

INDICADORES DA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

INDICATORS OF THE CHEMICAL AND PHYSICAL QUALITY OF THE SOIL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

Ludmila de FREITAS¹; Ivanildo Amorim de OLIVEIRA¹; Laércio Santos SILVA²; Júlio César Vieira FRARE¹; Vinicius Augusto FILLA³; Romário Pimenta GOMES².

¹Docentes do Instituto Federal do Estado do Pará – IFPA- Campus Breves – Pará - Brasil

²Pós-graduando do Programa de Ciência do Solo da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal - São Paulo, Brasil. laerciosantos18@gmail.com

³Pós-graduando do Programa de Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal - São Paulo, Brasil.

RESUMO

A conversão da condição natural para a agricultura, em destaque para a monocultura de cana-de-açúcar impõe mudanças drásticas nos atributos físicos e químicos do solo. Com o objetivo de estudar estas alterações em Latossolo Vermelho distrófico, causadas pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar, selecionaram-se três áreas (mata, cana-de-açúcar e área reflorestada) adjacentes, no município de Guariba (SP). Em cada área, foram coletadas, aleatoriamente, quatro amostras (compostas por quinze pontos), nas camadas de 0-10 cm, e 10-20 cm. Foram avaliados os atributos químicos: pH, teor de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação por alumínio (m%), enxofre (S), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), ferro (Fe), e calculados os valores, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%); e também os físicos, como: macro e microporosidade, densidade do solo, porosidade total e textura (areia fina, areia grossa e argila) de cada amostra nas duas profundidades estudadas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram feitas pelo teste de Tukey a 5 %. Os atributos químicos, físicos do solo e a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como pedoindicador ambiental da qualidade física e química do solo. A qualidade do solo para as áreas avaliadas segundo os métodos utilizados está assim ordenada: Mata Nativa > Reflorestamento > Cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Área reflorestada. Cultivo de cana-de-açúcar. Mata nativa.

ABSTRACT

The conversion of natural condition for agriculture, in the spotlight for the monoculture of sugar cane requires drastic changes in physical attributes and chemical properties of the soil. With the objective of studying these changes in dystrophic red Latosol, caused by continuous cultivation of sugar cane, we selected three areas (forest, sugar cane and reforested area) adjacent, in the municipality of Jaboticabal (SP). In each area, were collected, randomly, four samples (composed of fifteen points), in the layers of 0-10 cm, and 10-20 cm. We evaluated the chemical attributes: the value of pH, organic matter content (MO), P (phosphorus), K (potassium), Ca (calcium), Mg (magnesium), Al (aluminum), H+Al (potential acidity), m% (saturation of aluminum), S (sulfur), Mn (manganese), Zn (zinc), Cu (copper), B (boron), Fe (iron), And calculated values, the ability to exchange cations (CTC) and saturation of bases (V%); and also the physical, such as: macro and micro porosity, bulk density, porosity and texture (fine sand, coarse sand and clay) of each sample in the two studied depths. The data were submitted to analysis of variance and the comparison of the means of variables within each studied environment were made by the Tukey's test at 5 %. The chemical, physical attributes of the soil and the organic matter are strongly altered by the use and management of the soil, having as reference the native vegetation, which allows the use of these attributes as environmental pedoindicator of the physical and chemical quality of the soil. The quality of the soil for the evaluated areas according to the methods used is thus ordered: Mata Nativa > Reforestation > Sugarcane.

Keywords: Reforested area. Sugar cane cultivation. Native forest.

INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais, como a diminuição da fertilidade e a desagregação do solo. No Brasil a expansão de cultivos homogêneos com cana-de-açúcar em larga escala tem ocupado grandes áreas, como por exemplo, no estado de São Paulo, onde áreas cobertas por mata natural vêm sendo gradativamente substituídas por canaviais e mantidas com monoculturas por períodos de mais de 60 anos (FREITAS, 2011), sendo que as áreas de vegetação nativa se tornaram área com intensas atividades antrópicas, o que causa mudanças drásticas nos atributos do solo.

Os sistemas agrícolas que associam a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. Após a retirada da vegetação natural, e a implantação de atividades agropecuárias, devido às ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo, provocam desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando seus atributos (CANELLAS *et al.*, 2003; RANGEL e SILVA, 2007).

A formação de camadas compactadas diminui a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ *et al.*, 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI *et al.*, 2007). Desse modo, o impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO *et al.*, 2009), a resistência do solo à penetração (TAVARES FILHO e RIBON, 2008) e a distribuição dos agregados.

