



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Corrêa, M. M.; Ker, J. C.; Mendonça, E. S.; Ruiz, H. A.; Bastos, R. S.
Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB)
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 27, núm. 2, abril, 2003, pp. 311-324
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218485011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE SOLOS DA REGIÃO DAS VÁRZEAS DE SOUSA (PB)⁽¹⁾

M. M. CORRÊA⁽²⁾, J. C. KER⁽³⁾, E. S. MENDONÇA⁽³⁾,
H. A. RUIZ⁽³⁾ & R. S. BASTOS⁽⁴⁾

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar, física, química e mineralogicamente, os solos localizados nas várzeas de Sousa (Sertão da Paraíba), bem como verificar o efeito dos cátions alcalinos e alcalino-terrosos na estabilidade das substâncias húmicas. Procurou-se, ainda, identificar os critérios de distinção de ambientes utilizados pelos pequenos agricultores e as diferentes formas de uso dos solos da região estudada. Para isso, foram selecionados, amostrados e analisados perfis de solos das classes: Neossolo Flúvico, Luvisolo, Planossolo Nátrico e Vertissolo Cromado. Constatou-se que, além do sódio, o magnésio teve participação efetiva na dispersão de argila, principalmente nos Vertissolos. Os teores de Fe_2O_3 foram baixos em todos os perfis, com provável predomínio das formas menos cristalinas, identificadas pelas altas relações Feo/Fed. A mineralogia cálcio-sódica da fração silte é condizente com os teores, relativamente elevados, de cálcio, magnésio e sódio, sendo, provavelmente, o principal responsável por esses valores nos solos estudados. Na fração argila de todos os solos, foi observada a presença marcante da vermiculita/esmectita e illita. Nos Vertissolos, o teor expressivo de ferro na fração argila revela, além da presença da hematita, a ocorrência de mineral 2:1 expansivo rico em ferro, sobretudo a nontronita. O pré-tratamento para eliminação de carbonatos (HCl 0,1 mol L^{-1}), efetuado durante o fracionamento das substâncias húmicas, resultou em aumentos de 300 e 340 % para as frações ácidos húmicos e fúlvicos, respectivamente, e redução de 60 % na fração humina, evidenciando a participação de humatos e fulvatos de cálcio e de magnésio na estabilização da matéria orgânica.

Termos de indexação: semi-árido, alcalinidade, esmectitas, matéria orgânica, estratificação de ambientes.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em janeiro de 2002 e aprovado em novembro de 2002.

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. P.H. Rolfs s/n, Campus, CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista CNPq. E-mail: marcelometri@yahoo.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. E-mail: jcker@ufv.br

⁽⁴⁾ Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, UFV.

SUMMARY: *PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS FROM THE MEADOW REGION OF SOUSA (PB)*

Physical, chemical and mineralogical characteristics of soils from the meadows of Sousa (Paraíba State - Brazil) were studied, as well as the effect of alkaline and alkaline-earth cations on humic substance stability. Furthermore, criteria of environmental distinction used by the small farmers and different forms of land use in the studied region were identified. Profiles from the classes Ustifluvents (Neossolo Flúvico), Haplustalfs (Luvissolo), Natrustalfs (Planossolo nátrico), and Usterts (Vertissolo crômico) were therefore selected, sampled and analyzed. Besides sodium, magnesium also had an effective participation in clay dispersion, mainly in the Usterts. Fe_2O_3 contents were low in all profiles, with a probable prevalence of less crystalline forms. The calcium-sodic mineralogy of the silt fraction is in agreement with the relative high content of calcium, magnesium and sodium. The outstanding presence of vermiculite/smectite and illite was observed in the soil clay fraction of all soils. The high iron content in the clay fraction of Usterts suggests, besides the presence of hematite, the occurrence of 2:1 expansible mineral, rich in iron, possibly nontronite. The pre-treatment for carbonate elimination ($HCl\ 0.1\ mol\ L^{-1}$), applied during the humic substance fractionation, caused increases of 300 and 340 % for the humic and fulvic acid fractions, respectively, and a reduction of 60 % in the humin fraction, suggesting a participation of calcium and of magnesium humates and fulvates in organic matter stabilization.

