilizando-se o meio JNFb, o que evidenciou uma variação espacial desses microrganismos em razão do local de amostragem. A maior densidade desses microrganismos pelo meio JNFb corroborou os trabalhos de Baldani et al. (1999) e Melloni et al. (2004), os quais evidenciaram a falta de especificidade desse meio nesse processo, permitindo o crescimento de outros microrganismos diazotróficos. Destaca-se a maior ocorrência ou densidade desses microrganismos não simbióticos na linha do cafeeiro sob o método CM, em relação à entrelinha do cafeeiro sob esse mesmo método. No entanto, ao se utilizar o meio NFb, observaram-se densidades semelhantes em amostras de solo sob os diferentes métodos de controle de plantas daninhas, exceto para CM na linha, com o menor valor.

Por esses resultados, contrariamente ao observado por Melloni et al. (2004), percebeu-se que a densidade

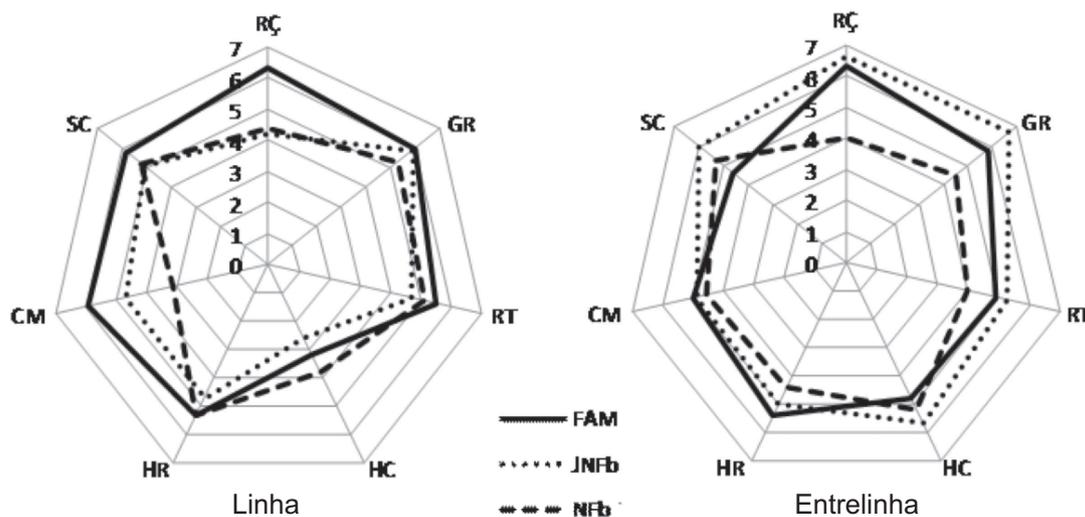


Figura 1. Diagrama radar apresentando a densidade (log NMP g⁻¹ de solo) de microrganismos diazotróficos não simbióticos, isolados nos meios FAM, JNFb e NFB, na linha e entrelinha do cafeeiro em estudo. Métodos de controle de plantas daninhas: roçadora (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida pós-emergência (HC), herbicida pré-emergência (HR), capina manual (CM) e sem capina (SC).

de microrganismos diazotróficos não simbióticos não esteve ligada à presença de gramíneas ou às outras plantas daninhas na área, já que foram obtidos valores expressivos tanto em amostras de solo sob o método SC (linha e entrelinha) quanto sob controle químico (HR) e mecânico (RT). Esse fato é importante por evidenciar que esse grupo de microrganismos permanece presente no solo, mesmo na ausência de plantas daninhas, contribuindo para o processo de fixação biológica de N e aumento da sua disponibilidade às plantas, quando necessário. A sobrevivência dessas bactérias, mesmo sem hospedeiros, ocorre graças à capacidade de formarem estruturas de resistência, como cistos, quando em condições estressantes, à possibilidade de fixar N₂ na ausência de fonte exógena de C e ao acúmulo de poli-β-hidroxibutirato, material de reserva que permite a essas resistir a condições de estresses ambientais, conforme discutido em Melloni et al. (2004).