As características físicas quando o solo é submetido ao processo produtivo, também sofrem alterações (NEVES *et al.*, 2007), e a degradação destas características físicas do solo, segundo Bertol *et al.* (2001) é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade do solo, tornando-se importante (SILVA *et al.*, 2005) para a sustentabilidade dos sistemas agrícola a avaliação e monitoramento das características físicas.

As propriedades químicas dos solos são significativamente modificadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em virtude da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas. Essas alterações dependem de vários fatores, como a cultura implantada e o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo,

o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MARCHIORI JUNIOR e MELO, 2000). As principais modificações nos solos cultivados em relação às condições originais decorreram do aumento do pH e dos teores de cátions, os quais são dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuem a fertilidade e os álicos aumentam, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio (GOLDIN e LAVKULICH, 1988).

Os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição da matéria orgânica e agregação do solo. Dessa forma, o conhecimento das modificações químicas e físicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas.

Assim, o estudo dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (REICHERT *et al.*, 2009).

Segundo Melo Filho *et al.* (2004), para identificar o potencial ou as limitações de funcionamento de um tipo de solo, é preciso estabelecer um referencial, o qual se relaciona ao solo em estado natural, sem alterações antrópicas. Teoricamente, nessas condições o solo expressaria o seu potencial, suas limitações e sua qualidade de referência, pois, quando ocorre a modificação de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados e sua qualidade é modificada. Avaliações de alterações nas propriedades do solo, decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras (CARDOSO *et al.*, 2011).

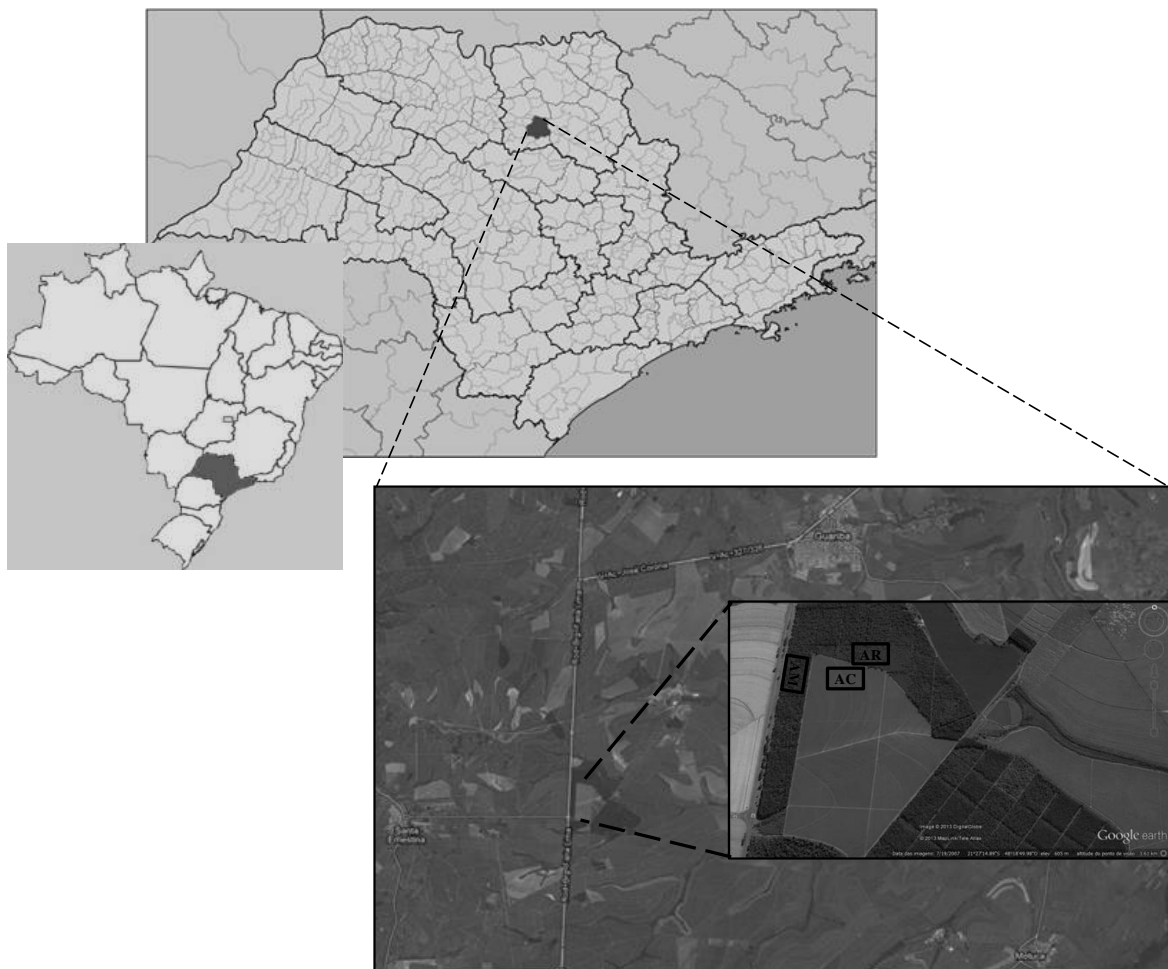
Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar comparativamente a qualidade do solo, utilizando-se atributos de natureza química e física, sob diferentes sistemas de uso e manejo.

