

Respiração basal e induzida por compostos orgânicos de carbono em solos de diferentes agroecossistemas da Zona da Mata de Minas Gerais

Basal and induced respiration by organic carbon compounds in soils from different land uses in Zona da Mata de Minas Gerais

Gustavo Sampaio de Lima Martins*

Vanessa Pereira de Abreu**

André Narvaes da Rocha Campos***

O objetivo deste trabalho foi avaliar a microbiota do solo de agroecossistemas do município de Rio Pomba-MG, por meio a respiração basal e induzida por substratos orgânicos de carbono. O solo da mata apresentou maior qualidade biológica, o que foi destacado por sua eficiência no uso da sacarose. No cafezal e na área de culturas anuais, observou-se menor eficiência. Porém, os níveis inferiores de respiração basal e induzida por celulose observados para a última, indicam sua menor atividade microbiológica. Estes resultados auxiliarão estudos futuros para o desenvolvimento de sistemas de cultivo sustentáveis para a Zona da Mata de Minas Gerais.

Palavras-chave: Indicadores microbianos. Respiração basal do solo. Respiração induzida por substrato.

The objective of this work was to evaluate soil microorganisms from the agroecosystems of Rio Pomba/MG using basal and induced respiration by organic carbon compounds. Forest soil presented the highest biological quality, a feature revealed by the efficient use of sucrose. Coffee plantation and annually cropped areas were less efficient in the use of sucrose. Nevertheless, the lesser level of basal and cellulose induced respiration of the latter indicated its reduced microbial activity. These results should support studies aiming at the development of sustainable agricultural systems at Zona da Mata de Minas Gerais.

Key words: Microbial indicators. Soil basal respiration. Substrate induced respiration.

Introdução

A utilização sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo, tem-se constituído tema de crescente relevância, em razão da intensificação das atividades antrópicas. Práticas agrícolas que objetivam menor degradação do solo e maior sustentabilidade da agricultura têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores (BALOTA et al., 1998). No entanto, a determinação do efeito das práticas de manejo do solo em sua sustentabilidade é um desafio, principalmente no que concerne à avaliação da qualidade biológica do solo.

* Aluno do Curso de Agroecologia do IF Sudeste MG *Campus* Rio Pomba. MG - Brasil. Email: gustavo.sampaio@gmail.com

** Aluna do Curso de Agroecologia do IF Sudeste MG *Campus* Rio Pomba. MG - Brasil. Email: nessa-mg@hotmail.com

*** Professor orientador do IF Sudeste MG *Campus* Rio Pomba. MG - Brasil. Email: andre.campos@ifsudestemg.edu.br

Os microrganismos constituem a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, e são muito importantes nos processos de decomposição de resíduos de plantas e animais, ciclagem biogeoquímica dos elementos, fixação biológica do nitrogênio, intemperização de minerais, solubilização de nutrientes, formação da matéria orgânica e estrutura do solo (POWLSON et al., 1981). Assim, os processos microbianos são de fundamental importância para o funcionamento dos sistemas agroecológicos de produção, executando funções diretamente relacionadas com sua produtividade e sustentabilidade. (DE-POLLI et al., 2005).

De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido. Nesse contexto, as populações de organismos do solo revelam natureza dinâmica e são facilmente afetadas por distúrbios físicos, causados pelo cultivo, ou químicos, resultantes da aplicação de fertilizantes e pesticidas (KIMPE et al., 1998). Alguns estudos demonstram que indicadores biológicos são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos para revelar com maior antecedência alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo (DORAN, 1980; DICK, 1994; TRASAR-CÉPEDA et al., 1998; MATSUOKA et al., 2003).

Medidas da atividade microbiana são de grande utilidade como indicadoras da qualidade biológica do solo, tornando sua análise uma importante ferramenta preditiva do efeito das práticas de manejo sobre os ecossistemas. Dentre os atributos utilizados para caracterizar o componente biológico dos solos, destaca-se a Respiração Basal do Solo (RBS). A quantificação do CO₂ liberado pela respiração dos microrganismos, também conhecido como C prontamente mineralizável, é um dos métodos mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ZIBILSKE, 1994; ALVAREZ et al., 1995). A respiração microbiana é um indicador sensível da decomposição de resíduos, da mineralização do carbono orgânico do solo e de distúrbios no ecossistema e pode mostrar amplas variações em decorrência da umidade, temperatura e disponibilidade de substratos (ANDERSON; DOMSCH, 1985; SPARLING, 1997).

A interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado, tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema, quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (SILVA et al., 2007). Uma alternativa para contornar esta limitação da avaliação da população microbiana do solo pode ser a Respiração Induzida por Substrato de Carbono, uma vez que sua resposta revelará o estado fisiológico dos microrganismos (ODUM, 1985; TÓTOLA; CHAER, 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a microbiota do solo de agroecossistemas do município de Rio Pomba-MG, por meio a respiração basal e induzida por substratos orgânicos de carbono.

Material e métodos

Local do experimento

O trabalho foi realizado no Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Agricultura e Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Câmpus Rio Pomba.

Rio Pomba localiza-se na região da Zona da Mata, sudeste do Estado de Minas Gerais - MG, (latitude 21° 16' 45" S, longitude 43° 10' 30" W) com altitude de 434 m. Conforme a classificação de AB'SABER (1996), a Zona da Mata se insere no domínio dos Mares de Morros. O relevo mostra-se em formas diversificadas, destacando-se áreas planas, onduladas e montanhosas; elevações de topos arredondados com vertentes convexas terminando em vales planos (VALVERDE, 1958).

O clima predominante na região, segundo a classificação de Koppën, é Cwa (temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C, clima tropical de altitude com verões quentes e chuvosos). A pluviosidade média anual oscila entre 1.000 e 1.500 mm. Com base na taxa de pluviosidade, Baruqui et al. (1985) classificam a deficiência absoluta de água na região, com grau nulo ou ligeiro para a aptidão agrícola das terras. As variações na temperatura e nas precipitações no município de Rio Pomba no período do experimento estão demonstradas na Figura 1.

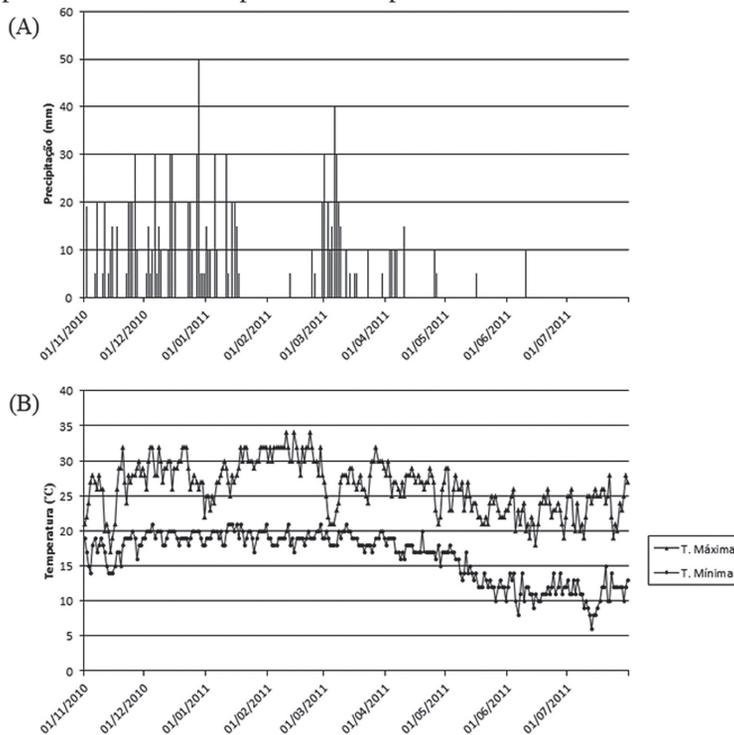


Figura 1. (A) Precipitação diária (mm) e (B) Temperatura média diária (°C) durante o período do experimento. Fonte: Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (SIMGE http://ricardonun.dominiotemporario.com/monitoramento/chuva_diaria.html#).

