

Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono na biomassa microbiana em sistemas orgânicos de produção

Influence of land use on the conservation of carbon by microbial biomass in organic production systems

LOUREIRO, Diego Campana¹; POLLI, Helvécio de²; AQUINO, Adriana Maria de²; SÁ, Mariana Médice Firme³, GUERRA, José Guilherme Marinho²

¹Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão – SE, Brasil, campanaloureiro@gmail.com; ²Embrapa Agrobiologia, Seropédica – RJ, Brasil, depollih@gmail.com; adriana@cnpab.embrapa.br; gmguerra@cnpab.embrapa.br; ³Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Brasil, mariana_medice@hotmail.com

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso do solo sobre frações de C lábeis e C da biomassa microbiana do solo (C-BMS) de um sistema integrado de produção agroecológica. Foram estudadas três lavouras sob cultivo orgânico de hortaliças (cultivo intensivo, cultivo mínimo e cultivo rotacionado), três pastagens, três remanescentes florestais e três áreas degradadas. A pastagem apresentou o maior teor de carbono da biomassa microbiana do solo (384 mg C kg⁻¹ solo), cerca de 60% acima dos valores observados nos remanescentes florestais. O quociente metabólico (qCO_2) indicou alta atividade metabólica da biomassa microbiana do solo (BMS) nas áreas manejadas com culturas agrícolas, com teores de C-BMS variando entre 120 a 200 mg C kg⁻¹ solo e com redução média de 30% no teor de C-BMS em relação aos remanescentes florestais. As maiores perdas de C-BMS ocorrem no sistema de cultivo intensivo de hortaliças, devido ao uso frequente de aração e gradagem, alertando para a procura de sistemas de manejo que minimizem o revolvimento do solo e priorizem a manutenção da cobertura vegetal.

PALAVRAS-CHAVES: Quociente metabólico, quociente microbiano e análise de componentes principais.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the influence of land use in microbial biomass and labile soil in the integrated agroecological production. We studied different crop areas under organic cultivation of vegetables (intensive cultivation, minimum tillage and crop rotation), three pastures, three forest remnants and three degraded. The pasture had the highest carbon content of soil microbial biomass (384 mg C kg⁻¹ solo), about 60% above the level seen in the forest remnants. The metabolic quotient indicated a high metabolic activity of microbial biomass soil (BMS) in managed areas with agricultural crops, with value varying from 120 to 200 mg C kg⁻¹ soil and with an average reduction of 30% in the C-BMS content in relation to forest remnants. Major losses of C-BMS occur in under intensive cultivation of vegetables, due to the frequent use of plow and harrow, prompting the search for management systems that minimize soil disturbance and prioritize the maintenance of vegetation cover.

KEY WORDS: metabolic quotient, microbial quotient and principal component analysis.

Introdução

Atualmente os sistemas de produção agrícola buscam práticas de manejo que priorizem a manutenção da matéria orgânica do solo (MOS) (COSTA et al., 2008; SERAFIM, et al., 2011). Alguns sistemas de uso e manejo do solo, como o sistema de cultivo mínimo, o plantio direto, o reflorestamento, o manejo adequado das pastagens, que priorizam entre outros a matéria orgânica na superfície do solo e reduzida ação por implementos agrícolas, podem favorecer consideravelmente os estoques de C (CARVALHO et al., 2010). De acordo com Lal (2004), sistemas conservacionistas podem acumular valores de 30 a 60 Kg de C num período de 25 a 50 anos de cultivo e com isso atenuar a emissão de gases de efeito estufa.

Em contraste, práticas agrícolas intensivas com preparo de solo que envolve ações de revolvimento do solo do tipo aração e/ou gradagem diminuem o estoque de carbono orgânico no solo (HERNANI et al., 1999). Kaschuk et al. (2011) apontam para o fato de que a introdução de práticas agrícolas nos biomas do Brasil anteriormente com vegetação natural, afetou o conteúdo de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), com uma redução de 31%. Acredita-se que uma das grandes oportunidades para a agricultura esteja na recuperação dos teores de matéria orgânica de solos anteriormente cultivados sob preparo convencional (LAL et al., 1995).

A Matéria orgânica do solo (MOS) compreende resíduos vegetais, animais e microbianos em vários estágios de decomposição e uma diversidade de substâncias orgânicas intimamente associadas aos componentes inorgânicos do solo (CHRISTENSEN, 1992). Em função do grau de associação com a matriz do solo, a MOS pode estar livre ou associada à partículas de solo (CHRISTENSEN, 1996). A MOS livre pode estar na superfície ou em agregados ou pode estar oclusa, dentro dos agregados e pouco acessível aos microrganismos (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Com base na suscetibilidade diferenciada das frações orgânicas à decomposição microbiana, a MOS também pode ser dividida em compartimentos lábeis e estáveis. Esta classificação permite um melhor entendimento da dinâmica da MOS (SILVA & RESCK, 1997). Os constituintes lábeis da MOS incluem serrapilheira, fração leve da MOS, substâncias não-humificadas, formas de C solúveis, C associado aos macrorganismos e a biomassa microbiana do solo (BMS). Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008) destacaram a BMS como compartimento central do ciclo do C, considerável reservatório de nutrientes nos solos e

atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes.