MATERIAL E MÉTODO

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no município de

Guariba (SP), com a localização geográfica para a área de cana-de-açúcar de 21° 27' 39" S e 48° 19' 71" W, para a mata nativa com 21° 27' 44" S e 48° 19' 29" W e para a área reflorestada de 21° 31' 29" S e 48° 19' 27" W (Figura 1). Os locais apresentam altitude de 600 m e o clima é caracterizado como Cwa, segundo a classificação de Köppen, do tipo mesotérmico com inverno seco, precipitação de 1.400 mm e chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, segundo critérios da Embrapa (2006), com textura franco-argilo-arenosa e relevo plano.

Figura 1 – Localização das áreas: AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= área reflorestada; AM= área com mata nativa.



A qualidade do solo foi avaliada em três áreas amostrais adjacentes e homogêneas, sendo: a) área com mata em condição natural (AM), caracterizada como floresta estacional semidecidual tropical subcaducifólia, com 18 ha de extensão; b) área com cultivo de cana-de-açúcar (AC), cultivada há aproximadamente 60 anos, com extensão de 50 ha aproximadamente. O preparo do solo para o plantio foi realizado com arado de discos e grade

pesada; em seguida, foi realizada subsolagem. A adubação utilizada foi somente torta de filtro, não havendo aplicação de qualquer outro tipo de fertilizante; e, c) área reflorestada com espécies nativas (AR), implantada há oito anos, sendo que antigamente foi explorada com a monocultura de cana-de-açúcar por 40 anos. Nesta área foram introduzidas algumas espécies nativas, como por exemplo, o jambolão, pelos próprios trabalhadores locais sem bases científicas. Assim, as espécies escolhidas não foram selecionadas, os trabalhadores locais foram introduzindo na área de acordo com que eram encontradas as espécies.

Cada ecossistema foi subdividido em quatro subáreas, cada uma com 1/4 da área total de cada ecossistema. Para as análises químicas foram coletadas uma amostra deformada aleatoriamente em cada subárea, na profundidade de 0–10 cm e 10-20 cm, sendo no total de 8 amostras por área, totalizando 24 amostras coletadas. Cada amostra deformada foi composta por quinze pontos, escolhida aleatoriamente em cada subárea. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e conduzidas ao Laboratório de Fertilidade do Solo pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Câmpus de Araras, estado de São Paulo, onde foram analisadas segundo metodologia da Embrapa (1997).

Foram realizados os seguintes métodos para as amostras químicas coletadas: cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos por KCl, o potássio e fósforo disponível, por Mehlich-1, a acidez potencial (H+Al) com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio utilizando-se metodologia proposta pela Embrapa (1997). Com base nos resultados das análises químicas, foi calculada a somas de bases, a capacidade de troca catiônica, a saturação por bases e saturação por alumínio. Para o pH foi utilizada solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, na relação 1:2,5 (solo:solução) segundo Embrapa (1997). A matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkley e Black (1934) modificado por Yeomans e Bremner (1988).

Para os micronutrientes, a extração do Boro (B) foi em solução de BaCl_2 aquecida em forno micro-ondas e as de Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) foram através de solução DTPA (ácido ietilenotriaminopentaacético) $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + trietanolamina (TEA) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ + CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,3, conforme metodologia desenvolvida por Lindsay e Norvell (1978). O teor de enxofre (S) foi determinado pelo método extrator de acetato de cálcio.