Para execução do experimento, foram selecionados três agroecossistemas típicos da Zona da Mata de Minas Gerais, todos localizados em regiões que apresentam solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (CETEC, 2008) [Quadro 1]. Em cada uma das áreas descritas no Quadro 1 foram demarcados, aleatoriamente, nove pontos. Em cada um destes pontos foram coletadas amostras de 400 g de solo na profundidade de 0-5 cm. A partir destas, foram constituídas três amostras compostas que foram utilizadas para as análises subsequentes. As coletas foram realizadas em três períodos: em 04 de dezembro de 2010, em 01 de abril de 2011 e em 22 de julho de 2011. Após a coleta, as amostras de solo foram transportadas para o laboratório e, posteriormente, peneiradas (2 mm), retirando-se os fragmentos de animais e vegetais por catação. O solo preparado foi armazenado sob refrigeração (5°C) até a realização da análise de respiração. Após a primeira amostragem, foram retiradas subamostras de solo para as análises químicas (Tabela 1).

Para determinação da capacidade de campo, efetuou-se a secagem de 100 g de cada amostra à temperatura de 72° C por 48 horas. Depois de secas, as amostras foram pesadas novamente para medir a capacidade de retenção de água (SILVA et al., 2007).

Quadro 1. Características das áreas selecionadas para estudo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, *Campus* Rio Pomba

Área	Histórico de uso
Lavoura de café	A lavoura de café Oeiras (<i>Coffea arabica</i>) encontra-se sob manejo orgânico consorciado com árvores leguminosas (<i>Gliricidia sepium</i>). Recebe manejo de adubação verde há aproximadamente cinco anos. Apesar de ter recebido adubações com diversos compostos orgânicos disponíveis no Câmpus seu solo possui pouca matéria orgânica.
Mata	A vegetação nativa é típica da Mata Atlântica. No passado sofreu intervenções humanas. Desta forma, a vegetação atual é classificada como secundária e suas espécies predominantes são, normalmente, pioneiras na fase adulta.
Culturas Anuais	É a área que mais sofreu ações antrópicas. As intensas práticas agrícolas nesta área nos últimos anos são marcadas pela alta aplicação de insumos, utilização de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Atualmente é utilizada para o plantio de milho e de feijão.

Tabela 1. Análises químicas ⁽¹⁾ do solo proveniente de diferentes agroecossistemas do município de Rio Pomba-MG

Variáveis Químicas	Áreas Estudadas		
	Lavoura de café	Mata	Culturas anuais
pH (H ₂ O)	6,6	5,7	6,0
P (mg/dm ³)	2,2	4,6	39,9
K (mg/dm ³)	158	100	166
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	2,90	1,50	1,80
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	2,00	0,50	0,80
H+Al (cmol _c /dm ³)	2,1	5,4	2,7
Soma de Bases (cmol _c /dm ³)	5,30	2,26	3,02
CTC (t) (cmol _c /dm ³)	5,30	2,26	3,02
CTC (T) (cmol _c /dm ³)	7,40	7,66	5,72
V (%)	71,6	29,5	52,8
MO (dag/KG)	0,56	3,87	3,46
P – rem (mg/L)	44,9	39,5	38,5

⁽¹⁾ Análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas de Solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, *Campus* Rio Pomba, segundo método descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1997).

Respiração Microbiana do Solo

A respiração do solo foi avaliada em amostras de solo fresco, solo com adição de 0,5 g de sacarose e solo com adição de 0,5 g de celulose por frasco. A taxa de respiração basal foi estimada pela quantificação titulométrica do CO₂ liberado a partir de 40 g de solo, com umidade ajustada para 30% da capacidade de campo, durante incubação por 192 horas. Ao longo deste período, foram realizadas oito titulações sendo as seis primeiras realizadas com intervalo de 24 horas e as duas últimas, com intervalo de 48 horas.

O solo, com e sem adição de substratos, foi incubado em frascos de 1000 ml hermeticamente fechados. O CO₂ foi capturado por solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, quantificado por titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹ e a taxa de respiração expressa em mg de CO₂, conforme descrito por Alef et al. (1995).

