

DANIELA COSTA SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS E
MINERALÓGICOS DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES
PREPAROS DO SOLO**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237c
2005

Santos, Daniela Costa, 1976-
Carbono orgânico e atributos químicos e mineralógicos
de um argissolo sob diferentes preparos do solo. / Daniela
Costa Santos. – Viçosa: UFV, 2005.
ix, 52f. : il. ; 29cm.

Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui Bibliografias.

1. Química do solo. 2. Solos - Teor de carbono orgâni-
co. 3. Eletroquímica. 4. Palha - Utilização na agricultura.
5. Húmus. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.41

DANIELA COSTA SANTOS

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS QUÍMICOS E
MINERALÓGICOS DE UM ARGISSOLO SOB DIFERENTES
PREPAROS DO SOLO**

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 29 de março de 2005.

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Conselheiro)

Prof. Caetano Marciano de Souza
(Conselheiro)

Profa. Irene Maria Cardoso

Prof. Marx Leandro Naves Silva

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes
(Orientador)

Aos meus pais, Antônio Eustáquio e Maria Augusta
Aos meus irmãos, Gustavo e Rodrigo...

... dedico esta realização!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela paz espiritual e conforto.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Fundo de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Maurício Paulo Ferreira Fontes, pela orientação e amizade.

Ao professor Eduardo de Sá Mendonça pelas sugestões e aconselhamento

Ao professor Caetano Marciano de Souza pelo aconselhamento.

Aos funcionários José Francisco, Lula, Cláudio, Zélia, Cardoso e Beto pela constante ajuda.

Aos estagiários Tales, Giraia e Viviane pela ajuda na condução do trabalho.

Aos meus pais e irmãos pela presença constante em minha vida, conselhos e confiança.

Aos meus avós e tios que sempre torceram por esta realização.

Ao Rodrigo pelo carinho e pela ajuda sempre que precisei.

Aos meus queridos amigos Adriana, Célia, Cris, Bianca, Gabi, Tales, Beno, Sávio, Luciano, Ignácio, Dani, Adilson, Lindomário e Rozane.

BIOGRAFIA

DANIELA COSTA SANTOS, filha de Antônio Eustáquio Santos e Maria Augusta Costa Santos, nascida no dia 7 de agosto de 1976, em Lavras-MG.

Em julho de 2001 foi diplomada Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG.

Em abril de 2002, ingressou no mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, vinculado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Magister Scientiae* nesta ocasião.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1. Quantificação e distribuição de carbono orgânico total e de substâncias húmicas em diferentes formas de preparo do solo.....	4
Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e métodos.....	10
Resultados e discussão.....	15
Conclusão.....	24
Referências bibliográfica.....	25
CAPÍTULO 2. Propriedades elétricas e atributos mineralógicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes formas de preparo do solo.....	29
Resumo.....	30
Abstract.....	32
Introdução.....	34
Material e métodos.....	37
Resultados e discussão.....	41
Conclusão.....	50
Referências bibliográfica.....	51

RESUMO

SANTOS, Daniela Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, março de 2005.
Carbono orgânico e atributos químicos e mineralógicos de um argissolo sob diferentes preparos do solo. Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes.
Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça e Caetano Marciano de Souza.

O preparo do solo é uma das mais importantes etapas a ser realizada no solo para exploração agrícola. Ao longo do tempo diferentes tipos de preparo do solo se desenvolveram. O conteúdo e distribuição do carbono orgânico e as composições mineralógica e química do solo podem ser influenciadas pelas práticas de manejo adotadas. O carbono orgânico representa a principal fonte de cargas negativas em solos com avançado grau de intemperismo, tornando-se fundamental seu estudo para a manutenção e/ou elevação do seu teor no solo, como também o estudo das cargas elétricas do solo. Os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos de três sistemas de preparo do solo sobre a distribuição de carbono orgânico ao longo do perfil, atributos mineralógicos, físicos e propriedades eletroquímicas, especialmente o ponto de carga zero (PCZ) do solo. Os sistemas de preparo do solo utilizados foram semeadura direta (SD) e preparos convencionais com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 100-120 cm. Foi determinado o carbono orgânico total (COT), nas amostras de solo. O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica de solubilidade diferencial. O PCZ foi estimado pelo ponto de carga zero por efeito salino (PCZES) que, por sua vez, foi calculado por

curvas de titulação potenciométrica. Os maiores teores de COT foram observados nas camadas superficiais, diminuindo com o aumento da profundidade. Na camada superficial a SD permitiu maior armazenamento de carbono orgânico que os demais sistemas. Os ácidos fúlvicos e húmicos e a humina diminuíram em profundidade, com exceção da profundidade 100,0-120,0 cm que teve um pequeno aumento. O teor de carbono da fração humina foi maior em relação às outras frações das substâncias húmicas. De um modo geral, o solo estudado apresentou baixos valores de PCZES para todos os sistemas e praticamente o mesmo para idênticas profundidades.

ABSTRACT

SANTOS, Daniela Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, March, 2005.
Organic matter content and distribution and changes in chemical and mineralogical attributes of on Red- Yellow Argisol under different tillage systems. Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Committee members: Eduardo de Sá Mendonça and Caetano Marciano de Souza.

The soil preparation is one of the most important stages to be accomplished in the soil for agricultural exploration. Through the time different types of preparation of the soil were developed. The organic matter content and the distribution and the mineralogical and chemical compositions of the soil can be influenced by the adopted handling practices. The organic matter represents the main source of negative charges in soils with advanced weathering degree, making its study essential to the maintenance and/or elevation of its content in the soil, as well as the study of the soil electric charges. The objectives of this work were to evaluate the effects of three soil preparation systems on the carbon distribution by the soil profile, and also on mineralogical and physical attributes, and some electrochemistries properties, especially the point of zero charge (PZC) of the soil. The systems of preparation were: no tillage (NT) and conventional preparations with disk plow (DP) and with heavy grating (HG). The soil samples were taken from the depths of 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 and 100-120 cm. It was determined the total organic carbon (TOC), in the soil samples. The humics substances were fractionated according to the technique of differential solubility. The PZC was

estimated by the point of zero charge by saline effect (PZCSE) which was calculated by curves of potentiometer titulation. The largest contents of TOC were observed in the superficial layers, decreasing with the increase of the depth. In the superficial layer, in the NT there was a tendency to increase of the TOC in relation to the other preparations of the soil. The fulvic, humics and the humin fractions decreased with depth, except that the depth 100,0-120,0 cm that was a little increased. The carbon content of the humin fraction was larger than the other humics substances. The NT let a larger storage of organic carbon than the other systems. In general, the studied soil showed low values of PZCSE in all systems and practically the same ones in the identical depths.

INTRODUÇÃO GERAL

O conteúdo e a distribuição do carbono orgânico e as características físico-químicas do solo podem ser influenciadas pelas práticas de manejo adotadas. Da composição mineralógica do solo não se tem ainda nenhuma observação. O preparo do solo, nas suas mais diversas formas, é uma operação importante no manejo, atuando diretamente sobre a estrutura, a qual afeta uma série de outras propriedades do solo, especialmente a densidade, porosidade, permeabilidade do solo à água e teores de carbono orgânico total, as quais tendem a diferenciar-se da condição natural do solo, piorando com o decorrer do tempo (Anjos et al., 1994), podendo levar rapidamente o solo às degradações físicas, químicas e biológicas. Longe de ser uma tecnologia simples, o preparo do solo compreende um conjunto de práticas que, quando usadas racionalmente, pode permitir alta produtividade das culturas (EMATER, 2000).

Dentre os principais sistemas de preparo do solo destacam-se os chamados convencionais, que se tratam basicamente de operações de aração e gradagem. Este preparo revolve o solo e incorpora os resíduos culturais fazendo com que haja uma homogeneidade da camada arável. Na semeadura direta a semente é colocada no solo não revolvido (sem prévia aração ou gradagem) sobre uma cobertura vegetal morta quimicamente, ou sobre os resíduos da cultura anterior, usando-se semeadoras especiais. Este sistema envolve a formação de cobertura do solo; a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; a adoção de métodos integrados de controle

de plantas invasoras, através de cobertura do solo e herbicidas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura (EMATER, 2000; Furtini Neto et al, 2001).

Acredita-se que os sistemas convencionais causem as maiores modificações estruturais, deixando os solos mais suscetíveis ao processo erosivo enquanto que a semeadura direta apresenta pequena mobilização e exposição superficial do solo, o que resulta em menor erosão (EMATER, 2000).

O sucesso da semeadura direta depende de boa correção do solo antes da adoção do sistema, com neutralização do alumínio tóxico, aumento das bases trocáveis e a conseqüente disponibilização de nutrientes do solo (Sá, 2002). O ambiente menos oxidativo do sistema de semeadura direta associado a sistemas de rotação de culturas que apresentam um alto aporte de resíduos vegetais contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica e assim o solo passa a atuar como dreno de C-CO₂ da atmosfera (D`Andrea et al., 2004). Por outro lado, o estoque de carbono tende a diminuir quando o solo é submetido a sistemas de preparo com revolvimento mais intenso, isto se deve ao aumento da oxidação microbiana do carbono e também suas perdas por erosão.

O manejo do solo que o expõe à erosão ou afeta as características favoráveis ao desenvolvimento das plantas, pode, em pouco tempo, transformar solos de boa produtividade em solos pouco produtivos gerando a necessidade de sua recuperação, o que nem sempre é totalmente possível e economicamente viável (Venturim e Bahia, 1998).

Os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos da semeadura direta e dos preparos convencionais com arado de disco e com grade pesada sobre a distribuição de carbono ao longo do perfil, e também sobre atributos mineralógicos, físicos e algumas propriedades eletroquímicas, especialmente o PCZ do solo, de modo a identificar qual deles é mais eficiente na conservação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTO, V. J.; LAITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18: 139-145, 1994.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 39, n. 2, p. 179-186, Brasília, 2004.

EMATER-DF. **Preparo do solo**. Disponível em: <www.emater.df.gov.br/grspreparo.html>. Acesso em 03 julho 2004.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p. (Textos Acadêmicos).

SÁ, J. C. M. Gênese e manejo da acidez do solo no sistema de semeadura direta. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 99, p. 4, 2002.

VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G. Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e suas susceptibilidade à erosão. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 7-9, 1998.

Capítulo 1

QUANTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO E DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DO SOLO

RESUMO

SANTOS, Daniela Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, março de 2005.
Quantificação da distribuição de carbono orgânico total do solo e de substâncias húmicas em diferentes formas de preparo do solo. Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça e Caetano Marciano de Souza.

Os sistemas de preparo do solo influenciam seu teor de carbono orgânico. Assim, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da semeadura direta (SD) e os preparos convencionais com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP) sobre a distribuição de carbono orgânico total do solo e de substâncias húmicas ao longo do perfil. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 100-120 cm. Foi determinado o carbono orgânico total (COT), nas amostras de solo. O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica de solubilidade diferencial onde se separou as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (HUM), de acordo com os conceitos de frações húmicas. Os maiores teores de COT foram observados nas camadas superficiais, diminuindo com o aumento da profundidade. Na camada superficial, o COT na SD foi maior em relação aos demais tratamentos. Os teores de carbono dos ácidos fúlvicos (FAF) diferiram apenas entre os sistemas convencionais, onde a FAF apresentou-se maior no sistema AD. Para os teores de carbono da FAH, verificou-se um aumento no sistema AD em relação aos outros preparos. O teor de carbono da fração humina foi maior em relação às outras frações das substâncias húmicas, mas não houve diferenças entre os sistemas de preparo e diferentes profundidades.