As amostras deformadas foram peneiradas em malha 2 mm para a determinação da composição granulométrica pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos,

seguinte metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossa e fina por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas minitrincheiras e em seguida, envoltas em papel-alumínio, acondicionadas em recipientes plásticos e levadas para serem processadas no Laboratório de Física do Solo pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Câmpus de Araras, estado de São Paulo. Foram coletadas amostras em anéis cilíndricos de aço inox com volume de 50 cm³, segundo Blake & Hartage (1986), nas profundidades de 0-10 cm e de 10 - 20 cm, para a determinação de densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total (PT). As amostras foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. A porosidade total (Pt) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105 °C durante 24 h (EMBRAPA, 1997). A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão, segundo metodologia da Embrapa (1997). Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obteve-se a macroporosidade. A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa seca a 105 °C durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro (EMBRAPA, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo utilizado o software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000). A seguir foi realizada uma MANOVA (análise da variância multivariada) no qual através desse procedimento analisou as áreas (com 3 ambientes diferentes) com os atributos estudadas. O objetivo desta análise foi o de verificar se os valores de F formados pelas médias das variáveis analisadas conjuntamente diferiram quando os ambientes foram contrastados entre si. Em caso afirmativo, indica que os manejos são diferentes analisando todas os atributos em conjunto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 1, pode-se observar que os valores dos atributos químicos do solo apresentaram variação sob o uso da AR e AC em relação à testemunha, mata nativa, para algumas das variáveis analisadas.

Para a maioria dos nutrientes, os maiores valores médios, nas duas profundidades estudadas, foram verificados na área sob cultivo, quando comparados com a área referência

(AM) e a AR. Este comportamento pode ser atribuído, em parte, ao tipo de manejo utilizado onde os restos culturais são incorporados superficialmente, o que contribui com a reciclagem dos nutrientes, extraídos pelas culturas anteriores. Na mata, pode-se explicar os teores baixos de nutrientes, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes estão alocados na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo dele no ambiente (REZENDE e RESENDE, 1996; SANTOS *et al.*, 2007; PORTUGAL *et al.*, 2008). Algumas variáveis apresentam diferença estatística entre as profundidades do solo com os ambientes estudados.

Tabela 1 – Valores dos atributos químicos do solo nas diferentes áreas estudadas.

| Variáveis | Unidade | Profundidade 0 - 10 cm | | | Profundidade 10 - 20 cm | | |
|-----------|------------------------|------------------------|--------|--------|-------------------------|---------|--------------------|
| | | Áreas | | | | | |
| | | AC | AR | AM | AC | AR | AM |
| P | mg.dm ⁻³ | 92,5A | 93,5A | 2,75A | 94,2A | 101,5A | 1,75 ^a |
| MO | g.dm ⁻³ | 15,0B | 15,25B | 20,0A | 13,5B | 14,25B | 18,5 ^a |
| pH | CaCl ₂ | 6,2A | 4,72 B | 3,75 C | 5,9A | 4,65B | 3,8C |
| K | mmolc.dm ⁻³ | 2,8A | 1,3B | 1,4B | 2,4A | 2,35A | 2,5 ^a |
| Ca | mmolc.dm ⁻³ | 24,25A | 16,5B | 2,0C | 22,75A | 16,25B | 1,75C |
| Mg | mmolc.dm ⁻³ | 10,25A | 5,5B | 2,5C | 9,25A | 5,5B | 2,5C |
| H+Al | mmolc.dm ⁻³ | 22,0C | 42,50B | 84,0A | 27,5C | 44,25B | 74,25 ^a |
| Al | mmolc.dm ⁻³ | 0,8 B | 2,4 B | 16,6A | 0,85B | 2,2B | 16,35 ^a |
| SB | mmolc.dm ⁻³ | 37,3A | 23,3B | 5,9C | 34,4A | 24,1B | 6,8C |
| CTC | mmolc.dm ⁻³ | 59,3B | 65,8B | 89,9A | 61,9B | 68,35AB | 81,0A |
| V | % | 63,1A | 35,32B | 6,6C | 56,2A | 35,25B | 8,3C |
| M | % | 1,35 B | 3,6B | 18,5 A | 1,3B | 3,2B | 20,4 ^a |
| S | mg.dm ⁻³ | 9,5A | 7,5A | 9,25A | 8,5A | 8,0A | 11,2 ^a |
| B | mg.dm ⁻³ | 0,62A | 0,69A | 0,62A | 0,49A | 0,56A | 0,44 ^a |
| Cu | mg.dm ⁻³ | 0,92A | 1,10A | 0,75A | 0,90A | 1,12A | 0,80 ^a |
| Fe | mg.dm ⁻³ | 77,75B | 81,25B | 140,5A | 68,7 B | 80,5 B | 136,3 ^a |
| Mn | mg.dm ⁻³ | 47,5A | 60,0A | 46,7A | 36,5A | 53,5A | 46,7 ^a |
| Zn | mg.dm ⁻³ | 1,0 AB | 1,22 A | 0,40 B | 0,9A | 1,25A | 0,42 ^a |
| AF | g.dm ⁻³ | 302,5A | 292,5A | 310,0A | 301,5A | 312,5 A | 312,5 ^a |
| Argila | g.dm ⁻³ | 640,0A | 640,0A | 637,5A | 645,0A | 642,5 A | 630,0A |
| AG | g.dm ⁻³ | 57,5 A | 62,5 A | 50,0 A | 62,5 A | 45,0 A | 57,5 A |