A biomassa microbiana total do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas (N, P, S, Zn e Cu) (GRISI & GRAY, 1986), pois pertence ao componente lábil da matéria orgânica do solo, e possui atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas, o que permite que o seu acompanhamento reflita possíveis modificações no solo, podendo ser considerada como uma boa indicadora das alterações resultantes do manejo do solo (SPARLING & ROSS, 1993). Assim, indicadores microbianos como biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente microbiológico podem revelar alterações na qualidade e na propriedade biológica do solo (BAUHUS et al., 1993), sendo úteis na avaliação dos sistemas de manejo e na conservação do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações lábeis do C orgânico do solo como ferramenta para monitoramento dos diferentes usos e manejos do solo de uma unidade de produção agroecológica.

Material e métodos

Área de estudo

O experimento foi conduzido em um Argissolo Vermelho-Amarelo no Sistema Integrado de Produção Agroecológica-SIPA, denominado "Fazendinha Agroecológica km 47". O SIPA possui uma área de 59 ha e está localizado em Seropédica, Estado do Rio de Janeiro (22° 45'S e 43° 41'W; altitude de 33 m). O clima na classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical com verões úmidos e invernos secos (NEVES et al., 2005). A temperatura média anual é de 23,5 °C e precipitação média anual de 1.275 mm, sendo os meses de julho e agosto os mais secos.

O SIPA é conduzido em parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), através do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio de Janeiro (Pesagro). Este sistema de produção representa um espaço destinado ao exercício da agroecologia, com um histórico de 15 anos desenvolvendo experimentos que visam à manutenção da MOS. Todos os sistemas de cultivo no SIPA seguem as normas legislativas de agricultura orgânica estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

Amostragem e caracterização da área

As amostras de solo foram coletadas na estação chuvosa (dezembro de 2009), em três áreas sob diferentes sistemas de cultivo orgânico de hortaliças, três áreas de pastagens, três áreas de remanescentes florestais da Mata Atlântica e três áreas degradadas. Em cada área foram coletadas três repetições. Abaixo segue a descrição detalhada das áreas:

Sistemas de cultivo orgânico de hortaliças: são caracterizados pela semeadura de outono-inverno e rotação com milho e arroz na primavera-verão, com uso de Poaceae e/ou Fabaceae como adubo verde. Junto com a adubação orgânica de pré-cultivo com esterco bovino e adubação orgânica de cobertura com torta de mamona, cultivos irrigados (período seco do ano), capina manual com enxada e uso de defensivos alternativos (caldas bordalesa e sulfocálcica). Especificamente, três sistemas de cultivo orgânico de hortaliças foram avaliados, sendo eles:

Sistema I (CI): cultivo intensivo e diversificado de hortaliças, com predomínio de folhosas (alface, chicória, espinafre, rúcula, condimentares – gengibre e manjeriço, salsa, coentro e cebolinha) e algumas espécies tuberosas (cenoura, beterraba) e (pepino e vagem anã-arbustiva). A área é mecanicamente preparada com misturador e enxada rotativa, com re-encanteiramento e plantios sucessivos até o início do verão. Durante a época quente, a área é cultivada com milho para colheita de espigas verdes em consórcio com espécies de Fabaceae (mucuna/crotalária) para adubação verde.

Sistema II (CM): Cultivo mínimo de pimentão, com preparo mecanizado do solo apenas na linha de plantio, mantendo-se as entrelinhas permanentemente cobertas com a vegetação espontânea, predominando o capim coloninho (*Panicum maximum*), periodicamente roçado. Em seguida à colheita do pimentão, a área é mantida com leguminosas para adubo verde, até o período de hortaliças no ano seguinte.

Sistema III (CR): cultivo rotacionado de batatinha (*Solanum tuberosum*), sendo que após preparo mecanizado do solo (aração e gradagem convencionais), a área é cultivada com milho e leguminosas para adubo verde. Após a colheita dos grãos, o solo é novamente preparado com encanteirador. Em sequência imediata, a batatinha é plantada e a lavoura manejada por meio de capina e amontoa antecedendo a tuberação.

Pastagens (PAS): três áreas de pastagem com grama-batatais (*Paspalum notatum*), localizadas em áreas de baixadas e encostas próximas ao remanescente florestal da Mata Atlântica.

Remanescentes florestais da Mata Atlântica (RMF): três áreas de regeneração natural de Floresta Ombrófila Densa em estágio de capoeira, localizadas no SIPA e redondezas.

Áreas degradadas (ADR): três áreas degradadas pelo uso intensivo do solo, apresentando solo exposto, ou seja, sem cobertura vegetal nos pontos amostrados, localizadas em um raio de 500 m fora do SIPA.