ABSTRACT

SANTOS, Daniela, Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, march of 2005. Quantification of total carbon and of humics substances in soil under different preparation forms. Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Committee members: Eduardo de Sá Mendonça and Caetano Marciano de Souza.

The soil tillage systems influence its organic matter content. Therefore, this work evaluated the effects of no tillage (NT) and the conventional soil preparation with disk plow (DP) and with heavy grating (HG) on total organic carbon and humic substances through the soil profile. The soil samples were collected at depths of 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 and 100-120 cm. The total organic carbon was determined (COT), in the soil samples. The humic substances fractioning was realized according with the technique of differential solubility where the fulvic acids (FAF), humics acids (FAH) and the humin (HUM), were separated in agreement with the concepts of humics fractions. The major contents of COT were observed in the superficial layers, decreasing with the increase of depth. In the superficial layer, COT in SD was higher in relation to the other treatments. The content of carbon of the fulvics acids (FAF) just differed among the conventional systems, where FAF showed de highest values in the system AD in comparison with the others systems of soil preparation. The content of carbon of the humin fraction was higher in relation to the other fractions of the humic substances, but there were not significant differences among tillage systems and depths.

INTRODUÇÃO

O teor de carbono orgânico do solo (COS) é para muitos pesquisadores, o atributo que melhor representa a qualidade do solo, podendo ser notadamente influenciado pelos sistemas de preparo. A matéria orgânica contribui com mais de 70% da CTC dependente de pH nos principais solos agrícolas paranaenses (Muzilli, 2002), propiciando assim, uma maior capacidade de retenção de nutrientes, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , evitando que eles sejam lixiviados. Sistemas de preparo que revolvem menos o solo favorecem o acúmulo de nutrientes na camada superficial (0-5 cm), enquanto nos sistemas de preparo que revolvem mais o solo, os nutrientes distribuem-se mais uniformemente ao longo da camada arável (Klepkner & Anghinoni, 1995).

O preparo intensivo do solo causa redução no conteúdo de matéria orgânica, rompendo seu estado estável, aumentando as taxas de perda de carbono e reduzindo a taxa de adição via resíduos culturais, emitindo grande quantidade de CO_2 para a atmosfera (Amado, 2002). A degradação da fração orgânica do solo nessas condições de preparo é rápida e vem acompanhada de um processo geral de degradação das condições químicas, físicas e biológicas, tendo efeitos negativos principalmente na CTC, disponibilidade de nutrientes (N, P, S), estabilidade de agregados e atividade microbiológica (Bayer & Mielniczuk, 1999). Os sistemas de preparo do solo, ao alterarem as propriedades físicas do solo, podem afetar a disponibilidade de água para as plantas. Em consequência, a absorção de nutrientes também é afetada, pois a

sua relação com a água é muito estreita, pelo efeito desta sobre os mecanismos de contato íon-raiz (Rosolem, 1987).

A mineralização do COS aumenta com revolvimento do solo que pode assim, acelerar a formação de moléculas de baixo peso molecular e, dependendo do pH do solo, favorecer a dispersão de partículas de argila e sua eluviação, com possíveis incrementos na densidade do solo (Oades,1984).

A substituição do preparo convencional pela semeadura direta, por diminuir a velocidade de mineralização do COS e não quebrar os agregados do solo propicia uma maior eficácia no controle da erosão, o que resulta em menores perdas de nutriente e de matéria orgânica. Essa redução nas perdas de COS vai depender do papel que as espécies vegetais exercem sobre os estoques de CO e isto vai depender do aporte de CO ao solo proporcionado pelas plantas, da relação C/N dos resíduos, da superfície do solo coberta por diferentes culturas e da composição dos resíduos vegetais.

A semeadura direta, quando praticada por vários anos ininterruptos, resulta em maiores incrementos no teor de MOS na camada superficial dos solos e mesmo em profundidade, em relação ao sistema convencional (Oades, 1984). Para se obter sucesso com a semeadura direta, esta deve ser iniciada com a correção do solo antes da adoção do sistema, com o objetivo de neutralizar o alumínio tóxico e aumentar as bases trocáveis com conseqüente disponibilização de nutrientes do solo. Com a estabilização do sistema de semeadura direta e aumento da matéria orgânica do solo, a liberação de prótons H^+ no meio através das reações de nitrificação não causam grandes variações no pH devido ao aumento do efeito tampão do solo (Sá, 2002).

A tendência de acidificação em SD é menor quando comparado ao PC por ser mais lenta e gradativa a mineralização do CO acumulado sobre a superfície, não proporcionando a acumulação intensiva de ácidos orgânicos na camada superficial do solo (Muzilli,1985 e Alvarenga,1996).

O estoque de carbono na SD com a proteção superficial do solo tende a ser maior que nos outros sistemas convencionais (D`Andrea et al., 2004 e Freitas et al., 2000).

O estoque de carbono nas frações mais humificadas representa uma grande proporção do COS total e aumenta após a semeadura direta (Bayer et al., 2002).

Apesar do COS aumentar sob sistemas de SD e com elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que este aumento também depende de outros fatores,

tais como, clima, principalmente temperatura e precipitação (Alvarez & Lavado, 1998), textura e mineralogia do solo (Parfitt et al., 1997).

Os solos, o clima e, especialmente, a distribuição das chuvas são muito variáveis de uma região para outra, por isso a adoção do sistema de SD exige adaptação das práticas de manejo às diferentes condições edáficas do norte ao sul do país, incluindo os diversos tipos de sucessão de culturas e seus períodos de cultivo. As seguintes hipóteses de trabalho foram levantadas:

- A distribuição de carbono orgânico total do solo segue numa ordem decrescente em relação preparo do solo, sendo que a SD acumula mais MOS ao longo do perfil em relação aos outros dois sistemas de preparo.
- A SD apresenta maior estoque de carbono.

A partir destas hipóteses os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito da semeadura direta e preparos convencionais com arado de disco e com grade pesada sobre a distribuição de carbono orgânico total do solo, das substâncias húmicas e suas relações e o estoque de COT ao longo do perfil.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e Descrição da Área

O estudo foi realizado em um experimento conduzido desde 1985 e localizado na Estação Experimental de Coimbra-MG. A área do experimento está situada a 20°45' S e 42° 51' W, com altitude de 700m. A temperatura média anual é de 19° C e a precipitação média anual é de 1.400 mm, concentrada principalmente nos meses de outubro a março (Falleiro, 2002). O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

A área, anteriormente ao experimento, estava sob vegetação natural até a década de 30 e posteriormente com culturas de subsistência, por cerca de 50 anos. Para a implantação dos sistemas de manejo foi feita inicialmente uma correção da acidez do solo com aplicação de 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação utilizada ao longo desse período para a cultura do milho foi na semeadura 400 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8 (14, 49 e 28 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente), na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; para a cultura do feijão e trigo, foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da mesma fórmula, utilizando as mesmas fontes de N, P, K na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura para feijão e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, em cobertura para o trigo e para a cultura da soja foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da mistura de 300 kg de superfosfato simples para 50 kg de cloreto de potássio, na semeadura (Falleiro, 2002).

As culturas implantadas ao longo do experimento foram as seguintes: 1985/86 – consórcio milho/feijão da “seca”; 1986/87 – das “águas” e da “seca”; 1987/88 – milho; 1988/89 – milho; 1989/90 – feijão das “águas” e da “seca”; 1990/91 – milho; 1991/92 – milho; 1992/93 – milho; 1993/94 – milho; 1994/95 – milho; 1995/96 – milho e trigo; 1996/97 – soja e trigo; 1997/98 – soja e trigo; 1998/99 – feijão; 1999/00 – milho; 2001/2002 – milho (Falleiro, 2002).

Procedimento Experimental e Tratamentos

Foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três tratamentos (sistemas de preparo do solo) e quatro repetições, perfazendo um total de 12 unidades experimentais. As unidades experimentais apresentam dimensões de 14 m de comprimento e 8 m de largura separadas entre si por uma rua de 5 m. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com os tratamentos arranjados como em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram incluídos os três sistemas de preparo e as profundidades foram consideradas como subparcelas.

Os sistemas de preparo estudados foram os seguintes:

1. Semeadura Direta (SD) – o solo foi trabalhado ao longo das linhas de plantio, com uma semeadora/adubadora, de tração motorizada, própria para a semeadura direta.
2. Arado de disco (AD) – foi utilizado arado reversível, com três discos de 26” de diâmetro, de tração motorizada. Foi feita a cada ano uma aração na camada de 0-20 cm aproximadamente. Após a aração foram feitas duas gradagens, com grade niveladora hidráulica de 28 discos de 18” de diâmetro, para destorroamento do solo e uniformização do terreno.
3. Grade Pesada (GP) – foi feita a cada ano uma gradagem na camada de 0-15 cm utilizando uma grade aradora de tração motorizada, com 20 discos de 24” de diâmetro. Em seguida foram realizadas duas gradagens niveladoras da mesma maneira do outro sistema convencional.

Amostragem

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 100-120 cm nas doze unidades experimentais. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA).

Análises físicas

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), que consiste na retirada de uma amostra indeformada, de volume conhecido, que posteriormente é seca em estufa a 110°C e pesada. Foi feita a média das amostragens.

A análise granulométrica, a argila dispersa em água e o equivalente de umidade foram determinadas (EMBRAPA, 1997). A partir dos dados de argila total e dispersa em água foi calculado o grau de dispersão a partir da fórmula: $GD = ADA/Atot * 100$, na qual GD é o grau de dispersão, ADA é a argila dispersa em água e Atot é a argila total.

Extração e Fracionamento das Substâncias Húmicas do Solo

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica de solubilidade diferencial onde se separou os ácidos fúlvicos (FAF) solúveis em ácido e em álcali; os ácidos húmicos (FAH) solúveis em álcali e insolúveis em ácido; e as huminas (HUM) insolúveis em ácido e em álcali, de acordo com os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Hayes et al, 1989).

A extração foi feita com 2,5 g do material, triturados em almofariz de ágata e passados em peneira de 0,210 mm de Ø, foram colocados em tubo de centrífuga de 115 mL e foram adicionados 25 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, agitados por 15 minutos, em agitador horizontal e deixado em repouso por 24 horas. Após o repouso, o conjunto de extração foi centrifugado a 754 x g (FCR_{média}) por 15 minutos, transferindo-se os sobrenadantes para tubos de centrífuga de mesma capacidade (115 mL) e reservando-os. Os tubos de centrífuga de 115 mL receberam 10 mL da solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, ressuspensando-se o precipitado, sendo agitados por 15 minutos. Após este período, as suspensões foram novamente centrifugadas por 15 minutos. Esse procedimento foi repetido, seqüencialmente, por mais duas vezes. Todos os sobrenadantes foram misturados, totalizando 45 mL.

O sedimento remanescente nos tubos de centrífuga, incluindo a fração humina (FH) e a fase mineral do solo, foram secos em estufa a 50° C e triturado em almofariz, onde posteriormente foi feita a análise de carbono orgânico da FH.

Os sobrenadantes, contendo as frações ácidos fúlvicos (FAF) e ácidos húmicos (FAH) dissolvidas, tiveram o pH ajustado para valor inferior a 2 com solução de H_2SO_4 (20%), possibilitando a precipitação da FAH. Após a precipitação, a FAH foi separada da fração solúvel por centrifugação a $754 \times g$ por 10 minutos.

A porção solúvel do extrato acidificado, correspondente a FAF, foi transferida para balão volumétrico de 50 mL tendo o seu volume completado com água destilada. O precipitado (FAH) recebeu aproximadamente 15 mL de solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Após total redissolução, o volume foi completado para 50 mL com a mesma solução de NaOH .