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % na coluna. AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa (referencial).

As mudanças nos sistemas estudados influenciaram a concentração de matéria orgânica no solo (Tabela 1). Os valores de matéria orgânica mostraram-se superiores nas camadas superficiais, o que já havia sido observado por Marin *et al.* (2004), Araújo *et al.* (2004) e Freitas (2011), diferenciando-se das camadas subsuperficiais. Os valores de MO foram estatisticamente maiores na mata, nas duas profundidades avaliadas, indicando que a retirada da mata e a utilização agrícola reduziram os teores de C orgânico no solo. Devido ao revolvimento do solo sob cultivo, a aeração é maior sendo a mineralização da MO favorecida, o que explica os resultados observados e também maior acúmulo de restos vegetais, proporcionando o acúmulo de MO no solo (RANDO, 1981). Esses resultados também estão de acordo com Portugal *et al.* (2010), segundo os quais há um declínio no estoque de MO após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. Segundo esses autores, essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da MO do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas, o que está ocorrendo em maior intensidade nas áreas com o cultivo de cana-de-açúcar.

A maior CTC na mata nativa também foi observada por Canellas *et al.* (2003), no qual encontraram maiores valores de CTC nos manejos que mantiveram e/ou aumentaram o teor de MO do solo. A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é importante e foi estimada entre 56 e 82% da CTC da camada superficial de solos sob condições tropicais (RAIJ, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação (RANGEL e SILVA, 2007). Neste tipo de solo, os latossolos brasileiros, a MO é a principal geradora de cargas negativas na superfície (FONTES *et al.*, 2001; SOUSA *et al.*, 2007), sendo natural a maior CTC encontrada na área com mata, onde se encontram os maiores teores de MO. Resultados similares também foram obtidos por Portugal *et al.* (2010).

A CTC é responsável pela retenção de K, Ca, Mg, além dos nutrientes que são cátions metálicos como cobre, ferro, manganês e zinco. Na Tabela 1 observa-se que a CTC aumenta em função da MO. Segundo Brams (1971), o decréscimo da CTC pode ser atribuído à diminuição da quantidade de MO e do pH. A CTC do solo também teve seus maiores valores encontrados na área com mata nativa, na profundidade de 0-10 cm, havendo diferença significativa entre as duas profundidades neste ambiente, mas não na área cultivada.

Os teores de K, Ca e Mg variaram estatisticamente entre os diferentes usos do solo. Os teores médios de Ca, Mg e K foram estatisticamente maiores na área sob cultivo, nas duas profundidades analisadas, exceto para o K, que na profundidade de 10-20 cm não foi observado tal significância. Possivelmente, valores elevados desses nutrientes na área cultivada sejam devido às contínuas aplicações de calcário e fertilizantes.

Os maiores valores de K, Ca e Mg e os menores de Al no canavial deve-se ao maior nível tecnológico aplicado, com realização de correções químicas do solo nesses ambientes, repondo os nutrientes exportados pela produção e/ou, perdidos pela erosão e lixiviação. Na mata, os teores baixos de nutrientes explicam-se, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo, como mostrado para o ambiente de Mar de Morros (PORTUGAL *et al.*, 2008; PORTUGAL *et al.*, 2010).

