

QUALIDADE DA CAMADA SUPERFICIAL DE SOLO SOB MATA, PASTAGENS E ÁREAS CULTIVADAS¹

Adriano Jakelaitis², Antonio Alberto da Silva³,
José Barbosa dos Santos⁴, Rafael Vivian⁵

ABSTRACT

QUALITY OF SOIL SURFACE LAYER UNDER FOREST,
PASTURE AND CROPPED AREAS

This study aimed to quantify physical, chemical, and biological characteristics of soil and to evaluate the quality of a red-yellow Argissol under natural vegetation and cultivated for pastures and crops. Soil samples (0-10 cm depth) were collected in the following environments: forest (I); pasture of *Brachiaria brizantha* established through maize intercropping (II); pasture of *B. brizantha* with ten years of use (III); maize monocropping under no-tillage system (IV); and pasture of *B. brizantha*, established after soybean monocropping under no-tillage system (V). The following traits were measured: physical (soil density, total porosity, geometric average aggregate diameter, gravimetric moisture, texture, water retention capacity, and flocculation level); chemical (pH in water, available P and K, residual P, Ca, Mg and Al, H+Al, organic carbon, base sum and saturation, CTC, Zn, and Cu); microbiological (microbial biomass carbon, basal respiration, microbial and metabolic quotient, and acid and alkaline phosphatase enzymes activity, and β -glucosidase). In comparison with the reference system (I), the soil quality rank for the environments was V, II, IV and III (lowest quality for the exclusive pasture). Therefore, in environments with crop-livestock integration, the edaphic environment quality was better than in monocrops. According to the management process used, it was possible to bring soil quality near to the reference environment.

KEY-WORDS: Crop-livestock integration; no-tillage; corn; soybean; sustainability.

INTRODUÇÃO

Entre as ações antrópicas negativas sobre o meio ambiente, a degradação do solo constitui uma das mais preocupantes, visto que tem afetado, diretamente, a vida do homem. A principal causa da degradação resulta do mau uso do solo, tendo como consequência a redução da matéria orgânica e, por

RESUMO

Nesta pesquisa objetivou-se quantificar características físicas, químicas e biológicas, bem como a qualidade de um Argissolo vermelho-amarelo com vegetação natural e cultivado com pastagens e culturas. Foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0 a 10 cm, nos seguintes ambientes: mata nativa (I); pastagem de *Brachiaria brizantha*, formada pelo consórcio com milho (II); pastagem de *B. brizantha* com dez anos de uso (III); área cultivada com milho em plantio direto (IV); e área de pastagem de *B. brizantha*, formada após o cultivo de soja em plantio direto (V). As seguintes características foram avaliadas: físicas (densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio geométrico de agregados, umidade gravimétrica, textura, capacidade de retenção de água e o grau de floculação); químicas (pH em água, P e K disponíveis, P-remanescente, Ca, Mg e Al, H+Al, carbono orgânico, soma e saturação por bases, CTC, Zn e Cu); e microbiológicas (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente microbiano e metabólico e atividade das enzimas fosfatases ácida e alcalina e β -glicosidase). Comparado ao sistema de referência (I), o ordenamento dos ambientes para a qualidade de solo foi V, II, IV e III, sendo a pastagem exclusiva o ambiente de pior qualidade. Logo, onde houve interação entre agricultura e cultivo forrageiro, a qualidade do ambiente edáfico foi superior ao de monocultivo, quer seja com milho ou pastagem exclusiva. E, conforme o manejo, essa qualidade pode se aproximar do ambiente de referência.

PALAVRAS-CHAVE: Integração lavoura-pecuária; plantio direto; milho; soja; sustentabilidade.

consequente, alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

O solo constitui o principal componente relacionado à produção agropecuária. Dessa forma, a conservação, ou a melhoria de sua qualidade, é essencial para a sustentação da atividade produtiva. Em ecossistemas naturais, a qualidade edáfica tem sido proposta com o objetivo de se obter um valor

1. Pesquisa desenvolvida na Universidade Federal de Viçosa (UFV), como parte de estágio pós-doutoral do primeiro autor. Trabalho recebido em out./2006 e aceito para publicação em jun./2008 (nº registro: PAT 712).

2. Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Av. Norte-Sul, 7300, Bairro Nova Morada, Rolim de Moura, RO, CEP 78987-000. E-mail: ajakelaitis@unir.br; ajakelaitis@yahoo.com.br.

3. Departamento de Fitotecnia, UFV. Viçosa, MG, CEP 36570-000. E-mails: aasilva@ufv.br,

4. Faculdade de Ciências Agrárias, Univ. Fed. dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). E-mail: jbarbosasantos@yahoo.com.br.

5. Departamento de Agricultura, Campus Luiz de Queiroz (USP), Piracicaba, SP, CEP 13419-220. E-mail: agrovivian@yahoo.com.br.

padrão ou referência, enquanto em agrossistemas, ela é indicada, com vistas ao manejo do sistema, para incentivar a produção, sem degradar o solo (Gregorich 2002). Assim, na passagem de sistemas naturais para sistemas agropecuários, várias características de solos sensíveis ao manejo são alteradas, apontando perdas de qualidade (Doran & Parkin 1994).