Determinação do Carbono Orgânico Total e das Frações Húmicas

Foi determinado o COT e C orgânico das FAF, FAH e FH, utilizando-se o processo de dicromatometria com fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

A FAF e FAH foram transferidas uma alíquota de 5 mL de cada fração para tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (dicromato de potássio) $0,0167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. Após breve agitação, os tubos foram colocados em bloco digestor, pré-aquecido a 170°C , por 30 minutos.

Os extratos digeridos e resfriados foram transferidos, quantitativamente, para erlenmeyers de 125 mL, utilizando água deionizada suficiente para um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionadas cinco gotas do indicador ferroin. A titulação foi feita com solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (sulfato ferroso amoniacal) $0,03 \text{ mol L}^{-1}$. Para esse processo, foram utilizados seis provas em branco, sendo três com aquecimento e três sem aquecimento.

Para a FH, o material seco em estufa a 50°C foi pesado e transferido para tubos de digestão onde recebeu 5 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,0418 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. A partir deste passo, o procedimento foi o mesmo descrito para as FAH e FAF, utilizando-se, contudo, solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ $0,08 \text{ mol L}^{-1}$ na titulação.

Cálculo do Estoque de Carbono

O estoque de carbono foi calculado nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm a partir da expressão:

$EstC = (COT \times Ds \times e)/10$, em que **EstC** é o estoque de carbono orgânico em uma determinada profundidade ($t \text{ ha}^{-1}$); **COT** é o teor de carbono orgânico total ($g \text{ kg}^{-1}$); **Ds** é a densidade do solo média da profundidade ($g \text{ cm}^{-3}$), determinada a partir de amostras indeformadas; **e** é a espessura da camada considerada (cm).

Análises Químicas

As amostras de solo foram submetidas às seguintes análises:

- pH em água (1:2,5);
- P e K disponíveis extraídos por Mehlich 1 (EMBRAPA, 1997) e determinados por colorimetria, a partir de adição de molibdato de amônio e ácido ascórbico e por espectrofotometria de chama, respectivamente;
- Ca^{2+} e Mg^{2+} extraídos por solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinados por espectrofotometria de absorção atômica,
- Al^{3+} extraído por solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinado por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$;
- Acidez potencial (H+Al) extraída por acetato de cálcio $0,5 \text{ mol/L}$ (Defelipo & Ribeiro, 1997);
- Fe-Zn-Mn-Cu totais e
- Fósforo remanescente (Alvarez V., 2000).
- Soma de bases trocáveis (SB);
- Índice de saturação de alumínio(m);
- Capacidade de troca efetiva (t): soma dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} ;
- Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T): soma dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e da acidez potencial.

Os métodos de análises químicas não referenciados foram definidos com base em EMBRAPA (1997).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993), sendo as médias dos fatores em estudo comparadas conforme a significância do teste F pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados considerando a existência de uma compartimentalização clara entre as amostras devido ao fato de que nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm existe uma maior influência da matéria orgânica, o que não se repete na amostra de 100,0-120,0 cm onde existe um predomínio nítido da parte mineral e muito pouca interferência da matéria orgânica.

A tabela 1 mostra os resultados da análise granulométrica, dos valores de equivalente de umidade, argila dispersa em água e o grau de dispersão.

Os conteúdos de areia grossa, silte e argila e os valores de equivalente de umidade e argila dispersa em água não variaram de modo significativo com os diferentes sistemas de preparo.

Os conteúdos de areia fina e silte foram diferentes ao longo do perfil e se mostraram maiores na profundidade de 100-120 cm, já para a argila dispersa em água, os valores apresentaram menores na profundidade de 100-120 cm. A partir dos dados de argila dispersa em água foram calculados os valores de grau de dispersão e se observa que nas profundidades de 0-20 cm esses valores foram bastante altos e na profundidade de 100-120 cm esses valores foram bastante baixos. Esses resultados demonstram a atuação intensa da matéria orgânica nesse fenômeno, provocando uma grande dispersão da argila e uma maior propensão à sua movimentação no perfil. O equivalente de umidade não foi influenciado pelos sistemas de preparo e nem pela profundidade. Vallejos, (1998) no mesmo local de estudo também não encontrou

diferenças significativas nos valores de equivalente de umidade. Porém, ele verificou que os valores aumentaram à medida que a profundidade aumentou, o que não aconteceu neste estudo. Estes valores estão associados com aumentos no teor de argila em profundidade, o que também não foi observado neste estudo.

Tabela 1. Características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes profundidades sob semeadura direta e preparos convencionais com arado de disco e grade pesada.

Profundidade cm	AG	A F	Silte	Argila	EU	ADA	GD
	%				kg kg ⁻¹	%	
Semeadura direta							
0-2,5	39,00a	10,50b	10,25b	40,25a	0,26a	28,36a	70,46a
2,5-5,0	35,50a	10,75b	10,00b	43,75a	0,25a	30,11a	68,82a
5,0-10,0	33,50a	11,00b	10,00b	43,50a	0,26a	31,16a	71,22a
10,0-20,0	36,50a	10,50b	11,00b	42,00a	0,25a	30,33a	71,79a
100,0-120,0	34,00a	17,00a	16,25a	32,75b	0,27a	0,66b	1,72b
Média	35,5A	11,75A	12,85A	39,7A	0,26A	24,12A	56,80A
Arado de Disco							
0-2,5	37,00a	10,75b	12,00b	40,25a	0,24a	28,36a	70,45a
2,5-5,0	36,75a	11,50b	11,75b	40,00a	0,26a	29,86a	74,65a
5,0-10,0	36,50a	12,00b	11,75b	39,75a	0,26a	32,96a	82,92a
10,0-20,0	37,50a	10,50b	12,50b	39,50a	0,26a	32,80a	83,04a
100,0-120,0	39,50a	18,50a	14,75a	27,25b	0,27a	0,58b	2,13b
Média	37,6A	12,65A	12,55A	37,4A	0,26A	24,9A	62,64A
Grade Pesada							
0-2,5	36,00ab	12,50b	11,75b	39,75a	0,27a	28,36a	71,35a
2,5-5,0	41,00a	10,25b	10,00b	38,75a	0,24a	29,86a	77,06a
5,0-10,0	35,80ab	11,70b	10,00b	42,50a	0,25a	32,96a	77,55a
10,0-20,0	34,80ab	9,70b	11,00b	44,50a	0,27a	32,8a	73,71a
100,0-120,0	29,00b	15,50a	15,00a	44,50a	0,29a	0,58b	1,33b
Média	35,12A	11,95A	11,60A	41,8A	0,26A	24,9A	60,20A

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna para diferentes manejos e numa mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Letras minúsculas comparam profundidades e letras maiúsculas comparam manejos.

AG= areia grossa; AF= areia fina; EU= equivalente de umidade; ADA= argila dispersa em água; GD= grau de dispersão.

A tabela 2 mostra os resultados da análise química do solo.

Não houve diferenças nos valores médios de pH em água entre os sistemas de preparo e em profundidade. Estes dados estão de acordo com Siqueira, (1995), pois seus dados de pH apresentaram valores semelhantes, com ou sem o revolvimento da camada superficial.

No entanto, Sidiras e Pavan (1985), observaram um aumento nos valores de pH nos solos nas camadas superficiais, sob SD em relação ao preparo convencional. Paiva et al. (1996), comparando a semeadura direta com o plantio convencional e preparo mínimo observaram que a semeadura direta acidificou mais a camada superficial, devido a nitrificação que ocorreu nesta camada, em razão do não revolvimento do solo. De modo geral, quando o solo é utilizado para a agricultura, tem-se um aumento da acidez afetando o estado estável natural do pH do solo (Paiva et al., 1996). Isto ocorre porque as raízes absorvem cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e eliminam o H^+ para o solo, tornando a planta alcalina e o solo ácido. Quando a planta morre e volta ao solo transformando-se em MO, sua alcalinidade neutraliza o ácido no solo e, assim, o pH do solo fica inalterado (Fenton, 2002).

Para o potássio disponível, observa-se um aumento nos valores médios entre os sistemas de preparo estudados. O valor médio de potássio disponível foi maior na profundidade de 0-2,5cm sob o sistema de semeadura direta. A concentração de potássio tendeu a decrescer com a profundidade em todos os sistemas, com exceção do AD que teve um pequeno aumento na camada de 10-20 cm em relação à camada de 5-10 cm. Outros autores também obtiveram maiores teores de potássio disponível na camada mais superficial, no preparo sob SD, (De Maria & Castro 1993, Siqueira, 1995).

O magnésio disponível foi maior para os sistemas SD e GP na profundidade de 0-2,5 cm, confirmando os resultados encontrados na literatura (Sampaio, 1987).

O alumínio trocável apresentou valores semelhantes, com ou sem revolvimento da camada superficial. Apresentou diferenças apenas em profundidade, onde aumentou na camada de 5-10 e 10-20 cm em SD e diminuiu novamente na camada de 100-120 cm. No sistema com GP, somente na camada de 10-20 cm foi maior o valor de Al^{3+} .

O valor de soma de bases foi maior em SD na camada de 0-2,5. Na camada de 2,5-5,0 cm os valores foram semelhantes para SD e GP. Para as demais profundidades não houve diferenças entre sistemas.

O valor de t foi maior no SD que no sistema AD. Nos sistemas AD e GP os valores foram semelhantes em profundidade, isto se deve ao maior revolvimento destes sistemas comparado ao de SD.

O valor de T para todos os sistemas foi menor na camada de 100,0-120,0 cm apenas, sendo que para as demais camadas os resultados não apresentaram diferenças. Esses valores não diferiram para tratamentos.

O valor da saturação por bases (V) não apresentou diferenças entre manejos. No sistema SD este valor apresentou-se maior na camada superficial enquanto que para o sistema AD este valor foi mais uniforme. Isto se deve à maior incorporação de corretivos nos sistemas convencionais, apresentando uma maior uniformidade ao longo do perfil.

Para o valor da saturação por alumínio (m) houve diferenças significativas para manejo e profundidade. Onde a semeadura direta reduziu a saturação por alumínio na camada superficial e em maior profundidade.

O valor de Zn na camada de 100-120 cm foi maior para o sistema com GP e menor no sistema com AD, mas não apresentou diferença significativa para manejo.

O valor de Cu não apresentou diferenças significativas para manejo. Estes valores foram maiores na camada de 100,0-120,0 cm nos sistemas SD e GP e no sistema AD estes valores foram mais uniformes não apresentando diferenças significativas em profundidade.

O valor de P foi significativo para manejo e para profundidade, onde na camada mais profunda (100,0-120,0 cm), este valor foi bastante inferior às demais profundidades. O valor de P foi maior na SD, podendo estar relacionado ao não revolvimento do solo que reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção. Com o passar dos anos de implantação da SD, ocorre um acúmulo de P na camada superficial do solo, sobretudo, nos primeiros 5-10 cm

A acidez potencial (H+Al) apresentou menores valores na profundidade de 100,0-120,0 cm em relação às camadas superiores.

O fósforo remanescente nos sistemas SD e GP foram maiores nas duas camadas superficiais enquanto que no AD esses valores foram semelhantes até a camada de 10,0-20,0 cm.

O manganês teve valores maiores na camada de 0-2,5 e na camada de 100-120 cm esse valor foi bem inferior para todos os sistemas.

O enxofre apresentou o maior valor na camada de 100-120 cm.

A tabela 3 mostra os resultados do carbono orgânico total, das substâncias húmicas e suas relações.