Resultados e Discussão

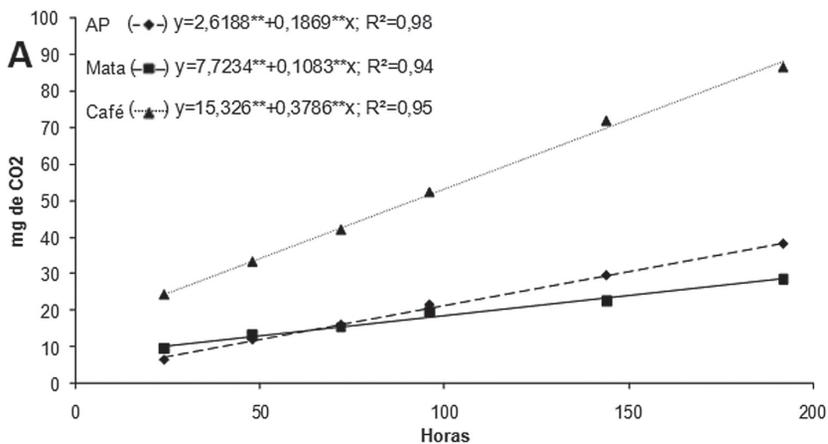
Neste experimento, as curvas ajustadas para a respiração do solo apresentaram modelo linear ou quadrático, sendo que todos os modelos foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste F (Figuras 2, 3 e 4). Independentemente do tratamento,

observou-se maior efluxo de CO_2 no solo no primeiro período do experimento se comparado aos demais períodos (Figuras 2, 3 e 4). Este fato resulta das altas temperaturas e umidade observadas neste período. A atividade microbiana é influenciada por fatores bióticos e abióticos (VARGAS et al., 2000), sendo a precipitação e a temperatura os fatores que exercem maior influência (MASON; 1980; SANTOS et al., 1999).

Entre os substratos utilizados, observou-se que as amostras nas quais foi adicionada a sacarose apresentaram maiores taxas de respiração (Figuras 2, 3 e 4). Também, as amostras tratadas com celulose apresentaram taxas de respiração superiores às do solo sem acréscimo de substratos. O acréscimo de substratos de carbono aumentou as taxas respiratórias, sendo que compostos de carbono mais simples, como açúcares e proteínas, são rapidamente degradados uma vez que são diretamente utilizados pelos micro-organismos do solo (GROSSI, 1993). Por outro lado, compostos poliméricos e mais complexos, como celulose e lignina, necessitam de períodos longos para que os microrganismos consigam produzir todo o conjunto de enzimas extracelulares necessárias para degradá-los (GROSSI, 1993).

Nos três períodos analisados, a respiração basal do solo (RBS) da área do café foi superior à respiração nas outras áreas (Figura 2). Esta observação resulta, provavelmente, da aplicação continuada de compostos orgânicos na área e presença da gliricídia que contribuiu para a inserção de nitrogênio e para manutenção da umidade na cultura (ADACHI et al., 2002).

A respiração basal do solo da mata foi semelhante à respiração basal da área de culturas anuais, no primeiro e no terceiro períodos, sendo que no segundo, o comportamento da mata foi mais próximo ao comportamento do solo do cafezal (Figura 2). Destaca-se, no entanto, o fato de que a respiração basal do solo da área de culturas anuais foi a menor em todos os períodos do experimento. Estes resultados corroboram as observações de que a respiração microbiana é influenciada negativamente pelo revolvimento do solo, portanto, por seu manejo (ALVAREZ et al., 1995; VARGAS; SCHOLLES, 2000).