Index terms: semi-arid, alkalinity, smectites, organic matter, environmental stratification.

INTRODUÇÃO

Dependendo do material de origem, os solos podem estar mais ou menos predispostos à salinização ou a salinidade pode-se desenvolver com maior ou menor intensidade. Segundo Sumner (1995), vários solos que ocorrem em climas semi-áridos apresentam quantidades apreciáveis de minerais intemperizáveis (feldspatos, hornblendas, plagioclásios, calcita e gipsita), os quais podem manter altas atividades de íons cálcio, magnésio e sódio em solução. Além desses fatores, têm-se ainda a alta taxa de evapotranspiração e a presença de aquíferos subterrâneos com água enriquecida por sais (Richards, 1954; Szabolcs, 1995). Portanto, a identificação dos diversos tipos de minerais que têm em sua constituição elementos que podem contribuir com a salinização e, ou, alcalinização do solo é de fundamental importância para o entendimento deste processo que mantém um estreito relacionamento com a sustentabilidade agrícola.

Roades et al. (1968) demonstraram que a quantidade liberada de Ca^{2+} e Mg^{2+} em vários solos do semi-árido da Califórnia (EUA), lixiviados com soluções cloretadas de diferentes composições e concentrações, foi conseqüência da dissolução da calcita e de minerais, como feldspatos, hornblenda, dentre outros. Verificaram, também, que a liberação desses íons divalentes na solução do solo aumentou com o teor de sódio das águas aplicadas, resultando, finalmente, numa diminuição no valor da razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação e, conseqüentemente, no risco de sodicidade do solo.

O aumento de íons divalentes na solução do solo também foi obtido por Roades (1968), quando utilizou águas carbonatadas.

Oster & Shainberg (1979), estudando solos da Califórnia e de Israel, verificaram a contribuição de feldspatos-K, plagioclásios e calcita, principalmente da fração silte, no aumento da concentração de cálcio, magnésio e potássio na solução do solo e que esta contribuição foi maior com a presença do sódio trocável.

Shainberg et al. (1981), estudando três solos da Califórnia: Typic Haploxeralfs, Mollic Haploxeralfs e Typic Torrifluvents, observaram que os dois últimos apresentaram quantidades significativas de minerais intemperizáveis e tiveram suas características, como dispersão de argila e condutividade hidráulica, menos afetadas pelo sódio trocável. Para esses autores, tal comportamento era decorrente da manutenção da concentração eletrolítica pelo intemperismo dos minerais, considerada suficiente para manter a estruturação do solo.

No Brasil, há poucos trabalhos relacionados com essa linha de pesquisa. Sousa (1995), trabalhando com solos classificados como: Aluvial, Solonetz-Solodizado, Regossolo e Bruno Não-Cálcico, de áreas semi-áridas de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, constatou, por difratometria de raios-X, picos de plagioclásios cálcio-sódicos e estimou a sua composição química usando as expressões derivadas dos gráficos publicados por Smith (1956) citado por Souza (1995). Concluiu que a alta proporção desses minerais nesses solos indica alto potencial de fornecimento de sódio. Schaefer & Dalrymple (1996),

em solos com estrutura colunar na Amazônia, verificaram que o alto teor de Na^+ era resultante do intemperismo de Na-plagioclásio.