Em cada sistema de uso do solo foram coletadas três amostras compostas na profundidade de 0-10 cm. Cada amostra composta foi oriunda de seis subamostras. Foi utilizado método da terra fina seca ao ar (TFSA) para realização de análises químicas, físicas e frações lábeis da matéria orgânica do solo.

Análises laboratoriais

O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C-BMS e N-BMS) foram determinados por meio do método da fumigação extração, proposto por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). Com o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana foi calculada a relação C/N microbiana (C/N mic). A respiração microbiana do solo (RBS) foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Jenkinson & Powlson (1976), mediante a quantificação da evolução de CO₂. A respiração específica ou coeficiente metabólico (qCO₂) foi determinado de acordo com Anderson & Domsch (1990). A relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total do solo (C-BMS/COT), denominada quociente microbiano, e a relação entre o nitrogênio microbiano e o nitrogênio total (N-BMS/NT), foram de acordo com Sparling (1992).

O carbono e o nitrogênio lábeis do solo (solúveis em água) foram determinados por meio do método de extração a quente em autoclave a 100°C durante 1 hora, sendo a relação solo: extrator (água) 1:4, segundo Sparling et al. (1998) e Baker et al. (1998). Após a extração foi realizada filtragem rápida do material em papel filtro de 28 µm. Após o resfriamento, procedeu-se com a quantificação do carbono lábil pelo método Walkley & Black (1934) modificado segundo Tedesco et al. (1995), sem aquecimento externo em chapa, e o nitrogênio lábil por destilação de arraste de vapor (Kjeldahl), seguida de volumetria de neutralização ácido-base empregando ácido sulfúrico como titulante (ALVES et al., 1994).

A quantidade das frações leves da matéria orgânica do solo foi obtida pelo procedimento proposto por Sohi et al. (2001), seguindo adaptações segundo Pinheiro (2004). Esta fração foi extraída do solo por meio de uma solução de NaI a uma densidade de 1,80 g cm⁻³ (±

0,02), conforme sugerido por Janzen et al. (1992). Foram pesados 5 g de TFSA em frascos de centrífuga de 50 ml, sendo adicionados 35 ml de iodeto de sódio. Os frascos foram agitados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas ficassem na superfície da solução. A fração orgânica sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI, e imediatamente, separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A), previamente pesados. A fração orgânica juntamente com o filtro foi seca a 65° e pesada. Após a remoção da fração leve livre (FLL), foi extraída a fração leve intra-agregado (FLI) ou oclusa, aplicando vibração com o emprego de ultra-som (modelo 250/450 Sonifier) por 3 min com pulsações de intervalo de um segundo, a uma energia de 400 J mL⁻¹ na solução de NaI. Após o tratamento com ultra-som, as amostras foram novamente centrifugadas a 18.000 rpm por 15 min, sendo FLI coletada em filtros, seca e pesada.

A análise granulométrica, a umidade atual (Ug) e a quantificação do Ca, Mg, P, K e Al foi realizada de acordo com Embrapa (1997). O carbono total do solo foi determinado segundo Walkley & Black (1934). O nitrogênio total foi determinado segundo Bremner & Mulvaney (1982). Os resultados das análises químicas e físicas do solo são apresentados na Tabela 1.

Análise estatística descritiva e multivariada

Foi feita análise estatística descritiva e de correlação de Pearson com auxílio do *software* XLSTAT 7.5 (ADINSOFT, 2004). Foi realizada análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott (p >

0,05) com *software* SISVAR (FERREIRA, 2011). As análises multivariadas de componentes principais (ACP'S) foram realizadas utilizando o *software* ADE-4 (THIOULOUSE et al., 1997). As ACP'S foram com as variáveis lábeis do solo (C-BMS, N-BMS, RBS, C-BMS/CO, N-BMS/NT, qCO₂, Clab, Nlab, FLL e FLI) e com as variáveis químicas e granulométricas do solo. Através da análise de coinércia foi determinada a distribuição dos diferentes sistemas de uso do solo em relação às variáveis lábeis e às variáveis químicas e granulométricas do solo, sendo a significância estatística dos agrupamentos avaliada pelo teste de permutação de Monte Carlo (TER BRAAK, 1995).

Resultado e discussão

Os valores médios das frações lábeis do C orgânico do solo estão apresentados na Tabela 1. As áreas de pastagens apresentaram o maior acúmulo de C-BMS, com 384 mg C kg⁻¹ solo, 60 % a mais dos valores observados nos remanescentes florestais da Mata Atlântica (RMF). O quociente microbiano (C-BMS/CO) indicou que 2 % do C orgânico total do solo está estocado na BMS de pastagem (Tabela 1), devido ao intenso desenvolvimento e ciclagem do sistema radicular das gramíneas forrageiras na camada superior do solo, região de maior exsudação radicular e favorecimento no desenvolvimento de microrganismos (SOUZA et al., 2010). Carneiro et al. (2008) verificaram um aumento de 50% no valor de C-BMS em área de pastagem em relação ao cerrado nativo, o que foi atribuído ao sistema radicular fasciculado da gramínea, que se concentra nos primeiros 10 cm de profundidade e resulta em maior entrada de carbono no solo via rizosfera e renovação do sistema radicular que atua na

Tabela 1: Frações lábeis do C orgânico na biomassa microbiana nos diferentes sistemas de uso do solo (Seropédica, RJ).