Segundo Doran & Parkin (1994), para avaliar a qualidade do solo, torna-se necessário caracterizar os processos e as propriedades do solo que afetam sua capacidade produtiva. Como o solo é um ambiente dinâmico, heterogêneo e complexo, onde interagem vários processos de natureza química, física e biológica, uma maneira sugerida para superar essa dificuldade é a identificação e seleção de indicadores de qualidade física, química e biológica, que representam as principais funções do solo: promover o crescimento de raízes e a atividade biológica; favorecer a infiltração e movimento de água; e permitir as trocas gasosas, entre outras (Doran & Parkin 1994, Karlen & Stott 1994, Chaer 2001). De acordo com Doran & Zeiss (2000), indicadores de qualidade devem ser sensíveis às variações de manejo e de clima, de fácil mensuração, econômicos e úteis para explicar processos do ecossistema.

O objetivo desta pesquisa foi quantificar certas características físicas, químicas e biológicas do solo, e determinar um índice de qualidade, baseado em indicadores físicos, químicos e biológicos de um Argissolo vermelho-amarelo, com vegetação nativa e cultivado com pastagens e culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Barra Mansa (20°01'42"W, 42°39'03"S), distante, aproximadamente, 30 km da cidade de Rio Casca (MG), considerando-se a BR 262, onde foram coletadas amostras de solo, no início do período chuvoso (novembro de 2004), em cinco ambientes distintos. O solo das áreas avaliadas é representado por terraços localizados à margem do Rio Doce.

As áreas contíguas foram selecionadas em relevo plano e na mesma classe de solo (Argissolo vermelho-amarelo). Os ambientes avaliados foram constituídos por: (I) área com vegetação natural (mata), bem drenada, rica em matéria orgânica e sem

distúrbio aparente no horizonte superficial; (II) pastagem de *Brachiaria brizantha*, com três anos de uso, formada a partir do consórcio dessa forrageira com a cultura do milho, após cultivo de três safras de milho em plantio direto; (III) pastagem de *B. brizantha* com, pelo menos, dez anos de uso; (IV) área cultivada com milho, por cinco anos, em plantio direto, sendo a cultura cultivada no verão e em pousio no inverno; e (V) área com histórico de pastagem de *B. brizantha*, há, pelo menos, quinze anos, a qual, na safra que antecedeu as coletas, foi dessecada com glyphosate e cultivada com soja, em plantio direto, sendo a pastagem, posteriormente, restabelecida pelo banco de sementes.

O manejo de cultivo dessas áreas, excetuando-se a área de mata, anteriormente à aplicação dos tratamentos descritos, foi realizado com pastagens. O manejo de plantas daninhas, nas pastagens antigas e atuais, foi feito com roçadas e adubações, quando efetuadas, ocorreram somente nas renovações. Já nas culturas, foram utilizadas calagens e adubações, com N-P₂O₅-K₂O (8-28-16), entre 250 kg ha⁻¹ e 400 kg ha⁻¹ na semeadura, e aplicações de N em cobertura no milho, entre 50 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹. Cada ambiente possuía área superior a 20 ha, tendo sido subdivididos em quatro sub-áreas, para a coleta de amostras simples, e cada sub-área foi considerada como uma repetição.

A coleta das amostras de solo foi aleatória, em cada ambiente, sendo retiradas quinze amostras simples em cada sub-área, na camada de 0 a 10 cm, formando quatro amostras compostas. De cada amostra composta, foram retiradas porções de, aproximadamente, 2,0 kg, para realização das análises físicas e químicas. Para avaliação das características biológicas do solo, o restante das amostras foi acondicionado em sacos plásticos e mantido sob refrigeração, durante o transporte, para posterior armazenamento em laboratório.

Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas duas amostras por repetição, e, para a resistência do solo à penetração, foram obtidos vinte pontos por repetição, totalizando quatro repetições. As características físicas, que incluíram a densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio geométrico de agregados, umidade gravimétrica, argila dispersa em água, textura, capacidade de retenção de água (mediante o equivalente de umidade) e grau de floculação do solo foram determinadas, conforme

procedimento descrito pela Embrapa (1997). Também, foi determinada a resistência do solo à penetração, com um penetrógrafo estático de cone.

As análises químicas realizadas foram: pH em água; P e K disponíveis; P-remanescente; Ca, Mg e Al trocáveis; acidez total (H + Al); e carbono orgânico (C_{org}). Com as variáveis, calculou-se a soma de bases (SB), CTC total (T), saturação por bases (V) e saturação de alumínio (m). Os micronutrientes Zn e Cu foram extraídos pelo extrator Mehlich-1, sendo as determinações feitas por espectrofotometria de absorção atômica (CFSEMG 1999).

As características biológicas avaliadas foram: carbono da biomassa microbiana (CBM), determinado pelo método descrito por Vance et al. (1987), utilizando-se, em lugar do clorofórmio (fumigação), um forno de microondas (irradiação) (Islam & Weil 1998); quociente microbiano (qMIC), pela relação da CBM e do conteúdo de C_{org} ; atividade respiratória da biomassa microbiana, ou respiração basal do solo, avaliada pela quantificação do CO_2 liberado durante a incubação do solo em sistema fechado; quociente metabólico (qCO_2), obtido pela relação do CO_2 acumulado e o CBM; e enzimas de solo fosfatases ácida e alcalina (Tabatabai 1994) e β -glicosidase (Eivazi & Tabatabai 1988), que foram estimadas pela quantificação do p -nitrofenol resultante da reação das enzimas com os substratos p -nitrofenilfosfato e p -nitrofenil- β -D-glicosídeo, respectivamente.