Os maiores teores de COT foram observados nas camadas superficiais, diminuindo com o aumento da profundidade, sendo que na camada de 100,0 - 120,0 cm os valores foram muito inferiores em relação aos demais espelhando a sua composição mais mineral. Ainda assim são valores bem razoáveis, comparados a outros solos o que pode estar indicando um pequeno acúmulo de COT mesmo em profundidades maiores. O COT diferiu significativamente para o sistema SD em relação ao AD. Essas diferenças foram mais marcantes na camada superficial. Este resultado é encontrado nos trabalhos de Sidiras & Pavan, (1985) e Bayer (2004). Esse comportamento é típico de sistemas onde não se revolve o solo, permitindo o acúmulo de matéria orgânica nesta camada. Esse acúmulo favorece o aumento da CTC nesses tratamentos, além de melhorar a estabilidade dos agregados, diminuindo desta forma o prejuízo potencial dos agentes erosivos. Nos sistemas de preparo convencionais, além do revolvimento do solo promover uma maior distribuição em profundidade do material vegetal ainda aumenta a oxidação da matéria orgânica. Já na camada de 2,5 - 5,0 cm e nas duas camadas inferiores, não houve diferença entre os sistemas de preparo. O efeito dos tratamentos se manifesta mais nas camadas superficiais.

Os teores de carbono dos ácidos fúlvicos (FAF) foram semelhantes em todas as profundidades e com relação aos sistemas a SD apresentou valores semelhantes ao AD e diferiu apenas do GP. Para os teores de carbono da fração ácidos húmicos (FAH), verificou-se que não houve diferenças entre sistemas. Esses resultados estão diferentes dos encontrados em Rheinmeier *et al.* (1998), que verificaram aumento nos teores de COT, ácidos fúlvicos e húmicos, especialmente na camada de 0-5 cm, no sistema de semeadura direta em relação a sistemas de preparo convencional, embora tenha sido em solo de textura arenosa.

O teor de carbono da fração húmica (FH) foi maior em relação às outras frações das substâncias húmicas. Esse resultado está de acordo com Nascimento, (1989) e Marchiori Júnior & Melo, (1999). Isto se deve à insolubilidade e resistência desta fração a biodegradação ocasionada pela formação de complexos estáveis e, ou, complexos argilo-húmicos (Mendonça e Rowell, 1996).

A relação FAF/FAH não diferiu com a profundidade e sistemas de preparo, não corroborando os resultados apresentados por Longo, (1982). Isto pode estar relacionado a uma baixa infiltração de água e menor friabilidade do solo (Mendonça et al, 1996) De modo geral para os solos, o teor de carbono orgânico diminui com a profundidade, ao passo que a relação ácidos fúlvicos/ácidos húmicos aumenta nos horizontes inferiores, demonstrando a alta solubilidade e mobilidade da fração ácido fúlvico através do solo (Stevenson, 1994).

A tabela 4 mostra os resultados da densidade do solo e do estoque de carbono do solo. A densidade do solo foi maior para o solo sob o sistema de SD comparado aos sistemas convencionais na profundidade de 0-5 cm ($1,34 \text{ Mg m}^{-3}$), o que está relacionado à ausência de revolvimento do solo. Entretanto, a densidade do solo de forma isolada, não é indicador adequado de um melhor estado físico, e o sistema SD com maior densidade do solo tem mostrado maior continuidade dos macroporos, comparativamente aos sistemas convencionais com intenso cultivo (Schaefer et al., 2001). Contudo alguns trabalhos recentes têm mostrado que na SD ocorre grande perda de água, que provavelmente, está relacionado ao menor número de macroporos.

Tabela 2. Caracterização química de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetidos a três sistemas de manejo (semeadura direta e convencionais com arado de disco e grade pesada) em diferentes profundidades

Tratamento	Profundidade	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	t	T	H+Al	V	m	Zn	Cu	Mn	Fe	P-rem
	cm	-----mg dm ⁻³ ----			-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----			-----mg dm ⁻³ -----			mg L ⁻¹		
SD	0-2,5	5,7a	29,6a	142,7a	2,8a	1,0a	0,0c	4,2a	4,2a	10,9a	6,7a	38,8a	0,0b	5,6a	1,1b	78,6a	27,4a	36,4a
	2,5-5	5,1a	27,3a	80,0b	1,9a	0,5b	0,3bc	2,6b	2,9b	10,4a	7,8a	25,5b	6,5b	4,1a	1,2ab	66,1a	30,5a	32,9a
	5-10	5,0a	22,5a	54,2b	1,2ab	0,2c	0,7a	1,6c	2,3c	10,1a	8,4a	16,4bc	22,0a	3,3a	1,4ab	49,3ab	32,1a	29,1ab
	10-20	4,5a	15,9b	41,0b	0,9b	0,1c	0,6ab	1,2c	1,8c	9,0a	7,8a	13,2c	34,0a	2,3a	1,2ab	42,3b	31,9a	27,0b
	100-120	5,1a	0,7c	19,0c	0,8b	0,4b	0,2c	1,5c	1,6c	4,9b	3,7b	24,6b	0,0b	4,9a	1,9a	4,5c	21,3b	20,2c
	Média	5,1A	19,2A	67,4A	1,5A	0,4A	0,4A	2,2A	2,6A	9,0A	6,9A	23,7A	12,5A	4,0A	1,4A	48,2A	28,6A	29,2A
AD	0-2,5	4,7a	15,6a	68,2a	1,3a	0,3a	0,4ab	1,8a	2,2a	9,0a	7,2a	20,1a	17,7a	3,3a	1,5a	59,8a	33,7a	31,9a
	2,5-5	4,7a	17,0a	60,7a	1,0a	0,2b	0,5a	1,7a	1,9ab	8,9a	7,4a	16,7a	19,1a	3,3a	1,6a	45,5ab	25,5a	31,7a
	5-10	4,7a	16,4a	55,2b	1,3a	0,2b	0,5a	1,7a	2,1ab	9,4a	7,7a	18,1a	24,9a	4,5a	1,5a	59,9a	29,6a	32,4a
	10-20	4,7a	13,4b	72,0a	1,2a	0,2b	0,5a	1,6a	2,2a	9,6a	7,9a	17,9a	19,3a	4,6a	1,5a	59,9a	28,0a	31,4a
	100-120	5,2a	1,0c	30,2c	0,7a	0,4a	0,1b	1,4a	1,3b	4,9b	3,7b	25,4a	0,0b	0,1b	1,1b	17,9c	27,2a	24,6b
	Média	4,8A	12,7C	57,3AB	1,1A	0,3B	0,4A	1,9B	1,9B	8,4A	6,8A	19,6A	16,2A	3,2A	1,4A	48,6A	28,8A	30,4A
GP	0-2,5	5,1a	18,2a	87,5a	1,6a	0,5a	0,3ab	2,3a	2,6a	9,7a	7,4a	23,4ab	16,2b	3,9ab	1,2b	67,6a	31,5a	33,2a
	2,5-5	5,1a	18,5a	49,7b	1,7a	0,5a	0,2b	2,3a	2,6a	9,4a	7,1a	24,8ab	14,2b	3,8ab	1,3b	67,2a	41,2a	34,3a
	5-10	5,1a	23,7a	36,7b	1,5a	0,3b	0,2b	1,9ab	2,2a	9,1a	7,2a	21,1ab	18,8ab	4,7ab	1,5b	69,4a	34,3a	29,4ab
	10-20	5,0a	14,1b	30,7b	1,0a	0,3b	0,6a	1,3b	1,9a	8,3a	6,9a	16,6b	31,3a	1,6b	1,7b	26,6b	36,0a	27,0b
	100-120	4,9a	1,1c	14,2c	1,2a	0,4a	0,3ab	1,7ab	2,0a	5,7b	4,0b	28,9a	21,5ab	8,1a	2,3a	22,3c	18,7b	7,1c
	Média	5,1A	15,1B	43,8B	1,4A	0,4A	0,3A	1,6AB	2,3AB	8,4A	6,5A	22,9A	20,4A	4,4A	1,6A	50,6A	32,3A	26,2B

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna para diferentes manejos e numa mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Letras minúsculas comparam profundidades e letras maiúsculas comparam manejos.

SD= semeadura direta; AD= sistema de preparo com arado de disco e GP= sistema de preparo com grade pesada.

Tabela 3. Valores médios de carbono orgânico total do solo e de substâncias húmicas em sistemas de semeadura direta e convencionais com arado de disco e grade pesada

Tratamento	Profundidade cm	FAF	FAH	FH	COT	Relações			
		----- dag/kg -----				FAF/FAH	FAF/FH	FAH/FH	(FAF+FAH)/FH
SD	0-2,5	0,02a	0,03a	1,29a	2,09a	0,7a	0,02a	0,05a	0,08a
	2,5-5,0	0,02a	0,02a	0,92a	1,82ab	1,0a	0,02a	0,04a	0,08a
	5,0-10,0	0,02a	0,02a	0,62b	1,53b	1,0a	0,03a	0,04a	0,07a
	10,0-20,0	0,02a	0,02a	0,53b	1,30c	1,0a	0,04a	0,04a	0,08a
	100,0-120,0	0,02a	0,02a	0,59b	0,57d	1,0a	0,03a	0,03a	0,07a
	Média	0,020AB	0,02A	0,79A	1,46A	1,0A	0,04A	0,04A	0,08A
AD	0-2,5	0,03a	0,02ab	0,83a	1,40ab	1,5a	0,04a	0,03a	0,06a
	2,5-5,0	0,03a	0,03a	0,67a	1,47a	1,0a	0,04a	0,04a	0,09a
	5,0-10,0	0,02a	0,02ab	0,80a	1,37ab	1,0a	0,03a	0,03a	0,05a
	10,0-20,0	0,02a	0,02ab	0,59a	1,30b	1,0a	0,03a	0,03a	0,07a
	100,0-120,0	0,02a	0,01b	0,62a	0,41c	2,0a	0,03a	0,02a	0,05a
	Média	0,023A	0,02A	0,70B	1,18B	1,3A	0,03A	0,03A	0,06A
GP	0-2,5	0,02a	0,01b	0,61a	1,63a	2,0a	0,03a	0,02a	0,05a
	2,5-5,0	0,02a	0,02a	0,88a	1,33ab	1,0a	0,02a	0,02a	0,05a
	5,0-10,0	0,02a	0,02a	0,63a	1,49b	1,0a	0,03a	0,02a	0,06a
	10,0-20,0	0,02a	0,02a	0,59a	1,15c	1,0a	0,03a	0,02a	0,07a
	100,0-120,0	0,02a	0,02a	0,54a	0,51d	1,0a	0,03a	0,02a	0,07a
	Média	0,019B	0,02A	0,65B	1,22AB	1,2A	0,03A	0,02A	0,06A

Médias com letras iguais entre os tratamentos para cada profundidade não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Letras minúsculas comparam profundidade e letras maiúsculas comparam tratamento.

SD= semeadura direta; AD e GP= sistema convencional usando arado de disco e grade pesada respectivamente; FAF= fração ácidos fúlvicos; FAH= fração ácidos húmicos; FH fração húmica; COT= carbono orgânico total.

Tabela 4. Estoque de carbono orgânico e densidade do solo em sistemas de semeadura direta e convencionais com arado de disco e grade pesada

Sistema	Profundidade (cm)		Médias
	0-5	10-20	
	Estoque de Carbono (t ha ⁻¹)		
SD	26,20a	17,24b	21,72A
AD	16,77a	16,46a	16,62B
GP	17,46a	14,12b	15,79B
	Densidade do Solo (kg dm ⁻³)		
SD	1,34	1,33	-
AD	1,17	1,27	-
GP	1,18	1,23	-

Médias com letras iguais entre os tratamentos para cada profundidade não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Letras minúsculas comparam profundidade e letras maiúsculas comparam tratamento.

SD: semeadura direta; AD: preparo convencional usando arado de disco; GP: preparo convencional usando grade pesada.