No estado da Paraíba, uma porção da Bacia Hidrográfica dos rios Piranhas e Peixe, localizada próxima à cidade de Sousa ("Várzeas de Sousa"), vem recebendo incentivos há mais de quatro décadas por entidades do Governo Federal, com o intuito de formar um pólo de produção de hortifrutais irrigadas. Apesar da importância para a região, poucos trabalhos tratam da caracterização mais pormenorizada dos solos da área: Argissolos, Luvisolos, Vertissolos, Planossolos Nátricos e Neossolos Flúvicos e Litólicos. (SUDENE, 1968; Brasil, 1981; Paraíba, 1998). Vale destacar que atributos como os caracteres vértico, salino, sálico, solódico e sódico, ou, ainda, o salino-sódico, caracterizam aquelas áreas como problemáticas tanto para agricultura tecnificada quanto, principalmente, para a praticada pelos pequenos agricultores.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar, física, química e mineralogicamente, os solos localizados na região de Sousa (PB), bem como verificar a fonte de cátions alcalinos e alcalino-terrosos na estabilidade das substâncias húmicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

A área de estudo localiza-se na bacia sedimentar Cretácea do rio do Peixe, que é caracterizada por ser uma ampla baixada, com altitude média de 225 m,

alojada no pediplano regional, originada por uma reativação de falhas de rasgamento pré-cambriano por efeito da gravidade (Brasil, 1981, 1984).

A região apresenta médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar de 27°C e 64 %, respectivamente. Enquanto a precipitação média anual é de cerca de 1.000 mm; a evapotranspiração, medida pelo tanque Classe A, é de 2.937 mm, com um déficit hídrico ao redor de 1.934 mm. A vegetação predominante é a caatinga hipo e hiperxerófila (Brasil, 1981).

Litologicamente, a área é constituída por camadas alternadas de arenito (Formação Antenor Navarro e Formação Piranhas) e folhelhos (Formação Sousa), aflorando em diferentes partes da área, com a presença de processos pedogenéticos atuando em argilitos, calcários, siltitos oliváceos com carbonato de cálcio. Em toda a coluna estratigráfica, é comum a ocorrência de minerais como quartzo, biotita, muscovita e feldspatos, variando as suas proporções (Brasil, 1981).

Os solos mais representativos da área foram selecionados, amostrados e suas características morfológicas descritas conforme Lemos & Santos (1996) (Quadro 1), tais como: Neossolo Flúvico (Aluvial textura média), Neossolo Flúvico vértico (Aluvial vértico), Luvisolo (Bruno Não-Cálcico), Planossolo Nátrico (Solonetz-Solodizado) e Vertissolo Cromado (Vertissolo) (Figura 1).

Caracterização dos solos

A caracterização física foi realizada determinando-se a composição granulométrica e argila dispersa em