As variáveis foram submetidas à análise de variância e teste F, e as médias comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. A qualidade do solo (QS) foi calculada a partir da descrição de Nunes (2003) e os resultados das variáveis físicas, químicas e biológicas foram processados, graficamente, em um qualigrama. Utilizaram-se, neste gráfico, apenas as variáveis cujos valores mais altos significam maior qualidade, destacando, assim, as seguintes variáveis: porosidade total, grau de floculação, diâmetro médio geométrico de agregados, capacidade de retenção de água, atividade das enzimas fosfatases e β -glicosidase, carbono da biomassa microbiana, respiração basal, C_{org} , coeficiente microbiano, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, totalizando dezoito variáveis.

Os dados foram transformados, considerando-se 1,0 o valor para mata, usada como referência. As

diferentes situações se expressaram em relação aos valores do controle para cada variável analisada. Assim, um solo que apresentou o somatório de todos os indicadores mais próximo de 1,0 mostrou-se com melhor qualidade, pois está mais próximo do solo tomado como padrão ou referência (mata). A qualidade do solo foi determinada, utilizando-se a expressão: $QS = [1/n(\sum Sa/Sr)]$, em que n significa o número de indicadores; Sa , o valor indicado do sistema avaliado; e Sr , a variável do indicador do sistema de referência (Nunes 2003).

As médias dos indicadores densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio geométrico de agregados, resistência do solo à penetração, capacidade de retenção de água, atividade das fosfatases e β -glicosidase, respiração, carbono da biomassa microbiana, C_{org} , quocientes metabólico e microbiano, pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e capacidade de troca catiônica foram submetidas à análise de agrupamento pelo método do vizinho mais próximo. A medida de dissimilaridade utilizada foi a distância Euclidiana média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, a tabela de comparações para as variáveis químicas do solo (Tabela 1) mostra que os solos sob vegetação natural (I), cultivados com milho (IV) e na área de pastagem anteriormente cultivada com soja (V) evidenciaram melhor fertilidade e condições químicas mais propícias ao crescimento de plantas, quando comparados aos demais ambientes constituídos por pastagens (II e III).

O teor de C_{org} diminuiu, em função do uso do solo, sendo os valores mais elevados observados em condições de mata (I), seguidos da área de pastagem estabelecida após a cultura da soja (V), em área de cultivo de milho (IV) e, posteriormente, na pastagem mais recente formada pelo consórcio desta com o milho (II) e na pastagem mais antiga (III). Os ambientes II e III foram os que mais degradaram o teor de C_{org} e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 1). Tal constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos nos solos sob mata. Todavia, a diminuição do teor de C_{org} nos solos sob cultivos pode ser atribuída também ao aumento do consumo do carbono prontamente disponível pela biomassa microbiana e, ainda, pelo sistema de produção e manejo adotados. Particularmente, nos

Tabela 1. Caracterização química de Argissolo vermelho-amarelo sob mata, cultura e pastagens localizadas na Fazenda Barra Mansa, Rio Casca-MG.

| Variáveis | Ambientes ¹ | | | | | CV (%) |
|--|------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | I | II | III | IV | V | |
| Carbono orgânico (dag kg ⁻¹) | 3,92a ² | 1,76c | 1,64c | 1,93bc | 2,57b | 13,64 |
| pH em água | 5,75b | 5,85ab | 5,68b | 6,20a | 5,70b | 2,78 |
| P (mg dm ⁻³) | 5,08a | 4,15a | 3,35a | 4,50a | 3,10a | 10,48 |
| P-remanescente (mg/L) | 35,20a | 33,58a | 34,98a | 37,45a | 32,65a | 6,07 |
| K (mg dm ⁻³) | 227,25a | 64,25c | 54,50c | 117,25b | 90,50b | 15,78 |
| Ca (cmolc dm ⁻³) | 4,68a | 2,73b | 2,35c | 3,95ab | 3,63bc | 19,94 |
| Mg (cmolc dm ⁻³) | 2,28a | 0,95c | 1,03c | 1,28bc | 1,70b | 14,75 |
| Al (cmolc dm ⁻³) | 0a | 0a | 0a | 0a | 0a | 0 |
| H+Al (cmolc dm ⁻³) | 4,33a | 3,05ab | 3,05ab | 1,98b | 4,17a | 12,69 |
| Soma de bases (cmolc dm ⁻³) | 7,53a | 3,84bc | 3,51c | 5,53b | 5,56b | 16,48 |
| CTC(T) (cmolc dm ⁻³) | 11,86a | 6,89c | 6,57c | 7,51c | 9,73b | 11,05 |
| Saturação por bases (%) | 63,75ab | 54,75b | 53,25b | 73,75a | 57,00b | 10,76 |
| Cu (mg dm ⁻³) | 2,06ab | 2,36a | 1,47b | 2,00ab | 1,66ab | 18,25 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 3,56bc | 3,08c | 2,71c | 6,41ab | 6,86a | 18,38 |

¹ I (área de mata), II (área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*), III (área de pastagem de *Brachiaria brizantha*), IV (área cultivada com milho em plantio direto) e V (pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem). Médias seguidas pela mesma letra, na linha, são estatisticamente iguais pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

ambientes II e III, as reduções nos teores de C_{org} estão associadas ao manejo inadequado da pastagem, principalmente pela ausência de adubações de manutenção, sobretudo após o uso prolongado do pastejo, o que converge à degradação da pastagem. Já a menor redução verificada nos tratamentos IV e V está vinculada ao manejo conservacionista do solo, dado pelo sistema de plantio direto e pela rotação de culturas utilizando a soja.