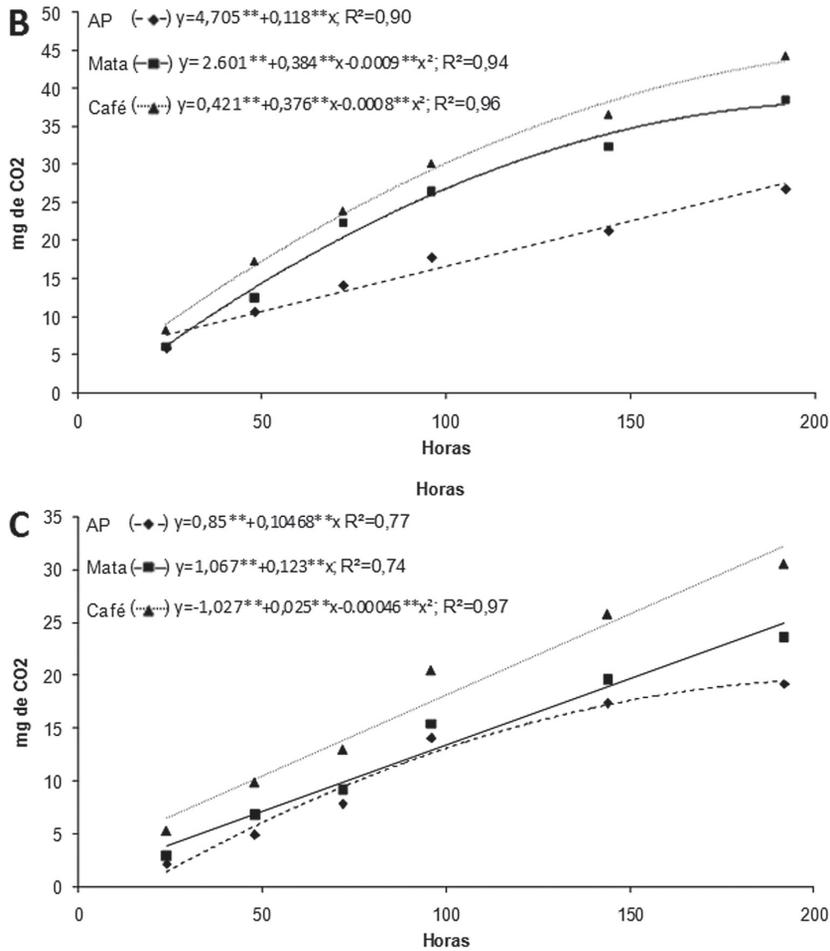


Figura 2. Respiração basal do solo da área de produção de culturas anuais (AP), mata secundária proveniente de regeneração natural (Mata) e de cafezal (*Coffe arabica* Oeiras) em consórcio com *Gliricidia sepium* (Café) no município de Rio Pomba/MG. A. Amostras coletadas em 04/12/2010, B. Amostras coletadas em 01/04/2011 e C. Amostras coletadas em 22/07/2011

Os símbolos indicam as médias das observações e as linhas os modelos de regressão ajustados. ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste t. * significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