Pela análise univariada dos resultados, verificou-se que há resultados contraditórios com relação ao efeito de alguns métodos de controle, ora positivos para alguns grupos microbianos ora negativos para outros. O método HC, considerado de baixo impacto negativo para alguns grupos (Quadro 2), foi o que promoveu maiores valores de qCO_2 , na linha e entrelinha (Quadro 3), e menor densidade de diazotróficos não simbióticos na linha (impacto negativo indireto), independentemente do meio de cultura (Figura 1). Assim, visando avaliar o efeito conjunto dos métodos na microbiota do solo, os dados foram submetidos à análise multivariada (Figura 2), em que três componentes principais (CPs) compuseram 73,4 % da

variância total dos dados, sendo o CP1 responsável por 38,2 %; o CP2 por 19,1 %; e o CP3 por 16,1 %. Pelos valores dos autovetores ou coeficientes de correlação entre os atributos microbiológicos e os três componentes principais (Quadro 4), confirmou-se a grande variabilidade do efeito dos métodos de controle de plantas daninhas na microbiota do solo, tanto na linha (efeito indireto) quanto na entrelinha (efeito direto) do cafeeiro.

Os métodos HR e SC apresentaram maior relação entre si (Figura 2a) em razão das menores densidades de microrganismos envolvidas nos ciclos de C (celulolíticos) e N (amonificantes) e dos maiores valores para bactérias diazotróficas não simbióticas, nos diferentes meios de cultura, concordando com o observado no quadro 2 e figura 1, respectivamente. Já o método CM, considerado menos impactante na microbiota do solo (Quadros 2 e 3), apresentou maior relação com o método RT (Figura 2b), em virtude das maiores densidades de microrganismos do ciclo do P (solubilizadores de fosfato), da biomassa microbiana e da densidade bacteriana na linha do cafeeiro, associadas aos baixos valores de qCO_2 .

Portanto, os resultados oferecidos pelas análises uni e multivariada apresentaram a complexidade dos efeitos dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas na microbiota do solo, sob o ecossistema cafeeiro em estudo. Diante disto, assim como proposto por Ishida (2003), sugere-se que esses efeitos, avaliados de forma generalizada ou em grupos específicos, sejam considerados na avaliação e escolha do método a ser empregado para o controle de plantas daninhas, conciliando com outros aspectos ligados ao ambiente edáfico, social e econômico.