O sistema com menor perturbação do solo armazenou mais COT no solo, principalmente na profundidade de 0-5 cm. Os resultados estão de acordo com outros estudos em que também indicaram maiores estoques de carbono na SD do que em outros sistemas convencionais e que este acúmulo estava limitado às camadas superficiais (Bayer & Mielniczuck, 1997, Leite, 2002). A densidade maior no sistema SD contribuiu para o seu maior estoque de carbono em relação aos demais sistemas. Apenas na semeadura direta, os resultados foram mais marcantes, armazenando mais carbono orgânico que os demais sistemas. Resultados semelhantes aos deste estudo foram encontrados com redução dos teores de COT em profundidade e falta de significância na comparação de sistemas de manejo convencional (Freitas et. al, 2000; d'Andréa et al, 2004). Para o sistema AD não houve variação do estoque de carbono em profundidade, isto se deve ao maior revolvimento do solo quando se emprega esse sistema.

CONCLUSÕES

O teor de carbono orgânico pode ser recuperado através do uso de sistemas conservacionistas de produção agrícola, que reduzem o revolvimento do solo.

A semeadura direta armazenou mais carbono orgânico no solo, principalmente na camada superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A. P. **Respostas da planta e do solo ao plantio direto e convencional, de sorgo e feijão, em sucessão a milho, soja e crotalária.** 1996. 162f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R. S. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. **Geoderma**, n. 83, p. 127-141, 1998.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo SBCS**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

AMADO, T. J. C. Manejo da matéria orgânica do solo no sistema de semeadura direta: experiência do estado de Rio Grande do Sul. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 99, p. 4, set. 2002.

BAYER, C.; DICK, D. P.; RIBEIRO, G. M.; SCHEUERMANN, K. K. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 401-406, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 21, p. 235-239, 1997.

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. A. O. (Eds.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9 – 26.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho sob semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIDSON, E. A; BERNOUX, M.; FELLER, C. A. Ciência do solo e o sequestro de carbono. **Boletim Informativo SBCS**, v. 29, n. 3, 2004.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo: metodologia**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 26 p. (Boletim de Extensão, 29).

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 17, p. 471-477, 1993.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – 2 ed. 1997. 212 p.

FALLEIRO, R. M. **Influência de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo e na população de plantas daninhas**. 2002. 146f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p.157-170, 2000.

FUNARBE. **SAEG** – Sistema para análise estatística v. 5.0. Viçosa, 1993.

HAYES, M. H. B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R. L. et al. The search for structure: setting the scene. In: HAYES, M. H. B. et al. (Ed.) **Humic substances II: in search of search of structure**. Chichester: John Wiley, 1989. 764 p.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 19, p. 395-401, 1995.

LEITE, L. F. C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo Century**. 2002. 82 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

LONGO, J. V. **Fracionamento e caracterização de substâncias húmicas em materiais de solos**. 1982. 66 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004, 110p.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Mineral and organic fractions of two Oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1888-1892, 1996.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese. 1999. p. 117-137.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica do solo no sistema de semeadura direta: a experiência do estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 5, set. 2002.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em semeadura direta. In: FRACELLI, A. L., TORRADO, P. V., MACHADO, J. (Eds.). **Atualização em semeadura direta**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 147-160.

NASCIMENTO, E. J. **Dinâmica da matéria orgânica em um latossolo vermelho-amarelo distrófico, fase cerrado, submetido a diferentes sistemas de preparo do solo e rotação milho e soja**. 1989. 69 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and applications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p.319- 337, 1984.

- PAIVA, P. J. R., VALE, F. R. do.; FURTINI NETO, A. E., FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p.71-75, 1996.
- PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v.75, p. 1-15, 1997.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. ; LUPATINI, G. C. ; SANTOS, E. J. S. ; Modificações em atributos químicos de solos arenosos sob sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 713-721, 1998.
- ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8).
- SÁ, J. C. M. Gênese e manejo da acidez do solo no sistema de semeadura direta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 4, set. 2002.
- SAMPAIO, G. V. **Efeito de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. 1987. 121 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- SCHAEFER, C. E. G. R; SOUZA, C. M.; VALLEJOS, F. J.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 765-776, 2001.
- SIDIRAS, N., PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p.249-254, 1985.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. New York: 2a ed. John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- VALLEJOS, M. F. J. **Influência de sistemas de preparo de solo em algumas propriedades químicas e físicas de um podzólico vermelho-amarelo câmbico, argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)** 1998. 81 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci Plant Anal.**, 19: 1467-1476, 1988.

Capítulo 2

PROPRIEDADES ELÉTRICAS E ATRIBUTOS MINERALÓGICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO SOB DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DO SOLO

RESUMO

SANTOS, Daniela Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, março de 2005.
Propriedades elétricas e atributos mineralógicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes formas de preparo do solo. Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça e Caetano Marciano de Souza.

O estudo das cargas elétricas dos colóides é importante para o entendimento dos fenômenos físico-químicos que ocorrem no solo, podendo interferir na sua fertilidade e nos fenômenos relacionados ao seu manejo. Com o objetivo de aprofundar o estudo das cargas elétricas de um Argissolo Vermelho-Amarelo foi determinado o ponto de carga zero por efeito salino (PCZES) de amostras de solo em diferentes profundidades e sob três sistemas de preparo (semeadura direta, preparos convencionais com arado de disco e com grade pesada) e a caracterização mineralógica das mesmas. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 100-120 cm. Foram efetuadas a difratometria de raios-X, análise térmica diferencial (ATD), extração de óxidos de ferro amorfos e cristalinos usando argila natural do solo com prévia remoção da matéria orgânica e foi determinado o PCZES. Os dados das análises de raios-X mostraram a presença de elevadas quantidades de caulinita, apresentando os picos de maior intensidade nos difratogramas e quantidades menores de gibbsita e goethita nas frações argila de todas as amostras de solo. Por essa análise demonstrou-se também que não houve diferença na mineralogia dos solos sob os três sistemas de preparo. A análise

quantitativa, por ATD também mostrou a predominância da caulinita sobre os outros minerais. De modo geral o solo estudado apresentou baixos valores de PCZES para todos os sistemas e praticamente o mesmo para idênticas profundidades. Esses baixos valores estão relacionados com os minerais de argila silicatados e a matéria orgânica que são responsáveis pelo abaixamento do PCZES. O manejo desse solo, com diferentes sistemas de preparo modificou o balanço de cargas elétricas, provavelmente por causa das alterações relativas à matéria orgânica, encontrando em ordem decrescente os sistemas semeadura direta e convencional com grade pesada e arado de disco.

ABSTRACT

SANTOS, Daniela Costa, *M.S.*, Universidade Federal de Viçosa, March, 2005.
Electrical properties and mineralogical attributes of a Red-yellow Argisol under different tillage systems. Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes.
Committee members: Eduardo de Sá Mendonça and Caetano Marciano de Souza.

The study of the electric charges of colloids is important to the understanding of the physiochemical phenomena that occur in the soil, being able to interfere in its fertility and in processes related to their management. With the objective to study the electric charges on an Oxisol were determined the point of zero charge by saline effect (PZCSE) of soil samples in different depths and three tillage systems (no tillage, conventional preparations with disk plow, and with heavy grating); and the mineralogical characterization. The soil samples were collected at depths of 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 and 100-120 cm. The diffractometry, differential thermal analysis (DTA), extraction of amorphous oxides of iron and crystalline lenses using natural clay of the soil with previous removal of the organic matter and the PZCSE were determined. The results of the analyses of x-ray showed the presence of high amounts of kaolinite, showing the peaks of larger intensity in the x-ray pattern and smaller amounts of gibbsite and goethite in the clay fraction of all the soil samples. By this analysis also was demonstrated that there was not significant differences in the mineralogy of the three tillage systems. The quantitative analysis, by DTA also showed the predominance of kaolinite in relation with the

other minerals. Generally, the studied soil presented low values of PZCSE for all of the systems and practically the same for equal depths. These low values are related to the minerals of clay silicates and the organic matter that are responsible for the decreasing of PZCSE. The management of that soil, with different tillage systems modified the balance of electric charges, probably because of the relative alterations to the organic matter, finding in a decreasing order no tillage; and conventional heavy grating and sowing with disk plow.

INTRODUÇÃO

O estudo de cargas elétricas das partículas coloidais é de fundamental importância para o entendimento de diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos, já que a maioria das reações eletroquímicas que influenciam sua fertilidade e a nutrição de plantas e que podem interferir em fenômenos relacionados ao seu manejo e conservação ocorre na superfície dessas partículas (Fontes *et al.*, 2001).

As propriedades que explicam melhor a reatividade do solo são a superfície específica e as cargas elétricas dos colóides, que englobam, principalmente, a fração argila e a matéria orgânica (Bohn *et al.*, 1979).

Solos tropicais apresentam argilas predominantemente de carga variável, como a caulinita e os óxidos de ferro e alumínio. A presença do grupo OH^- na superfície dos óxidos e faces quebradas das partículas de caulinita faz com que a maioria absoluta das cargas seja dependente de pH, sendo, portanto, consideradas cargas variáveis. A origem destas cargas está ligada ao ganho ou perda de H^+ na superfície dos colóides do solo.

Uma das maneiras de estudar as cargas dos colóides do solo é considerar o ponto de carga zero (PCZ), definido como o pH em que a carga líquida de um solo é igual a zero (Schofield, 1949). O PCZ do solo, que está envolvido com as reações eletroquímicas, é usado para determinar vários atributos pedológicos, como por exemplo, a estruturação do solo, e pode afetar propriedades do solo como a floculação e dispersão das partículas. A modificação deste para valores onde se tenha

um aumento do número de cargas no solo dependerá das práticas de manejo utilizadas (Alleoni & Camargo, 1993).

Propriedades eletroquímicas como o PCZ do solo sofrem modificações decorrentes de alterações no pH do solo e dos teores de matéria orgânica, o que se reflete na expressão de fenômenos de superfície, como troca de cátions e ânions e adsorção de compostos. A matéria orgânica pode se ligar a argilominerais do solo, como, por exemplo, a caulinita e aos óxidos de ferro, diminuindo as cargas positivas e o PCZ, resultando no aumento das cargas negativas (Meurer, 2004).

A matéria orgânica representa, neste sentido, a principal fonte de cargas negativas em solos com avançado estado de intemperismo, e a manutenção e/ou elevação do seu teor no solo torna-se desejável.

De uma forma geral, os óxidos de ferro e alumínio são responsáveis pela elevação do PCZ de solos, enquanto que a matéria orgânica e os minerais de argila silicatados concorrem para o seu abaixamento (Raij, 1973). A adsorção de ácidos orgânicos pelos colóides minerais proporciona um incremento das cargas negativas no sistema e, portanto, um abaixamento do PCZ (Oades, 1984).

Para determinação das cargas elétricas e do PCZ baseia-se na capacidade do solo de adsorção de cátions e ânions, quando em contato com uma solução de eletrólitos indiferentes, e na capacidade do solo de consumir ácido ou base, avaliada por meio da titulação potenciométrica (Marcano-Martinez & McBride, 1989). O ponto determinado pelas curvas de titulação potenciométrica é estritamente um valor de pH no qual a carga líquida protônica é invariável com a concentração do sal (Sposito, 1989), e não um ponto no qual a carga superficial é nula como preconizaram (Parks e De Bruyn, 1962). Em termos práticos, considerando-se a natureza da fração argila dos solos altamente intemperizados como Latossolos e Argissolos, o ponto de carga zero (PCZ) pode ser bem aproximado pela obtenção do ponto de intercessão das curvas de titulação potenciométrica, daqui por diante chamado PCZES (ponto de carga zero por efeito salino) de acordo com Fontes (1996) e Fontes (2001). Outra forma de verificar se existe mais carga líquida negativa na superfície é observar a diferença entre o pH em água e o PCZES (Costa et al, 1984).