Sistema de uso	BMS-C mg C kg ⁻¹ solo	Clab	BMS-N mg N kg ⁻¹ solo	Nlab	CN _{mic}	CM:CO %	NM:NT mgC-
CI	121 (±6)	617 (±25)	19 (±7)	142 (±6)	9 (±3)	0,6 (±0)	3 (±1)
CM	180 (±9)	743 (±59)	42 (±0,5)	169 (±17)	4 (±0,2)	0,9 (±0)	6 (±0,5)
CR	199 (±26)	682 (±64)	40 (±3,6)	171 (±11)	5 (±1)	1,0 (±0,1)	5 (±0,7)
PAS	384 (±19)	984 (±55)	45 (±4)	174 (±13)	9 (±0,9)	2,1 (±0,2)	6 (±0,6)
RMF	240 (±13)	1417 (±60)	26 (±2)	273 (±11)	10 (±1)	1,1 (±0,1)	3 (±0,3)
ADR	83 (±17)	294 (±73)	11 (±3)	31 (±7)	7 (±2)	1,1 (±0,2)	2,2 (±0,5)

¹CI: cultivo intensivo de hortaliças; CM: cultivo mínimo de pimentão; CR: cultivo rotacionado de batatinha; PAS: áreas de pastagens; RMF: áreas de regeneração natural de floresta; ADR: áreas degradadas. ²Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade.

ativação da microbiota do solo.

Ao lado do cultivo mínimo (CM), a pastagem apresentou a maior atividade respiratória da BMS, com valor em torno de 1 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹. O valor de qCO₂ de 3 mg C-CO₂ g⁻¹ C-BMS h⁻¹ na pastagem não diferiu significativamente do remanescente florestal (RMF), indicativo de sistema eficiente na utilização de carbono pela BMS. Carneiro et al. (2008) confirmaram a maior atividade microbiana em ambientes de pastagens não degradadas.

Apesar do contínuo aporte de material orgânico na área de lavoura sob cultivo intensivo (CI), as práticas agrícolas de aração e gradagem, com constante quebra dos agregados do solo e exposição às altas temperaturas, promovem um ambiente menos eficiente no uso de carbono pela BMS causando redução de aproximadamente 50% do C-BMS em relação ao remanescente florestal (Tabela 1).

Ao comparar os cultivos orgânicos de hortaliças, observa-se que os menores teores de C-BMS, N-BMS, N-BMS/NT e FLL foram encontrados no sistema de cultivo intensivo (CI), reforçando que o frequente revolvimento do solo, leva a baixa eficiência metabólica de uso do C e N pela BMS (Tabela 1). Silva et al. (2010), observaram que o preparo intensivo do solo resulta numa diminuição dos teores de C-BMS e do quociente microbiano (C-BMS/CO).

Cunha et al. (2011) afirmam que o uso agrícola altera o conteúdo de C-BMS, ocorrendo normalmente redução acentuada quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento do solo e sistemas com baixa adição de resíduos vegetais. Isto demonstra como a influência do sistema de preparo do solo altera o compartimento biológico e lábil do solo, alertando para a procura de sistemas com práticas agrícolas menos intensivas e que expõem menos o solo, mantendo por um período mais longo a cobertura vegetal.

Nota-se que as áreas sob cultivo agrícola apresentaram redução na quantidade da fração leve livre (FLL) da MOS quando comparadas com os remanescentes florestais, com menor peso de FLL no sistema de cultivo intensivo (CI) equiparável às áreas sem cobertura vegetal. Souza et al. (2006) justificam que a maior quantidade de fração leve na floresta pode ser explicada pela elevada entrada de resíduos orgânicos e pela ausência de intervenções antrópicas, o que pode diminuir a taxa de decomposição da FLL. A FLL mostrou-se mais sensível do que a fração leve intra-agregado (FLI) na distinção dos sistemas de uso e cobertura do solo, podendo a FLL indicar alterações nos agroecossistemas, corroborando com Souza et al.

(2006). A FLL é mais dinâmica no solo, devido à ausência de proteção física e interações químicas que culminam na formação de compostos organo-minerais (estáveis) no solo (PINHEIRO et al., 2004).