Os trabalhos encontrados na literatura, muitas vezes, são contraditórios em relação às diferenças entre os teores de C_{org} encontrados em solos de mata nativa e de pastagens, conforme constatações de Vitorino (1986), Fernandes et al. (1997) e Marchiori Júnior & Melo (1999). Dessa forma, sabe-se que, para uma mesma produção e deposição de biomassa ao solo, o teor de C_{org} pode variar de solo para solo, tendo em vista a qualidade do material aportado e a influência de diversos fatores sobre a microbiota do solo e, conseqüentemente, sobre a taxa de decomposição (Costa 2005).

Os valores de pH encontrados em todos os ambientes são classificados como adequados para cultivos agrícolas e os valores encontrados nas pastagens (II, III e V) se assemelharam aos observados em mata (I) e diferiram do solo cultivado com a cultura do milho, o qual apresentou valor de pH mais elevado, em decorrência das correções de solo utilizadas (Tabela 1).

A disponibilidade de fósforo no solo não diferiu entre ambientes. No entanto, pode-se inferir, com base na CFSEMG (1999), que esta ficou abaixo do nível considerado crítico para pastagens (6,6 mg dm⁻³) e os baixos níveis de fósforo disponíveis no ambiente de mata sugerem a pobreza natural desses solos, em relação a esse nutriente (Tabela 1). Ressalta-se que, mesmo na área cultivada anualmente com milho, a qual recebeu adubações com fósforo, não se observou aumento nos teores desse elemento no solo. Para o P-remanescente também não foram observadas alterações significativas dessa variável entre os ambientes.

Para o potássio, foram observados maiores níveis em ambiente de mata, seguido das áreas cultivadas recentemente com culturas (IV e V), sendo os menores níveis observados nas pastagens (II e III) (Tabela 1). Dessa forma, a mudança no uso do solo promoveu alterações na dinâmica desse nutriente, sendo que as menores perdas ocorreram onde houve a adoção do plantio direto de milho (IV) e de rotação das pastagens com a cultura da soja (V). Vitorino (1986), caracterizando terraços para uso agrícola na região do médio Rio Doce, observou maiores teores de potássio trocável em solos manejados com a cultura do milho, com dezoito anos de cultivo, sendo os valores superiores aos encontrados em condição de vegetação natural e pastagens. No entanto, todos os ambientes analisados apresentaram teores elevados de potássio em superfície e os ambientes cultivados anualmente e beneficiados pela adubação potássica apresentaram teores do elemento que variaram de acordo com a sua capacidade de preservá-lo no sistema. Dessa forma, segundo o autor, o ambiente de pasto foi o que apresentou os menores teores do elemento no solo, corroborando os resultados encontrados nessa pesquisa.

Comportamento análogo ao observado para o potássio foi encontrado para o cálcio e o magnésio, que apresentaram valores significativamente maiores em ambiente de mata e decresceram em área cultivada recentemente com culturas e em pastagens com maior tempo de manejo (Tabela 1). Comparadas às áreas com culturas, as áreas de pastagens apresentaram menores teores desses elementos, em decorrência da sua remoção pelo pastejo contínuo, em pastagens que não recebem adubação adequada de manutenção. Vale ressaltar que, pelo fato de os ambientes se mostrarem distintos em relação ao

manejo, os teores de cátions trocáveis foram próximos, ou mais elevados, do que os encontrados comumente em ambientes cultivados, devido às correções e/ou adubações do solo e que os mesmos se encontram em áreas de relevo plano, onde as perdas por erosão são menos evidentes. De acordo com Naemi (1988), embora os solos dessa região sejam originados de materiais bem intemperizados, são relativamente elevados os teores de cátions trocáveis, devido à tabularidade e à baixa permeabilidade dos terraços, que mantêm esses nutrientes num sistema conservador.

Não foi observado teor de alumínio trocável nos solos desses ambientes, confirmando os comentários de Naime (1988), que relata ser pequena a fonte ativa de alumínio nessa classe de solo. Os valores maiores de H+Al, observados nos solos sob mata e no ambiente de pastagem estabelecida após o cultivo da soja (V), provavelmente em função dos teores de C_{org} , refletiram na maior CTC, a pH 7, nesses sistemas, enquadrando-se na classe muito alta (CFSEMG 1999). Da mesma forma, os valores de soma e saturação por bases encontram-se maiores nos ambientes de mata e de pastagem estabelecida após o cultivo da soja, pela maior contribuição da matéria orgânica e das adubações (Tabela 1). Para os micronutrientes, o zinco e o cobre da área manejada somente com pastagens apresentaram os menores teores. Particularmente para o zinco, as áreas que foram cultivadas recentemente com culturas apresentaram os maiores teores.

A análise dos resultados para os atributos físicos do solo (Tabela 2) revela que a densidade do solo, a porosidade total, a umidade gravimétrica, a capacidade de retenção de água, a granulometria (área, silte e argila) e a resistência à penetração foram as características mais afetadas nos diferentes ambientes. Já o diâmetro médio geométrico de agregados, a argila dispersa em água e o grau de floculação do solo não apresentaram variação significativa em seus valores (Tabela 2). Isso discorda das observações de Nunes (2003), em avaliação de indicadores físicos de qualidade de solo, em ambientes de mata e cultivados com café. O autor constatou que a argila dispersa em água e a estabilidade de agregados se mostraram mais sensíveis às mudanças decorrentes do manejo.