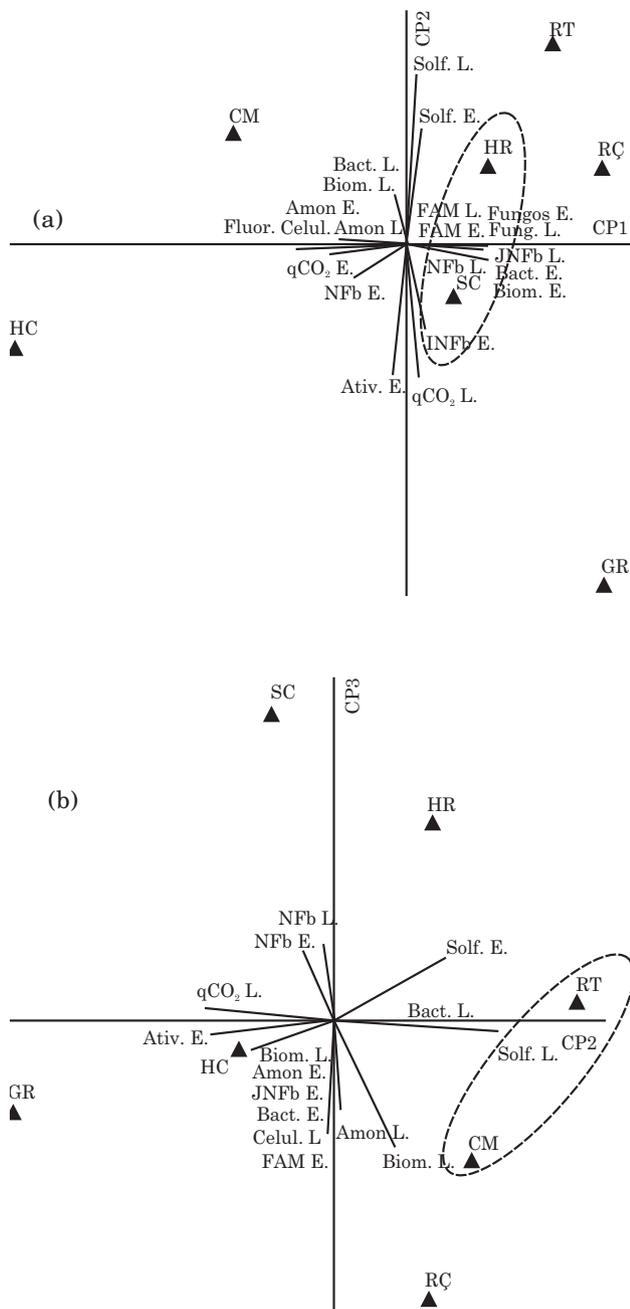


Figura 2. Análise de componentes principais (a) CP1xCP2 e (b) CP2xCP3 das médias dos atributos microbiológicos avaliados (Bact: bactérias, Fung: fungos, Amon: amonificantes, Solf: solubilizadores de fosfato, Celul: celulolíticos, Ativ: atividade microbiana, Biom: carbono da biomassa microbiana, Fluor: atividade enzimática, qCO_2 e diazotróficos rizosféricos nos meios FAM, NFb, JNFb) na linha (L) e entrelinha (E) do cafeeiro submetido a diferentes métodos de controle de plantas daninhas: roçadora (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), herbicida pós-emergência (HC), herbicida pré-emergência (HR), capina manual (CM) e sem capina (SC).

Quadro 4. Valores dos autovetores obtidos na análise de componentes para os atributos microbiológicos nas áreas de estudo

Atributos microbiológicos ⁽¹⁾	Componentes principais ⁽²⁾		
	CP1	CP2	CP3
Bact. L.	0.0329	<u>0.2922</u>	0.0107
Bact. E.	<u>0.2594</u>	-0.0384	<u>-0.2437</u>
Fung.L.	<u>0.2495</u>	-0.0727	-0.1830
Fung E.	<u>0.3099</u>	0.0370	0.0077
Solf.L.	0.0851	<u>0.4328</u>	-0.0963
Solf.E.	0.1029	<u>0.3579</u>	<u>0.2494</u>
Celul.L.	-0.1041	-0.0854	<u>-0.3039</u>
Celul.E.	<u>-0.2930</u>	0.0494	-0.1692
AmonL.	<u>-0.2368</u>	0.0750	<u>-0.2894</u>
AmonE.	<u>-0.2789</u>	-0.0214	<u>-0.2297</u>
FAM L.	<u>0.2773</u>	0.0373	-0.0840
FAM E.	0.1826	-0.0889	<u>-0.3266</u>
JNFb L.	<u>0.2579</u>	-0.1301	0.0891
JNFb E.	0.1246	<u>-0.3081</u>	-0.1650
NFb L.	<u>0.2307</u>	-0.1180	<u>0.2723</u>
NFb E.	<u>-0.2118</u>	-0.1952	<u>0.2638</u>
Ativ. L.	-0.1074	-0.0789	-0.1228
Ativ. E.	-0.1082	<u>-0.3793</u>	-0.1090
Biom. L.	-0.0870	<u>0.2600</u>	<u>-0.3468</u>
Biom. E.	0.1998	-0.0901	<u>-0.2392</u>
qCO_2 L.	0.0938	<u>-0.3846</u>	0.1133
qCO_2 E.	<u>-0.2528</u>	-0.1012	0.1095
Fluor. L.	<u>-0.2998</u>	-0.0678	0.1146
Fluor. E.	-0.0364	0.1164	<u>0.2073</u>

⁽¹⁾ Descrição na figura 2; ⁽²⁾Valores acima de 0.2000 estão sublinhados por representarem as maiores correlações com os componentes principais.

CONCLUSÕES

1. Os métodos de controle de plantas daninhas: roçadora (RÇ), grade (GR), enxada rotativa (RT), aplicação de herbicida de pré (HR) e pós-emergência (HC) e capina manual (CM), quando comparados ao controle sem capina (SC), exerceram efeitos variáveis, diretos e indiretos, na microbiota do solo e seus processos, na entrelinha e linha do cafeeiro, respectivamente.