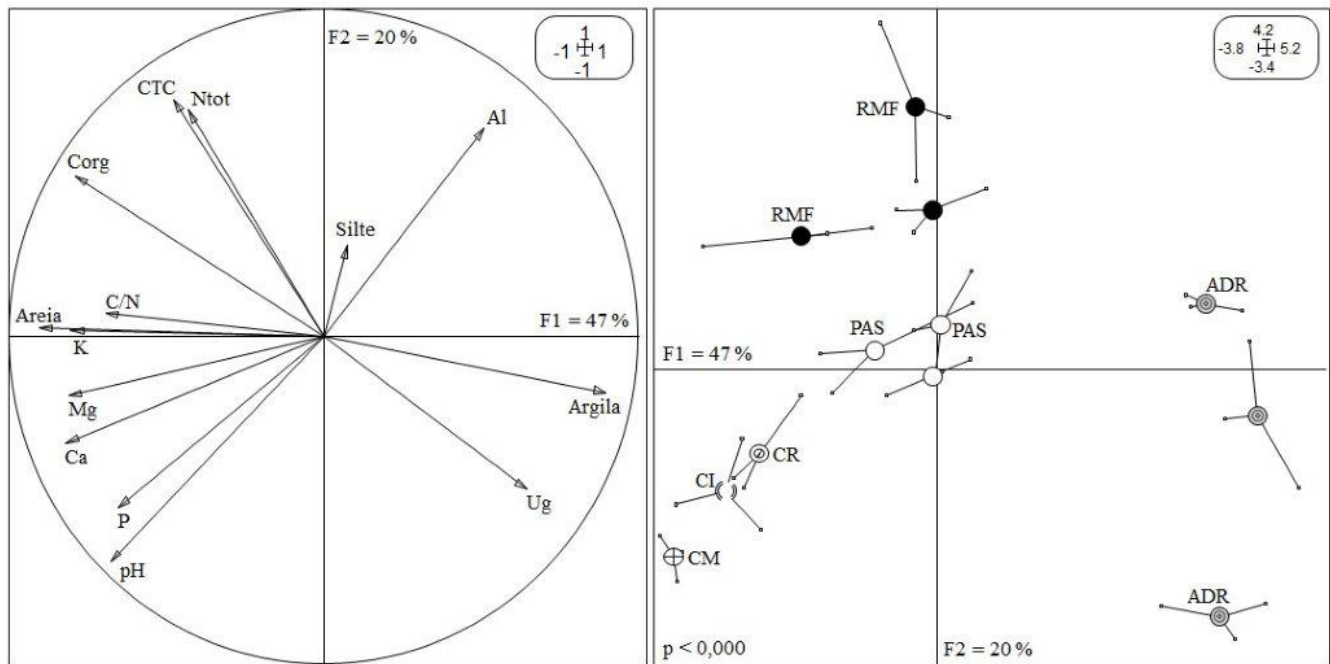
Os teores de C e N solúveis em água (Clab e Nlab) variaram de acordo com o uso e a cobertura vegetal do solo, com maiores valores sob Remanescentes florestais da Mata Atlântica (Tabela 1). Miranda et al. (2006) e Pessoa et al. (2012) estudando o C solúvel sob diferentes usos do solo, também observaram maiores teores na mata natural. As áreas com pastagens, lavouras e solos sem vegetação apresentaram redução de aproximadamente 30, 50 e 80 %, respectivamente, no teor de Clab, quando comparadas aos remanescentes florestais da Mata Atlântica, comprovando que a alteração da vegetação natural acarreta redução no carbono solúvel, cuja intensidade depende do tipo de uso do solo.

A área degradada, devido à baixa disponibilidade de substrato para uso pela BMS, limitou a sua atividade respiratória (Tabela 1). Miranda et al. (2006) indicaram haver associação estreita entre o C orgânico solúvel e elevação da atividade microbiana. Porém, no presente trabalho, a área de remanescente florestal apresentou altos valores de C solúvel e baixa atividade microbiana, demonstrando que neste ambiente a manutenção de temperaturas mais amenas e manutenção da umidade do solo, favorece a atividade metabólica da BMS. Cattelan & Vidor (1990) observaram os menores valores de BMS em solo descoberto, sendo que nestes, como não ocorria cobertura vegetal, predispôs o solo a variações térmicas e hídricas que limitou a atividade microbiana. Segundo Brookes (1995), a resposta da respiração do solo é dependente, principalmente, da disponibilidade do substrato, umidade e temperatura. Pinheiro et al. (2004) constataram que áreas sem cobertura vegetal, além da ausência de aporte orgânico, estão submetidas de forma mais intensa aos processos erosivos.

Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP)

As Figuras 1a e 1b apresentam a análise de componentes principais (ACP) para as variáveis químicas e físicas do solo e as frações lábeis do C orgânico, respectivamente. Com base nas variáveis físicas e químicas houve clara separação entre as áreas degradadas pelo uso intensivo do solo e as demais áreas em decorrência da baixa concentração de nutrientes. As áreas de floresta e pastagem se relacionaram em função do C orgânico e da CTC. Já as áreas cultivadas, independente do manejo ser

a) Variáveis químicas e físicas



b) Frações lábeis do C orgânico do solo

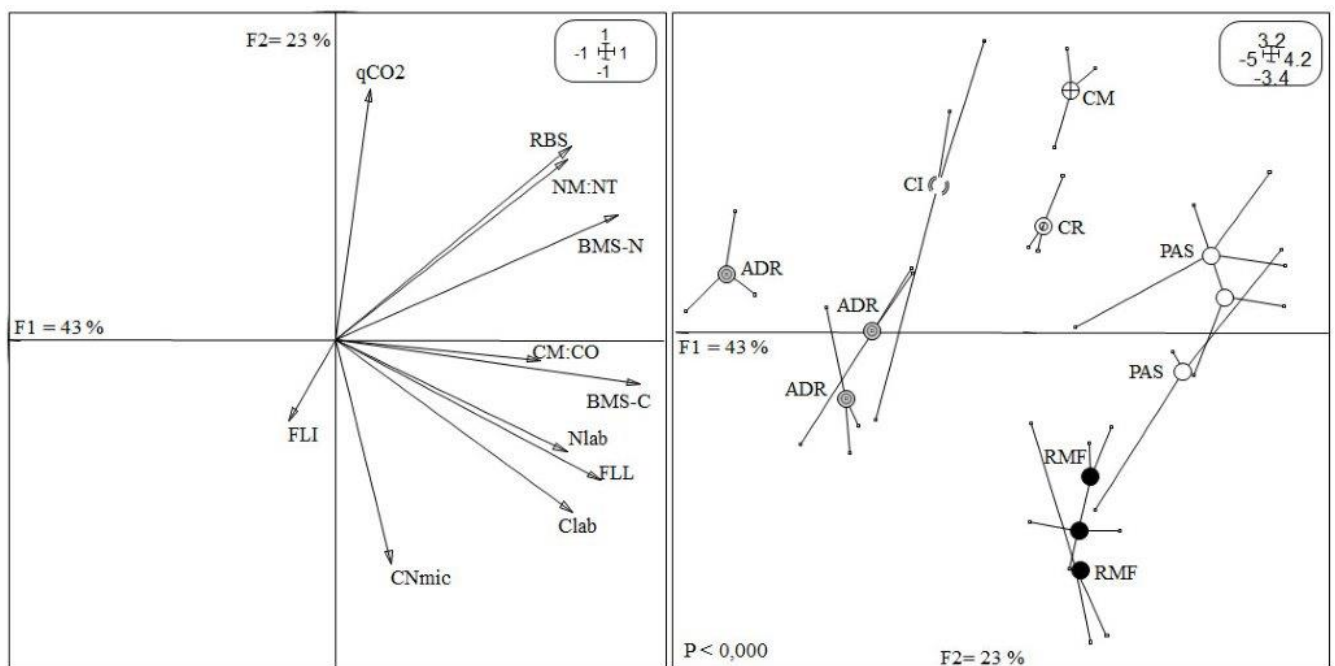


Figura 1. Análise de componentes principais, onde a) refere-se às variáveis químicas e físicas e b) às frações lábeis do C orgânico do solo (CI: cultivo intensivo de hortaliças; CM: cultivo mínimo de pimentão; CR: cultivo rotacionado de culturas; PAS: áreas de pastagens; RMF: áreas de regeneração natural de floresta em estágio de capoeira; ADR: áreas degradadas).

rotacionado, cultivo mínimo ou intensivo, se agruparam pela similaridade relacionada à fertilidade do solo (Figura 1a). Na Figura 1b é possível observar que as frações lábeis do C orgânico foram mais sensíveis para separar os sistemas de cultivo agrícola, distinguindo o sistema de cultivo intensivo (CI) dos cultivos rotacionado (CR) e mínimo (CM). Maluche-Baretta et al. 2006, avaliando técnicas multivariadas para diferenciar

pomares de maçãs nos sistemas de manejo convencional e orgânico, com base em atributos microbiológicos e químicos do solo, identificou o C-BMS como o atributo microbiológico mais importante na separação entre os pomares, seguido do qCO_2 e da relação NBMS:NT.

A análise de coinéncia entre as frações lábeis do C orgânico do solo e as variáveis químicas e físicas do

solo foi significativa, sendo 93 % a explicação da variância total dos dados pelos dois primeiros componentes principais (Figura 2). Pelo teste de permutação de Monte Carlo foi constatado que os atributos mensurados foram altamente significativos ($p < 0,000$) no processo de explicação do agrupamento do conjunto de dados.

A análise de coinéncia separou os diferentes sistemas de uso do solo em três grupos em função da similaridade das variáveis estudadas. O primeiro grupo compreende os remanescentes florestais (RMF) e as pastagens (PAS), evidenciando maior teor de matéria orgânica, conseqüentemente maior CTC, maior biomassa e atividade microbiana do solo. O segundo grupo representado pelas áreas sob cultivos agrícolas (CM, CR e CI), apresentou maior valor de pH e altos teores de Ca e P, devido ao manejo do solo com uso de adubos verdes e composto orgânico (Figura 2).