Para os valores de densidade do solo, observou-se aumento significativo da variável quando a

Tabela 2. Caracterização física de Argissolo vermelho-amarelo sob mata, cultura e pastagens localizadas na Fazenda Barra Mansa, Rio Casca-MG.

| Variáveis | Ambientes ¹ | | | | | CV (%) |
|--|------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| | I | II | III | IV | V | |
| Densidade do solo (g cm ⁻³) | 0,89d ² | 1,19ab | 1,26a | 1,14bc | 1,05c | 4,07 |
| Porosidade total (%) | 64,18a | 53,27b | 49,55c | 54,43b | 52,02bc | 2,80 |
| Resistência à penetração (Mpa) | 2,02d | 2,34c | 2,62b | 2,26c | 3,06a | 9,49 |
| Diâmetro médio geométrico (mm) | 1,95a | 1,64a | 1,55a | 1,42a | 1,96a | 10,44 |
| Umidade gravimétrica (kg kg ⁻¹) | 0,28a | 0,17b | 0,13b | 0,18b | 0,27a | 12,12 |
| Capacidade de retenção de água (%) | 47,09a | 34,75b | 29,08c | 32,57bc | 45,13a | 4,22 |
| Área (kg kg ⁻¹) | 0,34b | 0,56a | 0,65a | 0,62a | 0,54a | 12,90 |
| Silte (kg kg ⁻¹) | 0,23a | 0,14b | 0,11b | 0,13b | 0,15b | 13,05 |
| Argila (kg kg ⁻¹) | 0,44a | 0,31b | 0,24b | 0,25b | 0,31b | 12,99 |
| Argila dispersa em água (kg kg ⁻¹) | 0,27a | 0,19a | 0,14a | 0,18a | 0,20a | 14,78 |
| Grau de floculação | 0,39a | 0,35a | 0,41a | 0,29a | 0,37a | 14,29 |

¹ - I (área de mata), II (área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*), III (área de pastagem de *Brachiaria brizantha*), IV (área cultivada com milho em plantio direto) e V (pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem). Médias seguidas pela mesma letra, na linha, são, estatisticamente, iguais pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

vegetação natural foi substituída por culturas e pastagens (Tabela 2). Os extremos foram observados em solo de mata, menos denso (0,89 g cm⁻³), e no solo manejado por vários anos consecutivos com pastagem (III), o qual apresentou valor de densidade do solo (1,26 g cm⁻³) superior aos demais ambientes. Os outros ambientes, em que se intercalaram culturas com pastagens, ou somente culturas, apresentaram valores intermediários, mas estatisticamente diferentes. Segundo Vitorino (1986), em pesquisas realizadas em Argissolo vermelho-amarelo sob mata, pastagens e culturas, a maior densidade do solo nas pastagens foi atribuída a uma camada com estrutura laminar, provavelmente resultante do pisoteio dos animais e da pressão mecânica exercida no solo durante a formação dos pastos.

O solo manejado exclusivamente com pastagem (III) apresentou porosidade total abaixo de 50%, enquanto para os solos dos demais ambientes sob ação antrópica direta (II, IV e V), os valores estiveram entre 52% e 55%, exceto o solo de mata, que foi o mais poroso, com cerca de 65% (Tabela 2). Dessa forma, em comparação à porosidade do ambiente I, verificaram-se reduções médias de 23%, para o ambiente de pastagem (III), e de 17%, 15% e 19% para os solos dos ambientes II, IV e V, respectivamente. Quanto à resistência mecânica do solo à penetração, excetuando-se o ambiente V, observou-se menor resistência nos ambientes com menor densidade, como verificado no ambiente de mata.

Os resultados da umidade gravimétrica evidenciaram que, no momento da coleta, a umidade do solo encontrava-se distinta entre os ambientes e que a mesma e a capacidade de retenção foram maiores nos solos de matas e no ambiente V (Tabela 2). Pelo fato de ser avaliada em solo com estrutura deformada, não representando as condições naturais de solo, a retenção de água no solo fica subordinada à granulometria e ao teor de matéria orgânica. Assim, ficou evidente que o ambiente com maior teor de argila (I) apresentou maior valor de retenção de água. Da mesma forma, verificou-se que a matéria orgânica presente nos ambiente I e V favoreceu a retenção de água nas amostras de solo analisadas nesses ambientes.

De forma geral, verificou-se que, em ambientes onde se utiliza a agricultura intercalada com a pecuária, o ambiente edáfico apresentou valores intermediários nos indicadores físicos, entre o ambiente de mata e de pastagem exclusiva (III); e, em solos cultivados exclusivamente com milho, grande parte das características avaliadas encontrava-se acima daquelas obtidas em áreas de pastagem exclusiva, assemelhando-se ou situando-se abaixo das obtidas em áreas de integração (II e V). Isso evidencia, parcialmente, que a agricultura e a pecuária, constituindo sistemas integrados, trazem melhorias para os indicadores físicos de solo.

Quanto às características biológicas (Tabela 3), verificaram-se maiores valores do CBM em solos de mata e no ambiente V, em relação aos ambientes de cultivo anual de milho (IV) e de pastagem exclusiva (III), enquanto para os solos da pastagem de *B. brizantha*, formada pelo consórcio com milho (II), foram verificados valores intermediários. Observou-se que o CBM foi influenciado diretamente pelo aporte de material orgânico e pela capacidade de retenção de água dos solos analisados, conforme verificado nos ambientes I e V, à exceção da pastagem formada via consórcio (II), que apresentou valores superiores aos encontrados nos ambientes III e IV, provavelmente devido a pequenas alterações na dinâmica da água e nutrientes promovidas pelo maior teor de argila no solo deste ambiente.

Maior atividade respiratória basal da biomassa microbiana foi observada também em solo de mata, sendo acompanhada, respectivamente, pelos ambientes V, II, IV e III (Tabela 3), fato este atribuído, em parte, aos decrescentes teores de C_{org} (Tabela 1).