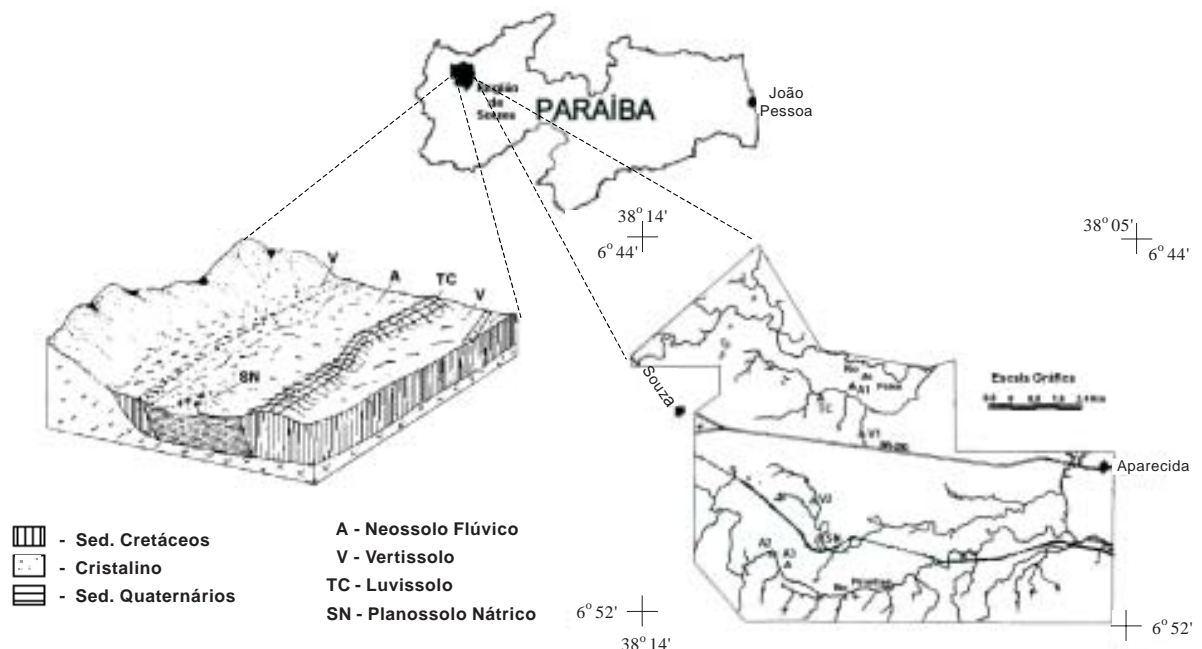


Figura 1. Representação esquemática da localização geográfica da área em estudo, no estado da Paraíba.

Quadro 1. Características morfológicas dos solos estudados

| Horizonte | | Cor úmida | Estrutura | Consistência | | | Fenda, slickensides |
|--|--------------|-----------|-------------|--------------|-------|-------------|---------------------|
| Símbolo | Profundidade | | | Seca | Úmida | Molhada | |
| cm | | | | | | | |
| Perfil V1 - caatinga hipoxerófila, relevo plano e rochas pelíticas (Cretáceo) | | | | | | | |
| A | 0-18 | 5YR3/2 | 2MBs | Md | Fr | Mpi/Mpe | Presente |
| Cv1 | 18-45 | 5YR3/4 | Pr/3GbsBa | Ed | Mfi | Mpi/Mpe | |
| Cv2 | 45-80 | 5YR3/4 | Pr/3Gba | D | Mfi | Mpi/Mpe | |
| Cv3 | 80-120 | 5YR3/4 | 3GbsBa | D | Mfi | Mpi/Mpe | Presente |
| Cvr | 120-160+ | 2,5YR3/4 | Maciça | - | - | - | |
| Perfil V2 - caatinga hipoxerófila, relevo plano e rochas pelíticas (Cretáceo) | | | | | | | |
| A | 0-17 | 5YR3/3 | 2PMBs/3PGr | Ed | Mfi | Mpi/Mpe | Presente |
| Cv1 | 17-40 | 5YR3/3 | GPr/3GBsBa | Ed | Efi | Mpi/Mpe | |
| Cv2 | 40-66 | 5YR3/3,5 | GPr/3GBsBa | Ed | Efi | Mpi/Mpe | |
| Cvr | 66-85+ | 5YR3/3,5 | 3PMBs | Ed | Mfi | Mpi/Mpe | Presente |
| Perfil TC - caatinga hiperxerófila, relevo suave-ondulado e rochas pelíticas (Cretáceo) | | | | | | | |
| A | 0-38 | 7,5YR4/4 | Gs c/seixos | - | - | Pi/Pe | Presente |
| 2Bt | 38-60 | 5YR4/4 | 23GBs | Ed | Mfi | Mpi/Mpe | |
| 2Cr | 60-80+ | 2,5YR3/4 | Maciça | - | - | - | |
| Perfil SN - caatinga hipoxerófila, relevo suave-ondulado e sedimentos argilo-arenosos (Holoceno) | | | | | | | |
| A1 | 0-10 | 10YR4/5 | Gs | S | S | ñPi/ñPe | |
| A2 | 10-30 | 7,5YR4/6 | Gs | S | S | ñPi/ñPe | |
| E | 30-34 | 10YR7/2 | Gs | S | S | ñPi/ñPe | |
| 2Bt1 | 34-50 | 10YR6/3 | C/3GMBsBa | Ed | Fi | Pi/Pe | |
| 2Bt2 | 50-80 | 10YR5/2 | C/3GMBsBa | Ed | Fi | Pi/Pe | |
| | | | | | | | |
| Perfil A1 – caatinga hipoxerófila, relevo plano e sedimentos argilo-arenosos (Holoceno) | | | | | | | |
| Ap | 0-15 | 10YR3/6 | 12MBs | D/Md | Fi | Pi/Pe | Presente |
| AC | 15-28 | 10YR3/3 | 2PMBs | Ed | Fi | Pi/Pe | |
| Cv1 | 28-49 | 10YR4/2 | 2PMBsBa | Ed | Fi | PiMpi/PeMpe | |
| 2Cv2 | 49-88 | 10YR3/3 | 2PMBsBa | Ed | Fi | PiMpi/PeMpe | |
| 3Cv3 | 88-140+ | 10YR3/1 | 2PMBsBa | Ed | Fi | PiMpi/PeMpe | |
| | | | | | | | |
| Perfil A2 – floresta caducifólia de várzea, relevo plano e sedimentos areno-argilosos (Holoceno) | | | | | | | |
| A | 0-18 | 10YR3/2 | 12PMBs | Ld | Fr | ñPi/ñPe | |
| C1 | 18-50 | 10YR3/2 | 2MBsBa | - | Fr | Pi/Lpe | |
| C2 | 50-85 | 10YR3/2 | 2PMBs | - | Fi | Pi/Pe | |
| C3 | 85-100 | 10YR3/3 | 1PBs | - | Fr | Lpi/Lpe | |
| C4 | 100-130+ | 10YR3/3 | 1PBs | - | Fr | Lpi/Lpe | |
| Perfil A3 - floresta caducifólia de várzea, relevo plano e sedimentos areno-argilosos (Holoceno) | | | | | | | |
| A | 0-23 | 10YR3/2 | 1PMBaBs | Ma | Mfr | ñPi/ñPe | |
| C1 | 23-68 | 10YR3/3 | 1PMBaBs | Ma | Mfr | ñPi/ñPe | |
| C2 | 68-104 | 10YR3/4 | 1PMBaBs | Ma | Mfr | ñPi/ñPe | |
| C3 | 104-128 | 10YR3/5 | 1PMBaBs | Ma | Mfr | Lpi/Lpe | |
| C4 | 128-140+ | 10YR4/4 | 1PMBaBs | Ma | Mfr | Lpi/Lpe | |