O qCO_2 das áreas de cultivo agrícola indica baixa eficiência metabólica no uso de carbono pelos microrganismos, independente se o manejo foi mínimo, rotacionado ou intensivo, possivelmente porque nesses

manejos ainda prevaleça o preparo mecanizado do solo. Segundo Six et al. (2000) esse preparo quebra os agregados do solo, o que aumenta a superfície de contato da matéria orgânica à ação dos microrganismos e, conseqüentemente, aumenta a taxa de decomposição da MOS e as emissões de CO_2 para a atmosfera. Alguns estudos comprovam o aumento do qCO_2 em áreas submetidas ao preparo do solo com aração e gradagem (SILVA et al., 2007; CUNHA et al., 2011). O não revolvimento do solo proporciona maior biomassa microbiana do solo e menor perda de C via respiração, podendo contribuir para o aumento de C no solo (BALOTA et al., 1998). Os benefícios desse sistema na produção de grãos e na conservação de C estão bem consolidados por vários autores (SISTI et al., 2004; VENZKE FILHO et al., 2008; SILVA et al., 2010).

Na análise ocorreu a separação das áreas degradadas (ADR) em relação às demais em função do solo mais argiloso, do baixo teor de COT e das frações lábeis do C orgânico (Figura 2), evidenciando a perda do horizonte superficial do solo, o que pode dificultar a recuperação destas áreas sem o manejo adequado.

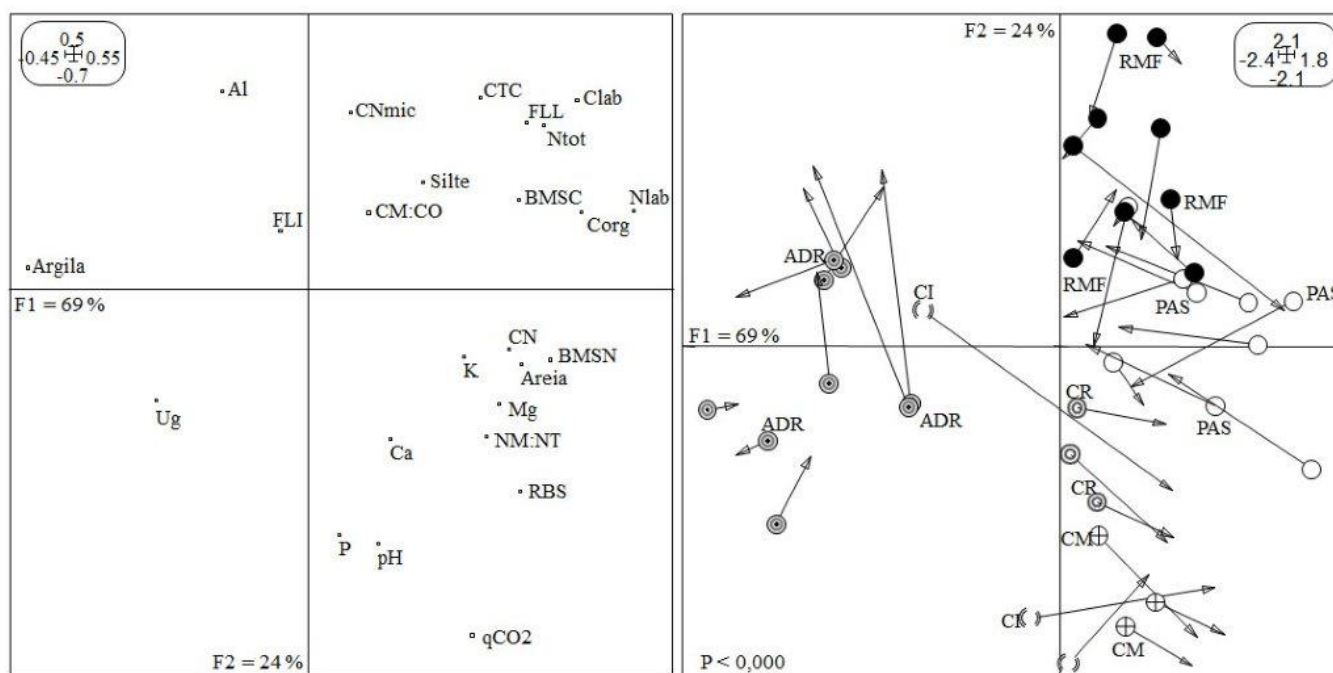


Figura 2: Análise de coinéncia para os diferentes sistemas de uso em função das frações lábeis do C orgânico do solo, das variáveis químicas e físicas do solo. (CI cultivo intensivo de hortaliças; CM cultivo mínimo de pimentão; cultivo rotacionado de batatinha; PAS à áreas de pastagens; RMF à áreas de regeneração natural de floresta em estágio de capoeira; ADR à áreas sem cobertura vegetal fora do SIPA).