Os valores de SB e V% seguem a tendência dos valores descritos para K, Ca e Mg, no qual, em ambos os casos, possuem maiores valores para a área de cana-de-açúcar. À medida que se reduziu a saturação por bases, o pH também diminuiu. A acentuada redução em bases trocáveis pode estar associada à redução da MO e à remoção de cátions, principalmente o Ca e o Mg.

Os teores de Al variaram significativamente entre as áreas, com os maiores valores ocorrendo na mata e os menores na área cultivada, acompanhando as variações de pH, já que o Al tóxico às plantas é reduzido à medida que o pH aumenta (ALVAREZ *et al.*, 1999; SOUSA *et al.*, 2007; PORTUGAL *et al.*, 2010). Os maiores valores médios de pH verificados na área sob cultivo são decorrentes das calagens realizadas, porém, os valores médios de pH observados nas áreas, variando de 3,75 a 6,2 sugerem boas condições para a disponibilidade da maioria dos nutrientes principalmente no ambiente cana-de-açúcar.

Os valores de acidez potencial (H+Al) também variaram entre os usos, apresentando comportamento similar ao mostrado pelo Al^{3+} , com os maiores valores observados na mata e menores no canavial, estando a área reflorestada intermediária aos demais manejos. Os valores de H+Al na área de mata nativa foram maiores entre os usos agrícolas nas duas profundidades, o que não aconteceu com o Al^{3+} , indicando que a diferença na acidez potencial nesse ambiente deve-se ao maior valor de H. Isso se explica pelo maior teor de MO observado na mata (Tabela 1), já que a matéria orgânica do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H que irá compor os

íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (RANGEL e SILVA, 2007; SOUSA *et al.*, 2007).

A saturação por alumínio apresentou maiores valores na área com mata nativa, que não recebe calagem, seguindo os valores de pH, Al e H+Al. Segundo Cardozo (2008), os elevados teores de H+Al são decorrentes dos altos teores de carbono orgânico verificado nas áreas. Segundo Tibau (1984), a matéria orgânica é uma fonte de prótons H⁺ que tendem a acidificar os solos. Tal acidificação reflete de modo mais acentuado nos valores de acidez extraível que no pH do solo.

Os teores de P disponível foram estatisticamente maiores nas áreas com reflorestamento e canavial nas duas profundidades, enquanto a mata apresentou os menores valores. Os teores mais elevados de P disponível nos solos justificam-se em função das adições de fósforo nos cultivos sucessivos da cana-de-açúcar. O fósforo é considerado um elemento essencial para as plantas e se encontra em baixa quantidade nos solos brasileiros (BASTOS *et al.*, 2008).

Os valores de S, B, Cu e Mn não diferiram entre os sistemas de uso e manejo em ambas as profundidades estudadas (Tabela 1), o que demonstra que os sistemas não conseguiram alterar a quantidade destes elementos no solo. Tal comportamento corrobora os resultados encontrados por Silva *et al.* (2016), em solos sob uso intensivo comparados com solos de mata nativa adjacentes.

Os teores de ferro apresentaram-se significativamente maiores em solo sob mata nativa, nas duas profundidades, quando comparados aos demais manejos. O pH afeta a distribuição dos micronutrientes que estão associados aos diferentes componentes do solo. O menor pH aumenta a presença do micronutriente como o Fe, que é o micronutriente que sofre o maior efeito da elevação do pH sobre a diminuição da solubilidade, comparativamente a Cu, Mn e Zn (LINDSAY, 1972). Portanto, considerando que os valores de pH para a área de mata nativa, nas duas profundidades, são substancialmente inferiores às outras duas áreas, este pode ser o fator a explicar as diferenças observadas quanto aos teores deste micronutriente.

Quanto aos atributos físicos, nota-se que a mata é o ambiente que possui os maiores valores de porosidade total e macroporosidade (Tabela 2). Tais valores foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa. Resultados similares, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por Silva e Ribeiro (1992) e Freitas (2011). A drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do

solo (SILVA *et al.*, 2008; FREITAS, 2011). A porosidade total (Pt) se comportou da mesma maneira que os valores da macroporosidade do solo e inversamente proporcional à Ds, sendo influenciada significativamente pelos diferentes usos do solo, nas duas profundidades, com os maiores valores sendo encontrados nas áreas de mata nativa.