As seguintes hipóteses de trabalho foram testadas:

- Diferentes técnicas de preparo do solo terão efeitos distintos na conservação do solo melhorando ou mantendo suas propriedades químicas.
- Maior conservação da matéria orgânica provocará diminuição do PCZ na semeadura direta.
- A mineralogia dos diferentes sistemas de preparo será diferenciada com o sistema de preparo convencional por arado de disco apresentando uma maior proporção de gibbsita.
- Este trabalho tem por objetivos fazer uma caracterização mineralógica e determinar o PCZES de amostras de solo em diferentes profundidades e sob diferentes tipos de preparo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e Descrição da Área

O estudo foi realizado em um experimento conduzido desde 1985 e localizado na Estação Experimental de Coimbra-MG. A área do experimento está situada a 20°45' S e 42° 51' W, com altitude de 700m. A temperatura média anual é de 19° C e a precipitação média anual é de 1400 mm, concentrada principalmente nos meses de outubro a março (Falleiro, 2002). O solo é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo.

A área, anteriormente ao experimento, estava sob vegetação natural até a década de 30 e posteriormente com culturas de subsistência, por cerca de 50 anos. Para a implantação dos sistemas de manejo foi feita inicialmente uma correção da acidez do solo com aplicação de 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação utilizada ao longo desse período para a cultura do milho foi na semeadura 400 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8 (14, 49 e 28 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente), na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; para a cultura do feijão e trigo, foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da mesma fórmula, utilizando as mesmas fontes de N, P, K na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura para feijão e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, em cobertura para o trigo e para a cultura da soja foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da mistura de 300 kg de superfosfato simples para 50 kg de cloreto de potássio, na semeadura (Falleiro, 2002).

As culturas implantadas ao longo do experimento foram as seguintes: 1985/86 – consórcio milho/feijão da “seca”; 1986/87 – das “águas” e da “seca”; 1987/88 – milho; 1988/89 – milho; 1989/90 – feijão das “águas” e da “seca”; 1990/91 – milho; 1991/92 – milho; 1992/93 – milho; 1993/94 – milho; 1994/95 – milho; 1995/96 – milho e trigo; 1996/97 – soja e trigo; 1997/98 – soja e trigo; 1998/99 – feijão; 1999/00 – milho; 2001/2002 – milho (Falleiro, 2002).

Procedimento experimental e tratamentos

Foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três tratamentos (sistemas de preparo do solo) e quatro repetições, perfazendo um total de 12 unidades experimentais. As unidades experimentais apresentam dimensões de 14 m de comprimento e 8 m de largura separadas entre si por uma rua de 5 m. Os sistemas de preparo estudados foram os seguintes:

1. Semeadura Direta (SD) – o solo foi trabalhado ao longo das linhas de plantio, com uma semeadora/adubadora, de tração motorizada, própria para a semeadura direta.
2. Arado de disco (AD) – foi utilizado arado reversível, com três discos de 26” de diâmetro, de tração motorizada. Foi feita uma aração a cada ano na camada de 0-20 cm aproximadamente. Após a aração foram feitas duas gradagens, com grade niveladora hidráulica de 28 discos de 18” de diâmetro, para destorroamento do solo e uniformização do terreno.
3. Grade Pesada (GP) – foi feita a cada ano uma gradagem na camada de 0-15 cm utilizando uma grade aradora de tração motorizada, com 20 discos de 24” de diâmetro. Em seguida foram realizadas duas gradagens niveladoras da mesma maneira do outro sistema convencional.

Localização e Amostragem

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0; 10,0-20,0 e 100-120 cm nas doze unidades experimentais escolhidas. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA).

Análises Mineralógicas

Foi feita a remoção da matéria orgânica nas amostras de solo usando hipoclorito de sódio 6 v/v, e posteriormente foi feita a separação das frações granulométricas do solo em areia, silte e argila das amostras.

A difratometria de raios-X (DRX) e análise térmica diferencial (ATD) foram efetuadas, usando amostras de argila natural dos solos amostrados.

Os difratogramas foram obtidos através do aparelho RIGAKU, com radiação de CuK , operando a 35 KV e 25 mA, e velocidade do goniômetro de 4° por minuto. A orientação dos minerais nas lâminas de vidro foi feita por esfregaço. Posteriormente as amostras foram irradiadas em uma amplitude de 4 a 60° .

A análise térmica diferencial (ATD) foi efetuada na fração argila natural e livre de matéria orgânica, operada com uma taxa de aquecimento de $20^\circ \text{C min}^{-1}$ até a temperatura de 800°C , em atmosfera ambiente.

Os óxidos de ferro cristalinos foram extraídos com três extrações sucessivas em banho-maria, sob agitação com citrato/ditionito (Coffin, 1963) e os óxidos mal cristalizados por oxalato/ácido oxálico $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, pH 3,0 (reagente de Tamm), com agitação por duas horas no escuro. A determinação quantitativa do ferro solubilizado foi efetuada por espectrofotometria de absorção atômica.

Determinação do Ponto de Carga Zero por Efeito Salino (PCZES)

O ponto de carga zero por efeito salino (PCZES) foi determinado baseando-se na metodologia de Raij & Peech (1972) com modificações.

Quatro grupos de nove béqueres de 50 mL foram preparados. Em três grupos foram colocados 4 g de solo (TFSA) em cada béquer e em um dos grupos não foi colocado solo. Adicionaram-se 12,5 mL de NaNO_3 $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ao primeiro grupo (que não recebeu solo) e ao segundo grupo de béqueres; adicionaram-se 12,5 mL de NaNO_3 $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ ao terceiro grupo de béqueres; adicionaram-se 12,5 mL de NaNO_3 $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ ao quarto grupo de béqueres. Não se adicionou ácido ou base ao béquer central e partindo-se dele, adicionaram-se 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mL de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ nos béqueres a esquerda e 0,5; 1,0; 2,0; e 3,0 mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ nos béqueres a direita, em todos os grupos; foi feito o ajuste de volume para 25 mL em todos os béqueres de todos os grupos com água destilada; agitou-se com bastão de vidro, após 24 horas de equilíbrio entre a solução e as amostras de solo fez-se a leitura em peagâmetro.

Determinou-se o pH em água e calculou-se o pH-PCZ

Delineamento Experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com os tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram incluídos os três tratamentos (sistemas de preparo) e as profundidades foram consideradas como subparcelas.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do sistema computacional SAEG (FUNARBE, 1993), sendo as médias dos fatores em estudo comparadas conforme a significância do teste F pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os resultados dos difratogramas obtidos com as varreduras das lâminas de argila natural das amostras de argila dos solos sob os diferentes sistemas de preparo.

Os dados das análises de raios-X mostraram a presença de elevadas quantidades de caulinita, apresentando os picos de maior intensidade nos difratogramas e quantidades menores de gibbsita e goethita nas frações argila de todas as amostras de solo. A análise quantitativa, por ATD também mostrou a predominância da caulinita sobre os outros minerais.

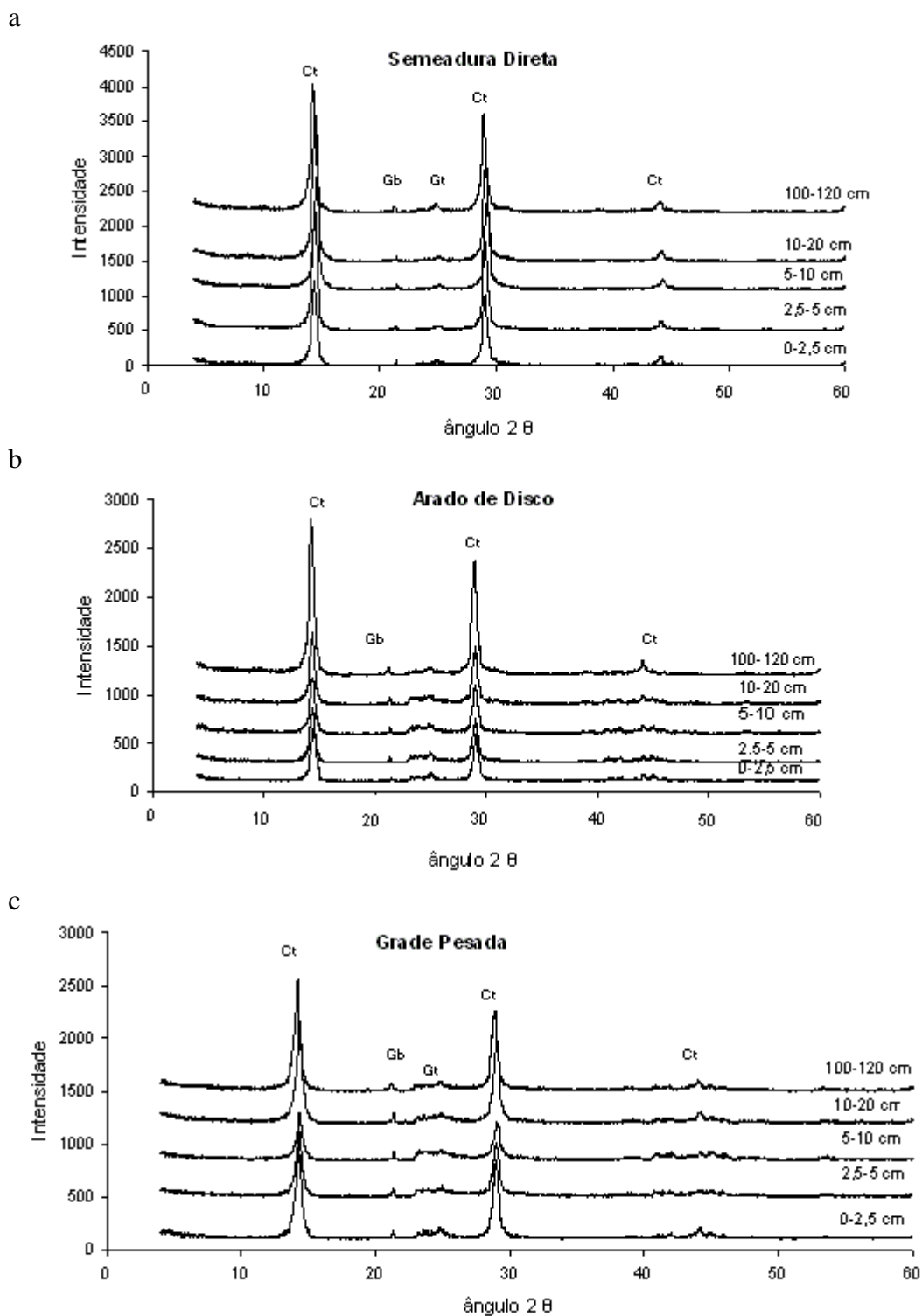


Figura 1 – Difratoformas de raios-X da fração argila natural de amostras de solo em cinco profundidades sob três sistemas de preparo do solo. Em que: Ct = caulinita, Gb = gibbsita, Gt = goethita.