Conclusões

Os diferentes sistemas de uso do solo afetam as frações lábeis do C orgânico do solo, mostrando perdas entre 17 a 50 % nos teores de carbono da biomassa microbiana do solo nas áreas sob cultivo agrícola, tendo como referência as áreas de remanescentes florestais da Mata Atlântica. As áreas de pastagens contribuem

para um acúmulo de 60 % de C-BMS a mais que os remanescentes florestais da Mata Atlântica, além de uma atividade da biomassa microbiana cerca de 2,7 vezes maior, o que pode ser atribuído ao sistema radicular bem desenvolvido na camada superficial do solo.

Dentre os sistemas de manejo agrícola, perdas em

torno de 50 % de C-BMS ocorrem em áreas com culturas de ciclo curto e com uso intensivo das práticas de aração e gradagem, alertando para a substituição gradual de práticas convencionais por agroecológicas que minimizem o revolvimento do solo e priorizem a manutenção da cobertura vegetal.

Agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, EMBRAPA-Agrobiologia, CNPq, CAPES e FAPERJ (Bolsa Nota 10) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- ADINSOFT. XLSTAT-PLS 1.8. **Statistical software to MS Excel**. 2004.
- ALVES, B. et al. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 449-469. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients (q_{CO_2} and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.
- BAKER, A.D. et al. **Inconsistence in methods for measuring bioavailable carbon and microbial biomass in soil from the NRCS wet soil monitoring project, An International Workshop on Assessment Methods for soil C Pools**. Ohio Univ./USDA, Abstract and Program. p.11, 1998.
- BALOTA, E. L. et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-650, 1998.
- BRASIL (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento). Legislação para os sistemas orgânicos de produção. SINAGRI – **Biblioteca Nacional de Agricultura**. Brasília, 2009. 195p.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L., ed. **Methods of soil analysis**. Part 2. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.595-624.
- BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.
- BAUHUS, J. et al. The effect of fire on carbon and nitrogen mineralization and nitrification in an Australian forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 31, p. 621-639, 1993.
- CARNEIRO, M.A.C. et al. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.276-283, 2008.
- CARVALHO, J.L.N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.277-289, 2010.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p. 133-142, 1990.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advanced Soil Science**, v.20, p1–90, 1992.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primay and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. EDS. **Structure and organic matter in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, p.97-165. 1996.
- COSTA, F.S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.
- CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611, 2011.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 Edição. **Revista atual**. Rio de Janeiro, 212 p. 1997.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GAMA-RODRIGUES, A.C. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.159-170.
- GRISI, B.M. & GRAY, T.R.G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, p.109-115, 1986.
- HERNANI, L.C. et al. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.145-154, 1999.
- JANZEN, H.H. et al. Lightfraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of**

- America Journal**, v.56, p.1799-1806, 1992.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.
- KASCHUK, G. et al. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v.338, p.467-481, 2011.
- LAL, R. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security**. Science, v.304, p.1623-1627, 2004.
- LAL, R. et al. Word soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & STEWART, B. A., eds. **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton, Advances in Soil Science, CCR Lewis Publishers, 1995. p.1-7.
- MALUCHE-BARETTA, C.R.R. et al. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006.
- MIRANDA, J. et al. composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 633-647, 2006.
- NEVES, M. C. P. et al. Sistema integrado de produção agroecológica ou fazendinha agroecológica do km 47. In.: AQUINO, A. & ASSIS, R. L. (org). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília: EMBRAPA- Informação tecnológica. 2005. 147-172 p.
- PESSOA, P.M.A et al. Frações de carbono orgânico de um Latossolo Húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.97-104, 2012.
- PINHEIRO, E.F.M et al. Aggregation distribution and soil organic matter under diferente tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.79-84, 2004.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.
- SERAFIM, M.E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: Um estudo de caso. **Biosci. J.**, v.27, p.964-977, 2011.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: Vargas, M. T.; Hungria, M. G. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 465-524.
- SILVA, M.B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1755-1761, 2007.
- SILVA, R.R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1585-1592, 2010.
- SISTI, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.
- SIX, J. et al. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregatesize classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.681-689, 2000.
- SOHI, S. et al. Procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1121-1128, 2001.
- SOUZA, E.D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:79-88, 2010.
- SOUZA, E.D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.
- SPARLING, G.P. et al. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1472-1479, 1998.
- SPARLING, G.P.; ROSS, D.J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: current development and applications. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Willey- Sayce, 1993. p.21-37.
- SPARLING, G.P. Ratio of biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.
- TATE, K. R. et al. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.329-335, 1988.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1995. 174 p.

- TER BRAAK, C.J.F. Ordination. In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F.; TONGEREN, O.F.R. van (Ed.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p.91-173.
- THIOULOUSE, J. et al. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. **Statistics and Computing**, v.7, p.75-83, 1997.
- VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, p.703-707, 1987.
- VENZKE FILHO, S.P. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de campos gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.599-610, 2008.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.