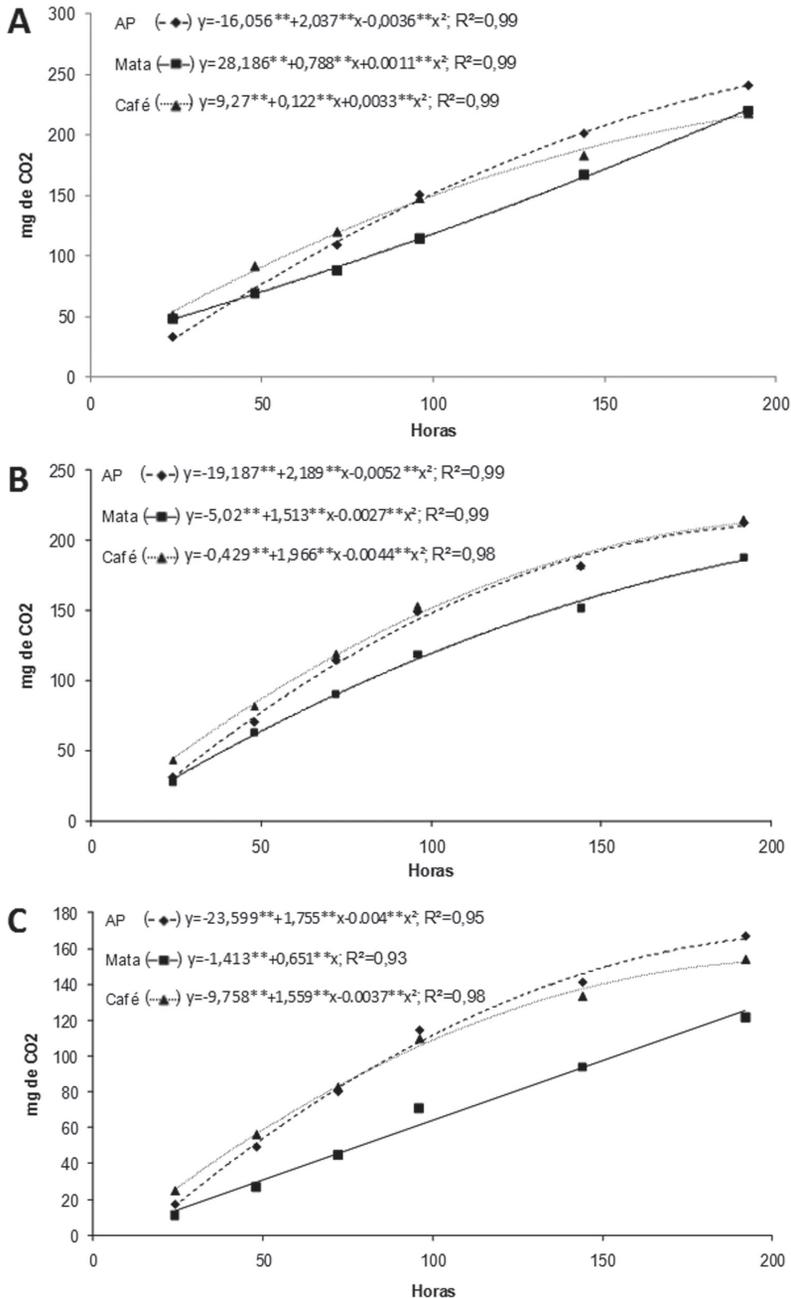


Figura 3. Respiração induzida por sacarose em solo proveniente de área de produção de culturas anuais (AP), mata secundária proveniente de regeneração natural (Mata) e de cafezal (*Coffe arabica* var. Oeiras) em consórcio com *Gliricidia sepium* (Café) no município de Rio Pomba/MG. **A.** Amostras coletadas em 04/12/2010, **B.** Amostras coletadas em 01/04/2011 e **C.** Amostras coletadas em 22/07/2011

Os símbolos indicam as médias das observações e as linhas os modelos de regressão ajustados. ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste t. * significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