Os teores totais de óxidos de ferro cristalinos, extraídos por ditionito-citrato e os óxidos de ferro mal cristalizados, extraídos por oxalato mostram que este solo é pobre nesses óxidos (Tabela 1). Além disso, observa-se que não houve diferença na

quantidade de nenhum dos óxidos de ferro determinada para os três diferentes tipos de preparo do solo. Os teores de óxidos de ferro mal cristalizados foram semelhantes até os 20 cm de profundidade, apresentando diferença apenas na profundidade de 100,0-120,0 cm, onde o valor foi bem menor. É provável que esta diferença esteja associada à influência da matéria orgânica nos horizontes superficiais. A matéria orgânica pode influenciar impedindo a cristalização dos óxidos de ferro (Schwertman, 1966) e também na extração de Fe^{3+} complexado pelos componentes húmicos pelo oxalato. Dados semelhantes foram encontrados por Egreja Filho (2000). A relação Fe_o/Fe_d foi muito baixa em todas as amostras, especialmente nas amostras da profundidade de 100-120 cm que tem menos influência da matéria orgânica. Isto evidencia que a maior parte dos óxidos se encontra em formas mais cristalinas.

Tabela 1 – Resultados de ferro extraído pelo ditionito e pelo oxalato e relação Fe_o/Fe_d das amostras de solos estudadas (fração argila)

Profundidade cm	Ditionito	Oxalato	Fe_o/Fe_d
	-----g kg ⁻¹ -----		
	Semeadura direta		
0-2,5	2,82a	0,13a	0,05a
2,5-5,0	2,98a	0,14a	0,05a
5,0-10,0	2,97a	0,14a	0,05a
10,0-20,0	2,99a	0,13a	0,05a
100,0-120,0	2,94a	0,03b	0,01b
	Arado de Disco		
0-2,5	2,77a	0,13a	0,04a
2,5-5,0	2,74a	0,14a	0,05a
5,0-10,0	2,78a	0,14a	0,05a
10,0-20,0	2,82a	0,14a	0,05a
100,0-120,0	2,68a	0,04b	0,02b
	Grade Pesada		
0-2,5	2,78a	0,11a	0,04a
2,5-5,0	2,62a	0,19a	0,08a
5,0-10,0	2,89a	0,12a	0,04a
10,0-20,0	2,91a	0,12a	0,04a
100,0-120,0	3,24a	0,04b	0,01b

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna para diferentes manejos numa mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de gibbsita e caulinita das frações argila das amostras de solos são mostrados na tabela 2. Observa-se a presença de elevadas quantidades de caulinita e baixas quantidades de gibbsita em todas as amostras. As quantidades de caulinita e gibbsita apresentam diferenças entre os sistemas de preparo de solo, mas sem um padrão consistente que pudesse indicar uma influência direta dos tipos de preparo na mineralogia das amostras.

Tabela 2 – Teores de gibbsita e caulinita na fração argila, calculados através da análise térmica diferencial (ATD) nas amostras de solos estudadas

Tratamentos	Gibbsita	Caulinita
	g kg ⁻¹	
SD1	25,6	929,3
SD2	27,5	752,3
SD3	21,7	654,3
SD4	19,7	685,3
SD5	23,2	664,6
AD1	16,1	756,9
AD2	15,9	798,1
AD3	17,7	783,7
AD4	17,4	683,0
AD5	19,4	708,6
GP1	32,3	743,1
GP2	31,8	742,7
GP3	31,7	744,6
GP4	30,8	746,8
GP5	30,2	773,0

SD= semeadura direta; AD preparo convencional com arado de disco; GD= preparo convencional com grade pesada.

Profundidades: 1= 0-2,5 cm; 2= 2,5-5,0 cm; 3= 5,0-10,0 cm; 4= 10,0-20,0 cm e 5= 100,0-120,0 cm.

As curvas da titulação potenciométrica que permitiram determinar os PCZES para cada profundidade e sistema de preparo do solo, são apresentadas nas figuras 2, 3 e 4.

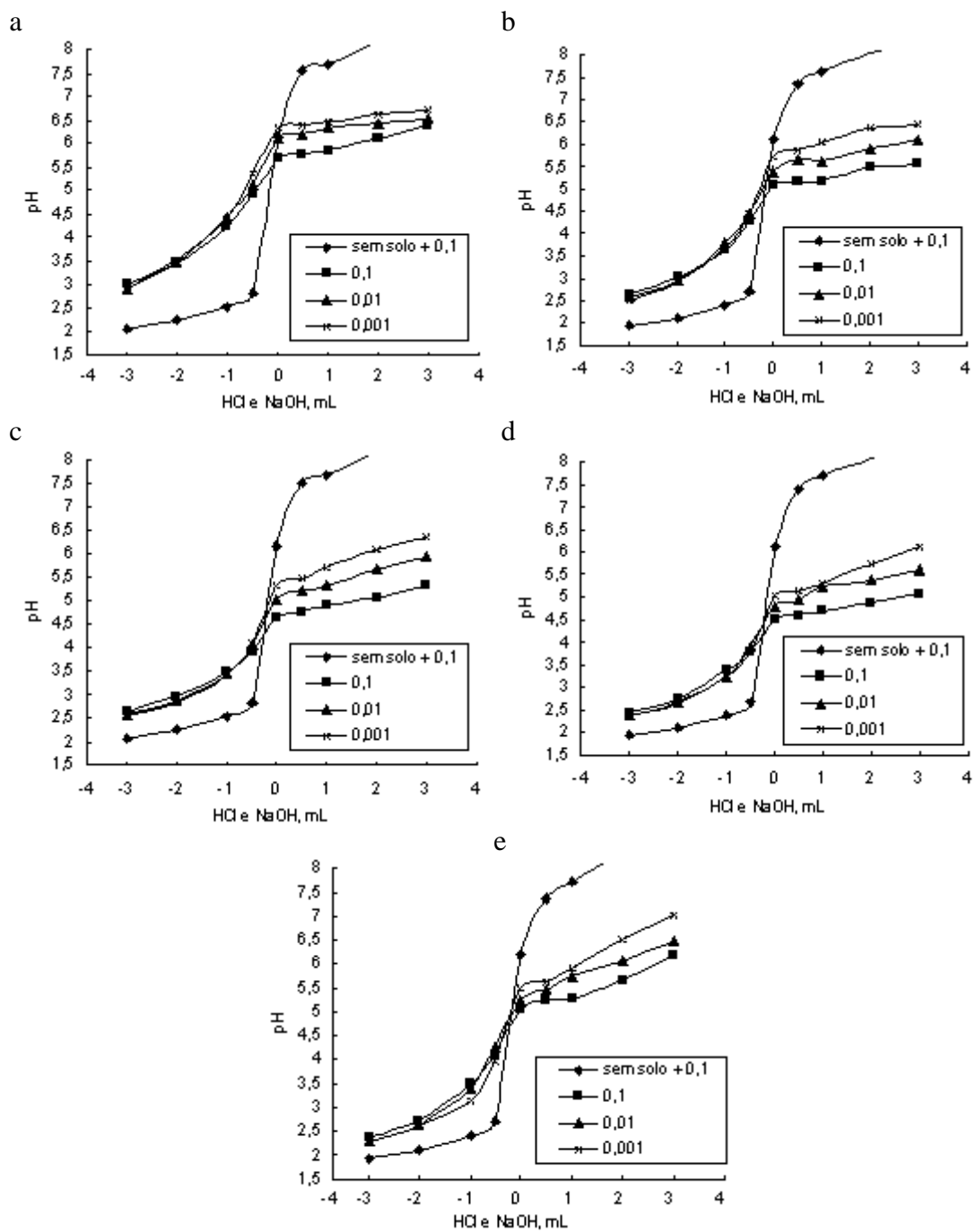


Figura 2 – Curvas de titulação potenciométrica para as concentrações de NaNO_3 de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (com solo e sem solo), $0,01$ e $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ em amostras de solo em cinco profundidades sob o sistema de semeadura direta. Em que: a = 0-2,5; b = 2,5-5,0; c = 5,0-10,0; d = 10,0 -20,0; e = 100,0-120,0 cm.

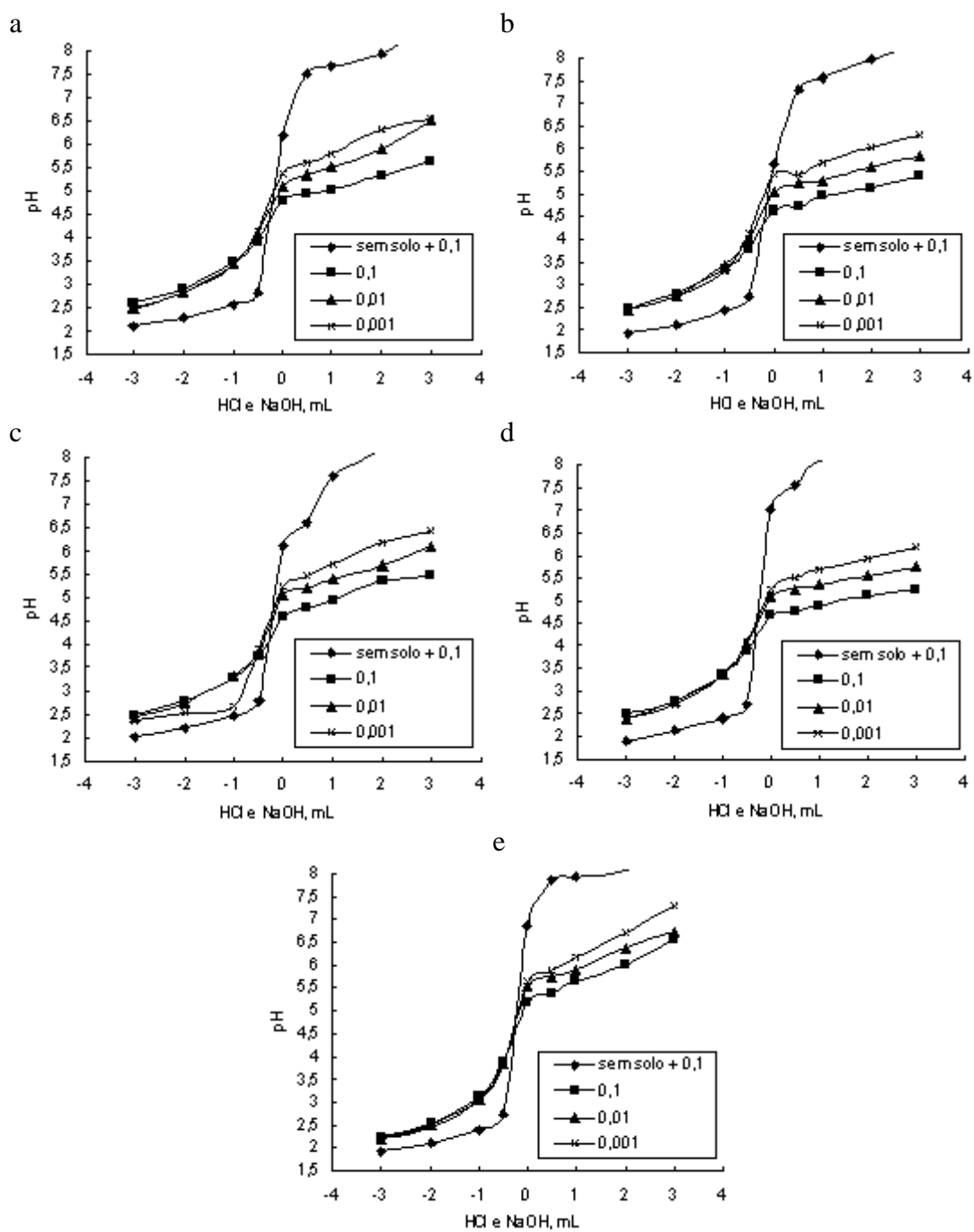


Figura 3 – Curvas de titulação potenciométrica para as concentrações de NaNO₃ de 0,1 mol L⁻¹ (com solo e sem solo), 0,01 e 0,001 mol L⁻¹ em amostras de solo em cinco profundidades sob o sistema de preparo convencional usando arado de disco. Em que: a = 0-2,5; b = 2,5-5,0; c = 5,0-10,0; d = 10,0 -20,0; e = 100,0-120,0 cm.