A Ds foi maior na AC em comparação com a AM e AR em ambas as profundidades analisadas. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Islam e Weil (2000), Araújo *et al.* (2004) e Viana *et al.* (2011) que constataram um valor médio da Ds significativamente maior em área cultivada comparada com solo sob mata natural. Também Silva e Ribeiro (1992), e Portugal *et al.* (2010) obtiveram resultados similares, comparando solo cultivado com cana e sob mata nativa. A maior Ds nos solos cultivados está relacionada com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas (HAJABBASI *et al.*, 1997; HARTEMINK, 1998; CAVENAGE *et al.*, 1999; HAMZA e ANDERSON, 2005; FREITAS *et al.*, 2011). Também, segundo Steinbeiss *et al.* (2009), afirmam que a menor densidade do solo nas áreas com mata nativa deve-se aos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constrói canais, cavidades e galerias. O aumento da densidade do solo na área cultivada também pode ser explicado pelo tempo de cultivo da cana-de-açúcar na área em estudo

Tabela 2 – Valores dos atributos físicos do solo nas diferentes áreas estudadas.

| Atributos Físicos | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Áreas | Densidade | Pt | Micro | Macro |
| | g.cm⁻³ | | % | |
| 0 a 10 cm | | | | |
| AC | 1,68A | 39,44C | 15,46A | 24,03C |
| AR | 1,45B | 47,10B | 16,07A | 31,02B |
| AM | 1,22C | 55,45A | 16,41A | 39,17 ^a |
| 10 a 20 cm | | | | |
| AC | 1,73A | 37,62C | 15,46A | 22,16C |
| AR | 1,48B | 45,86B | 15,17A | 30,69B |
| AM | 1,23C | 55,27 ^a | 16,23A | 39,04A |

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % na coluna. AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa (referencial); PT: porosidade total, Macro= macroporosidade; Micro= microporosidade.

A microporosidade do solo não apresentou diferença significativa nas áreas em estudo. Silva e Kay (1997) verificaram que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura, teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas, implementos, etc. Segundo Araújo *et al.*, (2004), em estudo comparativo das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado e sob mata nativa, não verificaram diferenças significativas na microporosidade.

Considerando a Tabela 3, os dados referentes aos atributos granulométricos, argila, areia grossa e areia fina não houve diferença significativa em nenhum dos ambientes estudados, indicando a homogeneidade entre as áreas, bem como a ausência de modificações desse atributo com o manejo ou uso do solo.

Tabela 3 – Caracterização da textura do solo nas áreas estudadas.

| Textura do solo | | | |
|------------------------|---------------|---------------------|-------------------|
| Áreas | Argila | Areia grossa | Areia fina |
| g.dm^{-3} | | | |
| 0 a 10 cm | | | |
| AC | 302,5 A | 640,0 A | 57,5 A |
| AR | 292,5 A | 640,0 A | 62,5 A |
| AM | 310,0 A | 637,5 A | 50,0 A |
| 10 a 20 cm | | | |
| AC | 301,5 A | 645,0 A | 62,5 A |
| AR | 312,5 A | 642,5 A | 45,0 A |
| AM | 312,5 A | 630,0 A | 57,5 A |

AC= área cultivada com cana de açúcar; AR= Área reflorestada; AM= Área com mata nativa.

Ao final da análise individual das três áreas estudadas, constata-se que a análise dos parâmetros físicos e químicos são relevantes, embora devamos considerar o solo do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Qualitativamente, os principais parâmetros a serem considerados são MO, CTC e densidade do solo, que definem o potencial de produtividade. A MO, por estar relacionada com os aspectos químicos, físicos e microbiológicos do solo, a CTC por definir a retenção de nutrientes, e a densidade por estar relacionada com a retenção de água, uma vez que interfere com a porosidade do solo. Por outro lado, quantitativamente é

levado em conta o suprimento de nutrientes, que pode ser manejado imediatamente para a solução de uma possível deficiência. Dessa forma, as maiores atenções devem estar voltadas para os parâmetros quantitativos do solo.

Com o objetivo de melhor entender as relações entre os três ambientes analisados, é possível verificar, contrastando os ambientes estudados por meio da Tabela 4, que os maiores valores de F são encontrados quando a área cultivada com cana-de-açúcar é comparada com a mata nativa. Nota-se que a área reflorestada está mais próxima do ambiente cultivado que o da mata nativa. Talvez, por está área estar em fase inicial da sua recuperação, ainda não atingiu a adequada qualidade química do solo, em se tratando de MO e CTC do solo. Outra explicação provável para este resultado seria o solo da área cultivada ser o mais revolvido devido às práticas culturais adotadas, ao uso intensivo de implementos agrícolas que afetam diretamente os atributos físicos do solo analisados. Essas diferenças de agrupamento são resultado, portanto, das diferenças dos atributos observadas, possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade das áreas estudadas.