Estrutura: 1 – fraca; 2 – moderada; 3 – forte; P – pequena; M – média; G – grande; Gr – granular; Ba – blocos angulares; Bs – blocos subangulares; Pr – prismática; C – colunar; Gs – grãos simples; c/seixos – entremeados a seixos não arestados de tamanho variado. Consistência: S – solta; Ma – macia; Ld – ligeiramente dura; D – dura; Md – muito dura; Ed – extremamente dura; Fr – friável; Mfr – muito friável; Fi – firme; Mfi – muito firme; Efi – extremamente firme; ñPi – não-plástica; Lpi – ligeiramente plástica; Pi – plástica; Mpi – muito plástica; ñPe – não pegajosa; Lpe – ligeiramente pegajosa; Pe – pegajoso; Mpe – muito pegajoso.

água pelo método da pipeta; a densidade do solo, pelo método do anel volumétrico e torrão parafinado, quando possível; a densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico, todos segundo EMBRAPA (1997).

Na caracterização química, determinaram-se: o pH em água e KCl 1 mol L⁻¹; o carbono orgânico total (COT), pelo método de Walkley & Black modificado por Yoemans & Bremner (1988); o potássio e sódio, por fotometria de chama, após extração com HCl

0,05 mol L⁻¹; o cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, por espectrofotometria de absorção atômica, após extração com KCl 1 mol L⁻¹; a acidez potencial (Al + H), por extração com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0, e o fósforo disponível, por colorimetria em presença de ácido ascórbico, depois da extração com solução de Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997).

As frações silte e argila foram separadas por gravimetria e seus componentes identificados por difratometria de raios-X. Na fração silte, foi dada ênfase, principalmente, à identificação de minerais com potencial para contribuir na salinização ou alcalinização do solo. As amostras foram preparadas em lâminas de vidro, orientadas, no caso das argilas, e em pó, no caso do silte. Na fração argila, foram realizados os tratamentos com potássio, magnésio e magnésio + etilenoglicol (Whittig & Allardice, 1986). Foi avaliado ainda o tipo de óxidos em amostras de argila tratadas com NaOH 5 mol L⁻¹ (Kämpf & Schwertmann, 1982), montadas em lâminas sem orientação.