Tabela 3. Caracterização biológica de Argissolo vermelho-amarelo sob mata, cultura e pastagens localizadas na Fazenda Barra Mansa, Rio Casca-MG.

| Variáveis | Ambientes ¹ | | | | | CV (%) |
|--|------------------------|---------|---------|----------|----------|--------|
| | I | II | III | IV | V | |
| Respiração basal ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) | 26,91a ² | 25,13bc | 23,47d | 24,17cd | 26,49ab | 2,65 |
| Carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$) | 531,21a | 314,01b | 147,30c | 139,88c | 441,08a | 14,78 |
| Quociente metabólico ($\mu\text{g de CO}_2 \mu\text{g biomassa}^{-1} \text{d}^{-1}$) | 0,05b | 0,08b | 0,17a | 0,18a | 0,06b | 10,29 |
| Quociente microbiano (%) | 1,36ab | 1,78a | 0,91bc | 0,74c | 1,73a | 15,63 |
| Fosfatase ácida ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ de p-nitrofenol) | 373,49abc | 415,82a | 317,24c | 353,91bc | 391,04ab | 6,94 |
| Fosfatase alcalina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ de p-nitrofenol) | 191,26a | 120,12b | 32,53c | 147,95ab | 159,71ab | 19,68 |
| β -glicosidase ($\text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ de p-nitrofenol) | 321,88a | 213,72b | 127,04c | 144,58c | 208,90b | 7,82 |

¹ I (área de mata), II (área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*), III (área de pastagem de *Brachiaria brizantha*), IV (área cultivada com milho em plantio direto) e V (pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem). Médias seguidas pela mesma letra, na linha, são estatisticamente iguais pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Diante dos dois indicadores biológicos avaliados acima, pode-se obter o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) que permite a caracterização de solos com biomassa microbiana mais eficiente na utilização de energia, o qual reflete-se em ambientes mais estáveis (Chaer 2001). Assim, verifica-se, no solo do ambiente I e nos ambientes que intercalaram a agricultura com a pecuária, baixos valores de $q\text{CO}_2$. Para pastagem exclusiva (III) e para a área de cultivo de milho (IV), os valores de $q\text{CO}_2$ foram sensivelmente maiores e demonstram ambiente com maior grau de distúrbio, ou que apresentam comunidades microbianas sob condições desfavoráveis (Tabela 3).

O carbono da biomassa microbiana (CBM), em condições normais, representa de 1% a 4% do carbono total do solo e é expresso pelo quociente microbiano (qMIC) (Jenkinson & Ladd 1981) e, de forma geral, valores de qMIC inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana. Nesta pesquisa, foram observados maiores qMIC nos ambientes II e V e no ambiente de mata, cujos valores excederam a 1% do carbono do solo (Tabela 3). Contrariamente, os ambientes III e IV apresentaram, respectivamente, os menores valores para essa variável.

No ambiente de mata, observou-se o menor valor de qMIC, o que reflete a menor utilização de carbono pela microbiota do solo, podendo estar associado à acidez do solo, ou a fatores como limitação de nutrientes, ou mesmo à qualidade da

matéria orgânica aportada em relação à dos ambientes II e V. De acordo com Powlson et al (1987), a adição de matéria orgânica de qualidade, ou a mudança de um fator limitante para uma condição favorável, pode aumentar o valor de qMIC, mesmo se os níveis de C_{org} permanecerem estáveis. Ademais, Santos (2004) relata que, em condições tropicais, nem sempre valores de qMIC inferiores a 1% indicam comprometimento das funções microbianas do solo. Todavia, para tais condições, ainda não é possível afirmar que este limite seja um bom indicador de qualidade do solo.

De acordo com Bandick & Dick (1999), as enzimas do solo têm se mostrado como potencial indicador da qualidade do solo, em decorrência de sua ligação com a atividade biológica e sensíveis respostas às mudanças de manejo de solo. Nesta pesquisa, a atividade das enzimas fosfatases ácida e alcalina e da β -glicosidase diferiram entre os ambientes avaliados e, com exceção da atividade da fosfatase ácida, as demais apresentaram comportamento semelhante, com maior atividade nos solos da área de mata (Tabela 3). A atividade de algumas enzimas no solo, como a β -glicosidase, tem se mostrado maior em solos preservados que em solos cultivados e, também, em solos submetidos à rotação de culturas, relativamente aos monocultivos (Marchiori Júnior & Mello 1999, Bandick & Dick 1999).

A atividade da fosfatase ácida apresentou comportamento diferenciado, com maior valor observado no ambiente II, seguido, respectivamente, dos ambientes V, I, IV e III, os quais foram, estatisticamente, diferentes entre si (Tabela 3). Vários autores apontam que as fosfatases apresentam correlações positivas com o teor de C_{org} e têm sua atividade aumentada em ambientes preservados, em relação aos submetidos à condição de cultivo (Dick et al. 1988, Baldiane et al. 2001, Chaer 2001, Nunes 2003, Santos 2004). Esses resultados, contudo, discordam daqueles encontrados, nesta pesquisa, para a fosfatase ácida.