Tabela 4 – Resultado da Manova contrastando as áreas estudadas com todas as variáveis em conjunto.

| Contraste entre os manejos estudados | |
|---|------------------|
| Áreas | ANOVA – F |
| AC x AR | 287,29*** |
| AC x AM | 479,34*** |
| AM x AR | 356,96*** |

(***) Todos os valores são significativos para $p < 0.001$

Nas demais áreas, apesar de serem estatisticamente diferentes, possuem características mais semelhantes, devido aos seus menores valores de F. Uma explicação provável para este resultado deve-se provavelmente ao cultivo da cana-de-açúcar promover depreciação da MO e da CTC em função do preparo intensivo do solo e de uso de fertilizantes.

CONCLUSÕES

1. Os atributos químicos, físicos do solo e a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como pedoindicador ambiental da qualidade física e química do solo.

2. A qualidade do solo para as áreas avaliadas segundo os métodos utilizados está assim ordenada: Mata Nativa> Reflorestamento> Cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H. *et al.* Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais - 5a aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.

ARAÚJO, E. A. *et al.* Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004.

BASTOS, A.L. *et al.* Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.

BERTOL, I. *et al.* O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, v.58, n. 3, p.555-560, 2001.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. Madison: ASA/SSSA, 1986. p. 363-375.

BRAMS, E.A. Continuous cultivation of West African soils: organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. *Plant and Soil*, v. 35, n. 1-3, p. 401-414, 1971.

CANELLAS, L.P. *et al.* Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p.935-944, 2003.

CARDOSO, E.L. *et al.* Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011

CARDOZO, S.V. *et al.* Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. *Semina*, v. 29, n. 3, p. 517-530, 2008.

CARNEIRO, M.A.C. *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CAVENAGE, A. *et al.* Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 2006. 354p.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v.58, n.3, p. 627-646, 2001.

FREDDI, O.S. *et al.* Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 4, p. 627-636, 2007.

FREITAS, L. *Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal), Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2011. 115 p.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C; DESUÓ, I. C. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento florestal nativo. *Holos Environment*, v. 11, n. 2, p. 137-147, 2011.

GOLDIN, A.; LAVKULICH, L. M. Historical land clearing in the fraser lowland of British Columbia and Washington State: 1. Effects on soil genesis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 52, p. 467-473, 1988.

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A.; KARIMZADEH, H.R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant Soil*, v. 190, n. 2, p. 301-308, 1997.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Research*, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, v.85, n. 4, p. 283-306, 1998.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v.79, n. 1, p. 9-19, 2000.

JIMENEZ, R.L. *et al.* Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, v. 42, n.3, p. 421-428, 1978.

LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. *Advances in Agronomy*, v. 24, p. 147-186, 1972.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARIN, A.M.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. Impactos da implantação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. *Agropecuária Técnica*, v. 25, n. 1, 2004.

MELO FILHO, J.F. *et al.* Comportamento espectral de um Latossolo Amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. *Magistra*, v. 16, n. 2, p. 105-112, 2004.

MINITAB RELEASE 14.1. Statistical Software. US/Canadá; 2000.

NEVES, C.M.N. *et al.* Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, n. 74, n. 5, p. 45-53, 2007.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

PORTUGAL, A.F. *et al.* Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n. 1, p. 249-258, 2008.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van., ed. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p. 17-31.

RANDO, E. M. *Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional*. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1981. 161p.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 80, p. 1609-1623, 2007.

REICHERT, J.M. *et al.* Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REZENDE, S.B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. *Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 261-289.

SANTOS, G.V. *et al.* Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v.31, n. 5, p.931-940, 2007.

SILVA, L.S. *et al.* Heavy metal contents in Latosols cultivated with vegetable crops. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.46, p.391–400, 2016.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society America Journal*, v. 61, n. 03, p. 877-883, 1997.

SILVA, F.I. *et al.* Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. *Irriga*, v.13, n. 1, p. 191-204, 2008.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, n. 3, p. 397-402, 1992.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia Alto do Rio Grande-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. *et al.* *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 6, p. 1301-1310, 2009.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2. p. 487-494, 2008.

TIBAU, A.O. *Matéria orgânica do solo: matéria orgânica e fertilidade do solo*. São Paulo: Nobel, 1984. 172p.

VIANA, E.T. *et al.* Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.