2. A seguinte ordem pode ser estabelecida para o efeito dos métodos de controle de plantas daninhas na microbiota do solo sob cafeeiro: menor impacto negativo - capina manual (CM) e enxada rotativa (RT); impacto intermediário - roçadora (RÇ), grade (GR), sem capina (SC) e aplicação de herbicidas de pré-emergência (HR); e maior impacto negativo - aplicação de herbicidas de pós-emergência (HC).

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Empresa de Pesquisa e Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

LITERATURA CITADA

- ALCÂNTARA, E.N. & FERREIRA, M.M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) instalados em Latossolo Roxo distrófico. *Ci. Agrotec.*, 24:54-61, 2000.
- BALDANI, J.I.; AZEVEDO, M.S.; REIS, V.M.; TEIXEIRA, K.R.S.; OLIVARES, F.L.; GOI, S.R.; BALDANI, V.L.D. & DÖBEREINER, J. Fixação biológica de nitrogênio em gramíneas: Avanços e aplicações. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa, MG, SBCS/UFLA/DCS, 1999. p.621-666.
- BAUMANN, D.T.; BASTIAANS, L. & KROPFF, M.J. Competition and crop performance in a leik-celery intercropping system. *Crop Sci.*, 41:764-774, 2001.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S. & CURTI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:631-637, 2009.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:621-632, 2008.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantio de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1381-1396, 2007.
- COBUCCI, T.; DI STEFANO, J.G. & KLUTHCOUSKI, J. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 56p. (Circular Técnica, 35)
- COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira: Safra 2011. Brasília-DF Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_10_09_04_16_boletim_ccafe_portugues_-_maio_-_2011_2o_lev..pdf>. Acesso em: 01 maio 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GOMIDE, P.H.O.; SILVA, M.L.N. & SOARES, C.R.F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:567-577, 2011.
- ISHIDA, E.T. Efeito da associação de métodos no controle de plantas daninhas e sobre microrganismos do solo numa lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L.). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 41p. (Dissertação de Mestrado)
- JIMENEZ-SALGADO, T.; FUENTES-RAMIREZ, L.E.; MARTINEZ-ROMERO, E. & CABALLERO-MELLADO, J. *Coffea arabica*, a new host plant for *A. diazotrophicus* and isolation of others nitrogen fixing acetobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 63:3676-3683, 1997.
- LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; SILVEIRA, A.O.; MARTINS, A.F. & SELBACH, A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:45-55, 2012.
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N. & VIEIRA, F.B. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2461-2470, 2008.
- MELLONI, R.; NÓBREGA, R.S.A.; MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas em solos de mineração de bauxita em reabilitação. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:85-93, 2004.
- MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; SANTOS, D.R.; MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. *Ci. Agrotec.*, 25:7-13, 2001.
- MENDES, I.C. & REIS JÚNIOR, F.B. Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 34p. (Documentos, 112)
- NÓBREGA, R.S.A.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & LIMA, A.S. Caracterização fenotípica e diversidade de bactérias diazotróficas associativas isoladas de solos em reabilitação após a mineração de bauxita. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:269-279, 2004.
- RONCHI, C.P. & SILVA, A.A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. *Planta Daninha*, 24:415-423, 2006.
- SANTOS, M.N. Método de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro e seus efeitos na agregação e em frações da matéria orgânica do solo. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2005. 74p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, P.E.L.; CRISTALES, R.B. & MELLADO, J.C. *Burkholderia*, a genus rich in plant-associated nitrogen fixer with wide environmental geographic distribution. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67:2790-2798, 2001.
- SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R. & COSTA, J.F.S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. *Ci. Rural*, 34:1493-1496, 2004.

- SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. & ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. R. Bras. Ci. Solo, 34:1585-1592, 2010.
- SILVA, T.F. & MELLONI, R. Densidade e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas não simbióticas em solos da reserva biológica Serra dos Toledos, Itajubá (MG). R. Bras. Ci. Solo, 35:359-371, 2011.
- SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R. & MELLONI, E.G.P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. Cerne, 12:48-55, 2006.
- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 24:35-42, 2000.
- YANG, Y.; WANG, H.; TANG, J. & CHEN, X. Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. Soil Tillage Res., 93:179-185, 2007.
- ZILLI, J.E.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L.C. & NEVES, M.C.P.N. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. Cad. Ci. Tecnol., 20:391-411, 2003.