Avaliando-se a qualidade de solo, observou-se maior valor no ambiente de pastagem estabelecido após o cultivo de soja (V), que correspondeu a 0,83 (Tabela 4), se comparado ao ambiente de referência (I). Isso corresponde ao círculo central da Figura 1, cujos valores foram seguidos pelos valores de qualidade, calculados para os ambientes de pastagens

formadas via consórcio com o milho (II), com 0,73; do ambiente cultivado anualmente com milho (IV), com 0,71; e de pastagem exclusiva (III), com somente 0,59 (Tabela 4). A qualidade do solo da pastagem exclusiva mostrou-se mais afastada da área padrão (I), sugerindo que as práticas de manejo adotadas nesse ambiente não estão priorizando a sustentabilidade desse sistema, sendo que afetaram grande parte dos indicadores de qualidade, como a atividade da fosfatase alcalina e da β -glicosidase, o carbono da biomassa microbiana, a porosidade, a soma de bases e a CTC (Tabela 4 e Figura 1), entre outras.

No ambiente de cultivo anual de milho (IV), o fato de haver bons níveis de nutrientes e menor acidez atribuiu melhoria em QS, relativamente à pastagem exclusiva. Por outro lado, essa tendência é maximizada pela adoção do sistema de plantio direto, que constitui-se em ambiente mais conservador, em termos de nutrientes, material orgânico e energia, e que, muitas vezes, apresenta fertilidade e teores de C_{org} iguais (ou até maiores) aos do ambiente de mata, principalmente quando o ambiente edáfico a ser comparado é caracterizado por ambientes quimicamente mais pobres.

Entre os ambientes onde se integrou a agricultura com a pecuária, a qualidade de solo foi

Tabela 4. Valores de indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade de solo (QS), analisados em cada sistema (II a V), em relação ao sistema de referência (I).

| Variáveis | Ambientes ¹ | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V |
| Carbono orgânico | 1,00 | 0,45 | 0,42 | 0,49 | 0,66 |
| P | 1,00 | 0,82 | 0,66 | 0,89 | 0,61 |
| K | 1,00 | 0,28 | 0,24 | 0,52 | 0,40 |
| Ca | 1,00 | 0,58 | 0,50 | 0,84 | 0,78 |
| Mg | 1,00 | 0,42 | 0,45 | 0,56 | 0,75 |
| Soma de bases | 1,00 | 0,51 | 0,47 | 0,73 | 0,74 |
| Capacidade de troca catiônica - T | 1,00 | 0,58 | 0,55 | 0,63 | 0,82 |
| Saturação por bases | 1,00 | 0,86 | 0,84 | 1,16 | 0,89 |
| Porosidade | 1,00 | 0,83 | 0,77 | 0,85 | 0,81 |
| Grau de floculação | 1,00 | 0,90 | 1,04 | 0,75 | 0,95 |
| Diâmetro médio geométrico | 1,00 | 0,84 | 0,80 | 0,73 | 1,01 |
| Capacidade máxima de retenção de água | 1,00 | 0,74 | 0,62 | 0,69 | 0,96 |
| Fosfatase ácida | 1,00 | 1,11 | 0,85 | 0,95 | 1,05 |
| Fosfatase alcalina | 1,00 | 0,63 | 0,17 | 0,77 | 0,84 |
| B-glicosidase | 1,00 | 0,66 | 0,39 | 0,45 | 0,65 |
| Respiração basal | 1,00 | 0,93 | 0,87 | 0,90 | 0,98 |
| Carbono da biomassa microbiana | 1,00 | 0,59 | 0,28 | 0,26 | 0,83 |
| Quociente microbiano | 1,00 | 1,31 | 0,67 | 0,54 | 1,27 |
| QS (média) | 1,00 | 0,73 | 0,59 | 0,71 | 0,83 |

¹- I (área de mata), II (área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*), III (área de pastagem de *Brachiaria brizantha*), IV (área cultivada com milho em plantio direto) e V (pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem).

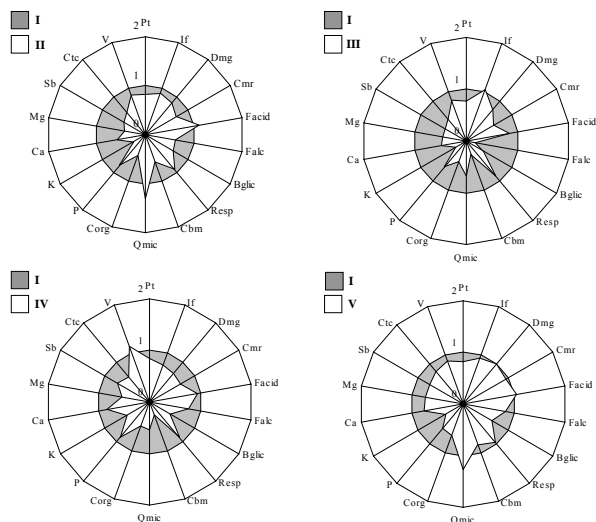


Figura 1. Qualidade de solo nos ambientes de mata (I), pastagem formada pelo consórcio milho com *Brachiaria brizantha* (II), pastagem de *Brachiaria brizantha* (III), área cultivada com milho em plantio direto (IV) e pastagem de *Brachiaria brizantha*, formada após rotação pastagem-soja-pastagem (V). Porosidade total (Pt), Grau de floculação (If), agregados (Dmg), capacidade máxima de retenção de água (Cmr), fosfatase ácida (Facid), fosfatase alcalina (Falc), β -glicosidase (Bglic), respiração basal (Resp), Carbono da biomassa microbiana (Cbm), quociente microbiano (Qmic), carbono orgânico (C_{org}), P, K, Ca, Mg, soma de bases (Sb), capacidade de troca catiônica total (Ctc) e saturação por bases (V).

superior, em relação ao monocultivo, e, dependendo do manejo, QS pode se aproximar do sistema de referência, conforme observado no ambiente V. Nesse ambiente, QS foi favorecida, provavelmente, pela entrada dos resíduos culturais da leguminosa, o que contribuiu para a melhoria de alguns indicadores de qualidade, principalmente os biológicos. Por outro lado, no ambiente II, em decorrência do tempo de uso da pastagem após o consórcio com a cultura do milho, já se observa decréscimo no valor da QS, o qual se aproxima do observado para o monocultivo de milho (IV).