A extração e o fracionamento de substâncias húmicas foram efetuados de acordo com o método descrito pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas – SISH (Hayes et al., 1989). Na extração, foi utilizado hidróxido de sódio a 0,1 mol L⁻¹, na proporção solo:extrator de 1:4, utilizando-se 2,5 g de solo. Em razão da presença de concreções de CaCO₃ e, ou elevados teores dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺ nos perfis estudados, foram realizados dois fracionamentos de substâncias húmicas: sem (T1) e com (T2) o pré-tratamento de eliminação de carbonatos com HCl 0,1 mol L⁻¹ (Swift, 1996).

Foram analisados os elementos Si, Al, Fe, Mn, K, Na, Mg, e P por ataque sulfúrico na TFSA (EMBRAPA, 1997) e as formas de óxidos de ferro de melhor e pior cristalinidade, foram avaliadas pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio pH 3,0, respectivamente, a partir de amostras de argila (McKeague & Day, 1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas

A análise granulométrica apresentou grande amplitude textural entre os solos estudados em razão da diversidade de materiais de origem (Quadro 2). Os Vertissolos, derivados de argilito, mostraram-se muito argilosos em todo o perfil, com maiores teores de argila em profundidade, em razão, provavelmente, da perda seletiva desta fração na superfície, já que o intenso fendilhamento e a presença de “slickensides” observados indicam que a pedoturbação parece ter sido suficiente para promover a homogeneização textural destes solos.

Nos solos das planícies fluviais (perfis A1, A2 e A3), verificou-se expressiva variação textural entre

os perfis (Quadro 2) que reflete a natureza diversa do material sedimentado. O relevo mais plano e a menor energia da água no transporte de sedimentos, permitindo a deposição de materiais coloidais, conferiram aos Neossolos Flúvicos da bacia do rio do Peixe (A1) uma textura mais argilosa, com ocorrência de solos com características vérticas. Já os localizados na bacia do rio Piranhas (A2 e A3) são mais arenosos e apresentam menor diferenciação textural entre camadas. Na fração grosseira desses solos, predomina a areia fina, aspecto positivo na retenção de umidade.

De modo geral, todos os perfis apresentaram baixo grau de floculação (Quadro 2), evidenciando o efeito dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do meio, promovendo, assim, a dispersão. Esses valores foram mais baixos no Planossolo Nátrico e no Luvisso, graças, talvez, ao efeito dispersivo do sódio e magnésio trocáveis.

O papel do magnésio na dispersão das argilas (ADA) fica mais evidente nos Vertissolos (Quadro 3). Nestes solos, mesmo sendo baixos os teores de sódio, em relação aos de cálcio, a argila dispersa mostra-se bastante elevada (Quadro 2), condizente com os teores elevados de magnésio. Foi observada uma correlação significativa ($r = 0,80^{**}$) entre seus teores e os valores de ADA para todos os solos estudados. Sokolov (1963) descreve inúmeros textos com esta abordagem, alguns deles anteriores a Richards (1954). No Brasil, foi verificada a ocorrência de Planossolos Nátricos em Roraima com elevada saturação por magnésio, resultando em efeitos físicos deletérios (Scheafer, 1994).

As diferenciações texturais entre os horizontes A e B do Planossolo Nátrico e do Luvisso apresentaram-se bastante altas, o que caracteriza estas classes. O baixo grau de floculação e a baixa permeabilidade do horizonte B, favorecendo fluxo lateral de água, contribuem fortemente para essa diferenciação textural.