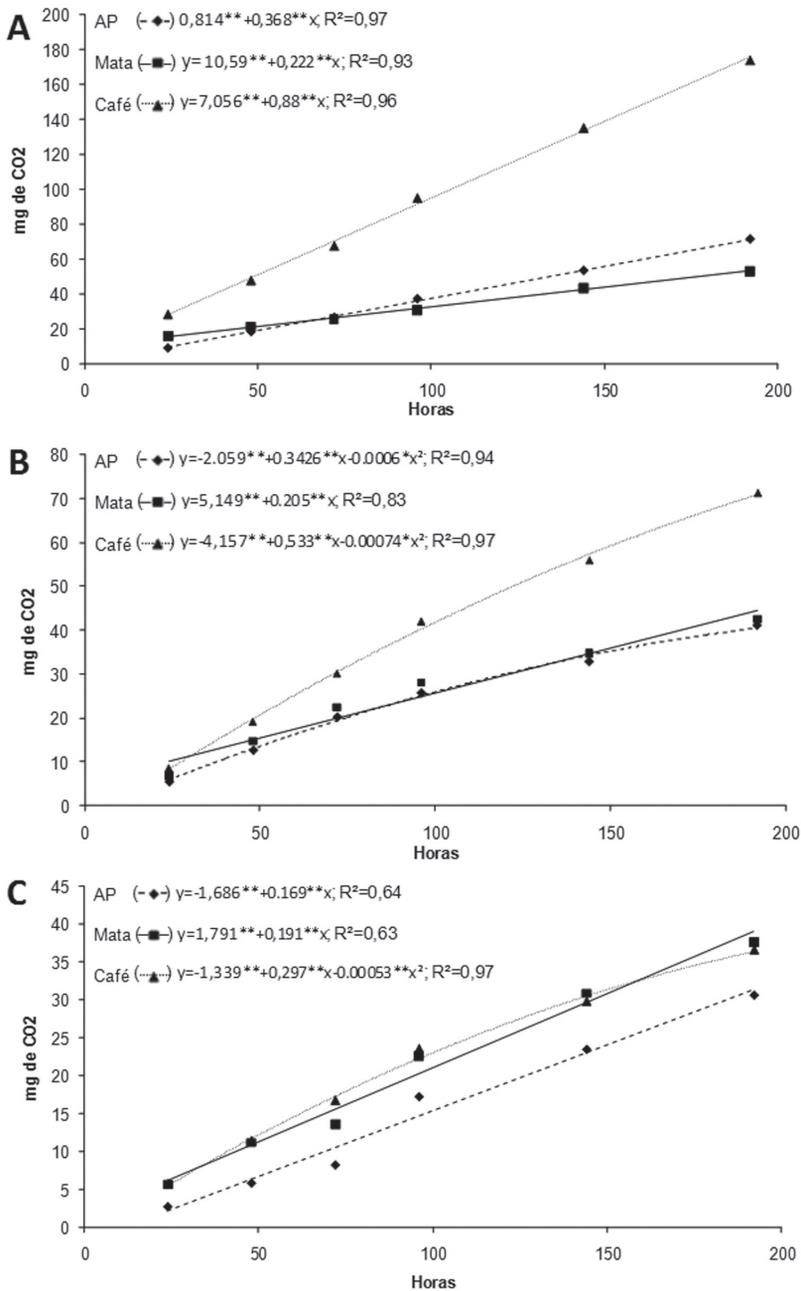


Figura 4. Respiração induzida por celulose em solo proveniente de área de produção de culturas anuais (AP), mata secundária proveniente de regeneração natural (Mata) e de cafezal (*Coffe arabica* var. Oeiras) em consórcio com *Gliciridia sepium* (Café) no município de Rio Pomba/MG. A. Amostras coletadas em 04/12/2010, B. Amostras coletadas em 01/04/2011 e C. Amostras coletadas em 22/07/2011

Os símbolos indicam as médias das observações e as linhas os modelos de regressão ajustados. ** significativo à 1 % de probabilidade pelo teste t. * significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

A respiração do solo induzida por sacarose (RSIS), no solo proveniente da mata, foi inferior em todas as épocas analisadas (Figura 3). A análise da Respiração do Solo Induzida por Substratos de C pode indicar o estado fisiológico de uma determinada população microbiana (WARDLE, 1994). O aumento rápido na respiração da comunidade pode ser o primeiro sinal de estresse, já que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular. Portanto, durante um estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO₂ (ODUM, 1985). Assim, este resultado indica que a microbiota presente no solo da mata apresenta menos estresse quando comparado às demais áreas analisadas.

Adicionalmente, observou-se que as curvas ajustadas para a RSIS para solos provenientes da mata eram quadráticas, seguindo o modelo $Y = \beta + \beta_1x + \beta_2x^2$ (Figura 3). O β_2 nas equações ajustadas para o solo da mata foi menor que o ajustado para os outros solos, independentemente da época. As curvas ajustadas para RSIS, nos solos provenientes do cafezal e da área de culturas anuais, apresentaram comportamentos semelhantes em todas as épocas analisadas.

Estes resultados reafirmam o equilíbrio fisiológico da microbiota edáfica presente na área da mata, uma vez que as curvas de incremento da respiração são mais lentas e paulatinas quando comparadas às outras áreas (WARDLE, 1994). A microbiota do solo proveniente das demais áreas pode ser classificada como “perturbada”, por apresentar resposta respiratória mais acentuada à glicose, uma vez que, a população microbiana nesta área apresentava-se inibida pelas limitações ambientais (WARDLE, 1994). A condição de estresse intenso, caracterizado pela resposta muito reduzida ao acréscimo de sacarose, não foi observada em nenhum dos solos em questão (WARDLE, 1994).

O fato de o β_2 ajustado para os solos provenientes da mata ter sido menor é de extrema relevância, visto que indica que a respiração da população microbiana destas amostras altera-se mais lentamente frente a uma modificação ambiental (Figura 3). A menor alteração nos níveis de respiração está associada ao fato de que os microrganismos necessitaram de menores modificações metabólicas para utilizar os novos recursos disponíveis no ambiente. A maior diversidade microbiana, associada ao suprimento contínuo de matéria orgânica, torna a população da mata fisiologicamente capaz de utilizar, com maior eficiência, a sacarose disponibilizada no experimento. Esta afirmação é corroborada pelo incremento mais lento, porém contínuo e crescente, da respiração neste tratamento.