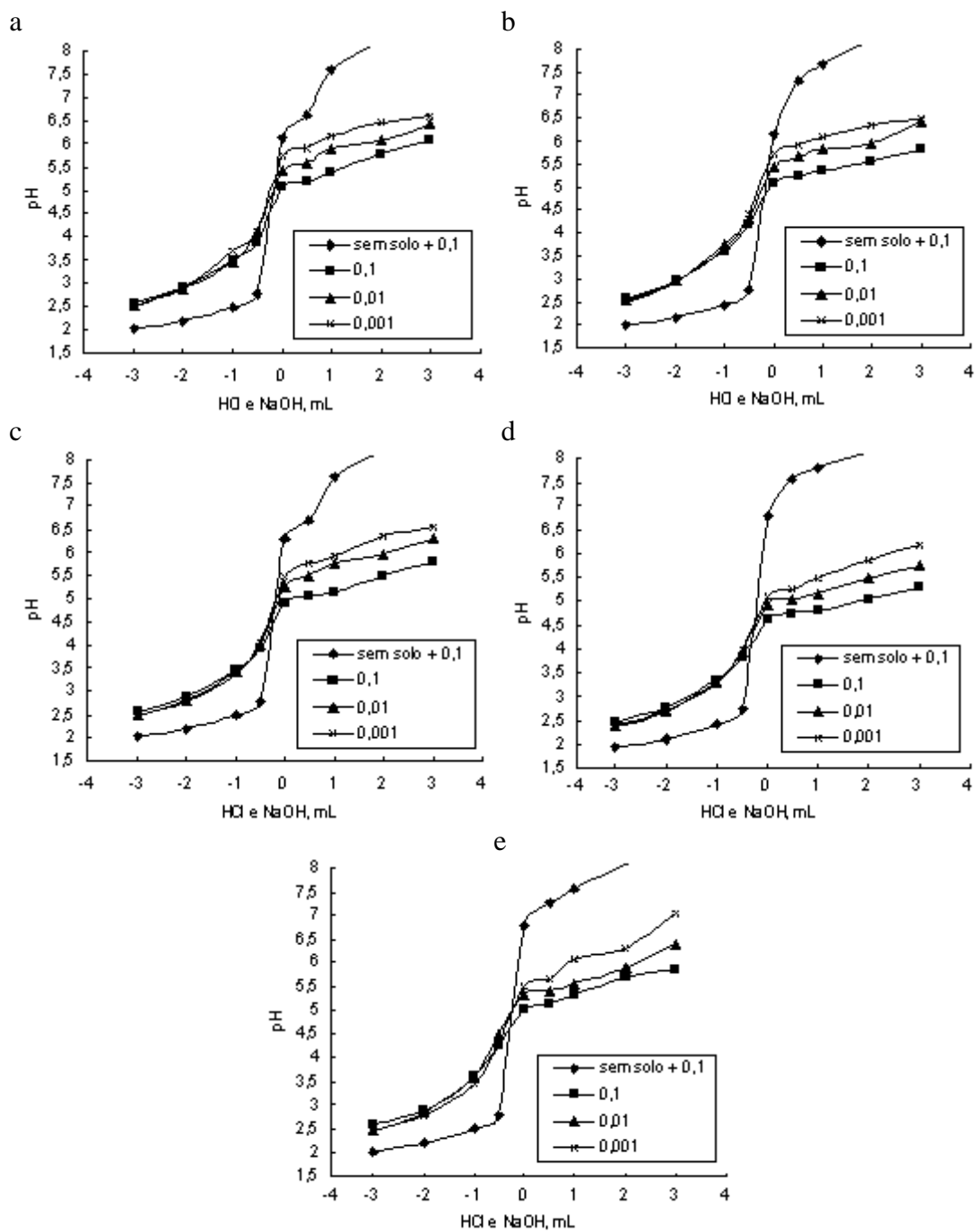


Figura 4 – Curvas de titulação potenciométrica para as concentrações de NaNO_3 de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (com solo e sem solo), $0,01$ e $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ em amostras de solo em cinco profundidades sob o sistema de preparo convencional usando grade pesada. Em que: a = 0-2,5; b = 2,5-5,0; c = 5,0-10,0; d = 10,0 -20,0; e = 100,0-120,0 cm.

Na tabela 3 estão mostrados os valores de PCZES e os resultados dos valores de carga líquida, pH (H₂O) e pH (H₂O)-PCZES.

Os valores de PCZES obtidos estão coerentes com a mineralogia determinada, pois, quanto mais caulínica a amostra, mais próximo do valor 3,5 está o PCZES. Além disso, observa-se também o efeito da matéria orgânica do solo sobre o PCZES. De modo geral o solo estudado apresentou baixos valores de PCZES para todos os sistemas e praticamente o mesmo para idênticas profundidades. Esses baixos valores estão relacionados com os minerais de argila silicatados e a matéria orgânica que são responsáveis pelo abaixamento do PCZES (van Raij, 1972 e Magalhães e Page, 1984).

Os valores de PCZES dos materiais de solo, determinados por titulação potenciométrica mostraram que na profundidade de 100-120 cm esse valor pouco diferiu de 4,0, sugerindo ser esse o PCZ típico desse solo com influência menor da matéria orgânica. Esses valores diminuíram nas profundidades de 0-20 cm, estando relacionado com o maior teor de matéria orgânica nessas profundidades. Esses menores valores, deve-se à presença de grupos reativos da matéria orgânica, principalmente de grupos carboxílicos, que apresentam baixo pK e, portanto, se encontram dissociados, manifestando carga negativa na faixa de pH comum para os solos (Schnitzer, 1986). Houve correlação significativa do PCZ com o COT ($r^2 = -0,73$), ou seja, à medida que o teor de carbono orgânico total cresce o valor do ponto de carga zero por efeito salino diminui. A SD e a GP apresentaram comportamento semelhante para os valores de PCZES que aumentaram da camada 0-2,5 até a camada de 10-20 cm, ao passo que o AD teve comportamento oposto, com a diminuição dos valores de PCZES da camada 0-2,5 cm para a camada de 10-20 cm. Esse é um comportamento coerente já que no manejo com AD o solo é revolvido completamente, com a camada mais subsuperficial sendo colocada na superfície, o que não acontece no SD e na GP. O manejo modificou o balanço de cargas elétricas líquidas, provavelmente por causa das alterações na matéria orgânica. Observa-se uma maior quantidade de carga líquida para o SD (4,9 cmol_c/kg) do que para GP (3,4 cmol_c/kg) na profundidade de 0-2,5 cm, e para o sistema AD essa carga foi bem menor (1,0 cmol_c/kg). Essa diferença na carga líquida pode ter um impacto muito importante no comportamento dos solos quanto à adsorção de cátions, pois pode significar uma capacidade muito maior de reter os principais cátions trocáveis como Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺ nos sistemas de preparo SD e GP quando comparados com o

sistema de AD. Em todos os casos, os PCZES encontrados estão abaixo do pH do solo, indicando que os solos possuem carga líquida negativa nas condições naturais (Tabela 3). Ao longo da profundidade diminui a carga líquida negativa. À medida que se afasta da superfície, os valores dos PCZES aumentam, correspondendo a um decréscimo da carga líquida negativa, isto está de acordo com Siqueira et. al (1990) e Alleoni & Camargo (1994), devido à menor presença de carbono orgânico responsável pela diminuição do PCZES.

Nota-se pelos resultados uma maior diferença nas camadas mais próximas da superfície, provavelmente em razão dos maiores teores de matéria orgânica na camada superficial, uma vez que não houve variação significativa de composição mineralógica entre as camadas. Houve correlação linear positiva entre COT e a carga líquida negativa ($r^2=0,70$), ou seja, quando o COT aumentou, a carga líquida também aumentou.

Tabela 3 – Valores de PCZES, carga líquida, pH em água e da diferença entre pH em água e PCZES em cinco profundidades, com as três formas de preparo do solo.

Profundidade	PCZES	Carga líquida	pH (H₂O)	pH-PCZES
cm	-	cmol_c kg⁻¹	-	-
Semeadura direta				
0-2,5	3,25	4,9	5,7	2,45
2,5-5,0	3,35	2,4	5,14	1,79
5,0-10,0	3,65	1,1	5,01	1,36
10,0-20,0	3,65	0,7	4,55	0,90
100,0-120,0	4,0	0,6	5,15	1,15
Arado de Disco				
0-2,5	3,7	1,0	4,74	1,04
2,5-5,0	3,65	0,7	4,74	1,09
5,0-10,0	3,3	1,5	4,70	1,40
10,0-20,0	3,5	1,1	4,72	1,22
100,0-120,0	4,1	0,2	5,22	1,12
Grade Pesada				
0-2,5	3,0	3,4	5,15	2,15
2,5-5,0	3,2	2,7	5,19	1,99
5,0-10,0	3,9	0,9	5,13	1,23
10,0-20,0	3,5	1,0	5,01	1,51
100,0-120,0	4,0	0,8	4,96	0,96

CONCLUSÃO

Não foi detectada diferenciação da mineralogia com os métodos utilizados dos solos sob influência dos diferentes sistemas de preparo do solo.

O manejo do solo, com diferentes sistemas de preparo modificou o balanço de cargas elétricas, provavelmente por causa das alterações relativas à matéria orgânica, encontrando em ordem decrescente os sistemas de semeadura direta e convencionais com grade pesada e arado de disco.

Os valores de PCZES mostraram-se coerentes com a mineralogia caulínica deste solo, sendo menores na camada superficial por influência da matéria orgânica e maior e maior na subsuperfície sendo característico da fração mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Potencial elétrico superficial e carga líquida de latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 181-185, 1994.

BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York, John Wiley & Sons, 1979. 329 p.

COFFIN, D. E. A method for determination of free iron oxides in soils and clays. **Canadian Journal Soil Science**, v. 43, p. 9-17, 1963.

COSTA, L. M. da; MORAIS, E. J.; RIBEIRO, A. C.; FONSECA, S. da. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes coberturas florestais. **Revista Ceres**, n. 31, p 351-359, 1984.

EGREJA FILHO, F. B. **Extração seqüencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: utilização de componentes-modelo e planejamentos com misturas ternárias na otimização do método**. 2000. 287 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

FALLEIRO, R. M. **Influência de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo e na população de plantas daninhas**. 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

FONTES, M. P. F. Carga elétrica superficial de partículas do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Resumos**. Águas de Lindóia: Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM).

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

MAGALHÃES, A. F.; PAGE A. L. Características das cargas elétricas dos solos da Zona da Mata de Pernambuco. I. Determinação das cargas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18: 173-177, 1984.

PARKS, G. A.; DE BRUYN, P. L. The zero point of charge of oxides. **Journal Physical Science**, v. 66, p.967-973, 1962.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and applications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p.319-337, 1984.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society American Proceedings**, n. 36:, p. 587-593, 1972.

RAIJ, B. van. Determinação do ponto de carga zero em solos. **Bragantia**, n. 32, p 337-347, 1973.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. Ponto de efeito salino nulo e suas relações com propriedades mineralógicas e químicas de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 9, p. 663-671, 1996.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P. M., SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA, 1986. p. 77-102.

SCHOFIELD, R. K. Effect of pH on electric charges carried by clay particles. **Journal Soil of Science**, v. 1, p. 1-8, 1949.

SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxide. **Nature**, n. 212, p. 645-646, 1966.

SIQUEIRA, C.; LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. & SANTOS, G. A. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 13-17, 1990.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.