Com base na análise de agrupamento aplicada aos indicadores de qualidade de solo escolhidos e no dendrograma resultante (Figura 2), observa-se que os ambientes III e IV mostraram-se próximos entre si e mais distante do sistema de referência (I). Ao contrário, os ambientes II e V apresentaram maior similaridade entre si e com a mata nativa, comparativamente aos ambientes III e IV. Isso ratifica que o uso prolongado de uma espécie no sistema, quer seja

na forma de cultura ou como forrageira, em solos com remoção total da vegetação, é um tipo de manejo que contribui para a redução gradativa da qualidade do ambiente edáfico. E, com isso, o sistema torna-se pouco sustentado, em consequência das perdas de material orgânico, nutrientes, solo e água. Por outro lado, à medida que se adota um sistema como o de integração entre lavoura e pecuária, alicerçado em práticas conservacionistas, esse efeito tende a ser invertido, conforme constatações de Kluthouski et al. (2003).

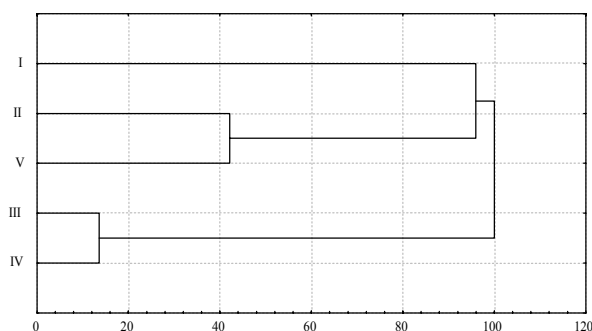


Figura 2. Dendrograma de agrupamento (*Single Linkage*) dos cinco ambientes construídos a partir da matriz de distâncias Euclidianas médias, obtidas por meio de dezoito variáveis selecionadas para a profundidade de 0 a 10 cm. Representam os ambientes de mata (I), pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha* (II), pastagem de *Brachiaria brizantha* (III), área cultivada com milho em plantio direto (IV) e pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem (V).

CONCLUSÕES

1. Os sistemas cultivados provocaram alterações na qualidade do ambiente edáfico, manifestada em suas características físicas, químicas e biológicas, quando comparadas à condição preservada do ambiente de mata.
2. Nos ambientes cultivados, principalmente onde prevalece monocultivo de culturas ou de pastagens, evidencia-se a necessidade de manejo, aplicado de forma integrada para a manutenção da qualidade do solo.
3. Os índices de qualidade do solo observados permitem inferir sobre as alterações impostas pelas práticas de manejo do solo, no que concerne às perdas de material orgânico, nutrientes e água.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- BALDIANE, N. N. Y. et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. *Applied Soil Ecology*, Lincoln, v. 18, n. 3, p. 229-238, 2001.
- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzymes activities. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, 1999.
- CHAER, G. M. *Modelos para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e biológicos*. 2001. 89 f. Tese (Mestrado em Microbiologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aprox.* Viçosa, MG: CFSEMG, 1999.
- COSTA, O. V. *Estoque de carbono e indicadores de qualidade de solo de tabuleiro sob pastagem no sul da Bahia*. 2005. 64 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- DICK, R. P.; RAMUSSEN, P. E.; KERLE, E. A. Influence of long-term residue management on soil enzymes activities in relation of soils chemical properties of a wheat fallow system. *Biology, Fertility of Soils*, Berlin, v. 6, n. 2, p. 159-164, 1988.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.
- DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic components of soil quality. *Applied Soil Ecology*, Lincoln, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.
- EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- FERNANDES, E. C. M. et al. The impact of selective logging and forest conversion for subsistence agriculture and pastures terrestrial nutrient dynamics in the Amazon. *Ciência e Cultura*, Campinas, v. 49, n. 1/2, p. 34-47, 1997.
- GREGORICH, E. G. Quality. In: LAL, R. *Enciclopedia of Soil Science*. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 1058-1061.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology Fertility of Soils*, Berlin, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 415-471.
- KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *Soil Science Society of America*, Madison, v. 35, p. 53-72, 1994.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. *Integração lavoura-pequária*. Santo Antonio de Goiás: CNPAF, 2003.
- MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono: carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática de um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 257-263, 1999.
- NAIME, U. J. *Caracterização de solos de terraços na zona da Mata e Rio Doce, Minas Gerais*. 1998. 76 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- NUNES, L. A. P. L. *Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG*. 2003. 102 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. K.; CHRISTENSEN, B. T. Measurements of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straws incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.
- SANTOS, C. A. P. *Qualidade de solos sob eucalipto fertirrigado no vale do Rio Doce-MG*. 2004. 60 f. Tese (Mestrado em Microbiologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY P. S. *Methods of soil analysis*:

microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 755-833.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.19, n. 6, p 703-707, 1987.

VITORINO, A. C. T. *Caracterização e interpretação para o uso agrícola de solos de terraço fluvial do médio Rio Doce, município de Córrego Novo-MG*. 1986. 75 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.