A respiração do solo induzida por celulose (RSIC), nas duas primeiras épocas de coleta, apresentaram padrões semelhantes com a mata e a área de plantio de culturas anuais, apresentando níveis semelhantes de respiração (Figura 4). Nestas duas épocas, a respiração do solo do cafezal foi mais elevada que a do solo proveniente das outras áreas. Na terceira época de coleta, houve grande semelhança nas taxas de respiração observadas

para as três áreas. No entanto, maior semelhança nos resultados de RSIC foi verificada para as amostras da mata e do cafezal, sendo que a amostra de solo proveniente da área cultivada apresentou níveis inferiores.

Considerando a resposta a todos os substratos conjuntamente, observou-se que a microbiota do solo da mata é fisiologicamente mais equilibrada, seguida pela microbiota do cafezal (Figuras 2, 3 e 4). A resposta à sacarose foi o principal responsável por indicar o estado de equilíbrio e de eficiência da microbiota da mata em utilizar os recursos ambientais. Este resultado indicou que os baixos níveis de respiração nas demais análises deviam-se à adaptação da microbiota da mata ao ambiente e à sua maior resistência a alterações ambientais. Para o cafezal, detectou-se o estado de perturbação pela resposta à sacarose, porém, os níveis superiores observados para a respiração basal e para respiração induzida por celulose indicam que sua microbiota é mais ativa quando comparada à microbiota da área de culturas anuais. Esta última observação é atribuída a um ambiente de cultivo mais diversificado, ao acréscimo de material orgânico e à menor intervenção antrópica, quando comparados o cafezal e a área de culturas anuais. A área de culturas anuais, além de apresentar os menores níveis de respiração basal e de respiração induzida por celulose, apresentou as maiores respostas à sacarose indicando a menor qualidade biológica deste solo.

Conclusões

Conclui-se que a mata apresenta maior qualidade biológica do solo, seguida pelo solo do cafezal e, finalmente, pelo solo da área de culturas anuais. Também se pode afirmar que é possível avaliar o efeito de modificações no sistema de cultivo na microbiota do solo, pela análise da respiração basal em conjunto com a respiração induzida por compostos de carbono. Dada a importância da microbiota do solo, em sistemas agroecológicos de produção, esta análise poderá ser utilizada para a avaliação de práticas de cultivo, com vistas a identificar as mais sustentáveis e adaptadas localmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do IF Sudeste MG – Apoio a Grupos de Pesquisa, FAPEMIG, CNPq e MEC-SETEC apoio a Grupos de Estudo em Agroecologia.

Referências

ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. 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: Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships*. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 551 - 575.

ALEF, K. Nitrogen mineralization in soils. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995. p.234-245.

ALVAREZ, R.; DIAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research*, v. 33, p. 17-28, 1995.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biology and Fertility of Soils*, v. 1, p. 81-89, 1985.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Eds.). *Sustainable management of soil organic*. Wallingford: CAB International, 2001. p. 9-22.

CARTER, M.R.; STEWART, B.A. *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Press, 1996. 472p.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). *Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2005. p. 17-28.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124.

DORAN, J.L.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STAWART, B.A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.765-771, 1980.

KIMPE, C.R.; WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. *Advances in Geoecology*, v.31, p.3-10, 1998.

MASON, C. F. *Decomposição*. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p. 425-433, 2003.

ODUM, E, P. Trends expected in stressed ecosystems. *BioScience*, v. 35, p. 419-422, 1985.

POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct drilled soil. *Journal of Agricultural Science*, v. 97, p. 713-721, 1981.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491p.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. *Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99)

SPARLING, G.P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE B. M.; GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). *Biological indicators of soil health*. Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

TRASAR-CÉPEDA, C.; LEIRÓS, C. GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biology and Fertility of Soils*, n. 26, p.100-106, 1998.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 35-42, 2000.

WARDLE, D.A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M., ARAÚJO, R.S. (Eds.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. 542p.

ZIBILSKÉ, L.M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P.J. (Eds.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 836-864.

Artigo recebido em: 31 jul. 2012

Aceito para publicação em: 26 set. 2012