Nos Vertissolos e Planossolos Nátricos (SN), verificaram-se valores elevados de densidade do solo (Quadro 2). Provavelmente, o alto grau de dispersão de argila do solo, favorecendo um arranjo dos argilominerais, a migração a curta distância, com preenchimento de poros, e a contração e expansão desses solos promoveram esse maior adensamento. Assim, os valores de porosidade apresentaram-se bastante baixos, sendo menores para os solos mais argilosos com alta densidade aparente. Esses altos valores de densidade podem reduzir o fluxo de massa e a difusão de diversos elementos (fósforo, por exemplo), resultando em menor disponibilidade de nutrientes (Kemper et al., 1971), além de constituir impedimento mecânico ao crescimento das raízes (Baver & Gardner, 1972).

Características químicas

Os solos estudados são ligeiramente ácidos a alcalinos, apresentando altas somas de bases (SB) e

Quadro 2. Granulometria, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), relação silte/argila e densidades do solo e da partícula dos solos estudados

| Solo | Horizonte | Profundidade | Areia | | Silte | Argila | ADA | GF | Silte Argila | Densidade | | Porosidade |
|----------------|------------------|--------------|--------------------|------|-------|--------|-----|----|---------------------|-----------|--------------------------------|------------|
| | | | Grossa | Fina | | | | | | Solo | Partícula | |
| | | cm | g kg ⁻¹ | | | | | | kg dm ⁻³ | | m ³ m ⁻³ | |
| V ₁ | A | 0-18 | 60 | 100 | 220 | 620 | 40 | 35 | 0,35 | 1,93 | 2,79 | 0,31 |
| | C _{v1} | 18-45 | 70 | 80 | 200 | 650 | 39 | 40 | 0,31 | 2,05 | 2,70 | 0,24 |
| | C _{v2} | 45-80 | 50 | 80 | 190 | 680 | 54 | 21 | 0,28 | 2,21 | 2,73 | 0,19 |
| | C _{v3} | 80-120 | 40 | 60 | 190 | 710 | 61 | 14 | 0,27 | 2,04 | 2,72 | 0,25 |
| | C _{vr} | 120-160+ | 40 | 60 | 200 | 700 | 60 | 14 | 0,29 | 1,99 | 2,75 | 0,28 |
| V ₂ | A _p | 0-17 | 60 | 90 | 210 | 630 | 41 | 35 | 0,33 | 1,90 | 2,71 | 0,30 |
| | C _{v1} | 17-40 | 70 | 90 | 210 | 630 | 37 | 37 | 0,33 | 1,90 | 2,69 | 0,29 |
| | C _{v2} | 40-66 | 70 | 90 | 180 | 660 | 45 | 32 | 0,27 | 1,93 | 2,66 | 0,27 |
| | C _{vr} | 66-85+ | 120 | 70 | 160 | 650 | 41 | 31 | 0,25 | 1,98 | 2,85 | 0,31 |
| TC | A | 0-38 | 440 | 330 | 600 | 170 | 6 | 65 | 0,35 | .. | 2,65 | .. |
| | 2Bt | 38-60 | 120 | 50 | 210 | 620 | 59 | 5 | 0,34 | .. | 2,67 | .. |
| | 2Cr | 60-80+ | 460 | 70 | 280 | 200 | 14 | 30 | 1,40 | .. | 2,73 | .. |
| SN | A ₁ | 0-10 | 570 | 360 | 40 | 30 | 1 | 67 | 1,33 | 1,69 | 2,60 | 0,35 |
| | A ₂ | 10-30 | 790 | 180 | 10 | 20 | 1 | 50 | 0,50 | 1,64 | 2,62 | 0,37 |
| | E | 30-34 | 810 | 140 | 30 | 20 | 1 | 50 | 1,50 | 1,71 | 2,63 | 0,35 |
| | 2Bt ₁ | 34-50 | 400 | 240 | 90 | 270 | 25 | 7 | 0,33 | 1,92 | 2,64 | 0,27 |
| | 2Bt ₂ | 50-80 | 370 | 260 | 100 | 270 | 26 | 4 | 0,37 | 2,08 | 2,62 | 0,21 |
| | 2C | 80-100 | 390 | 270 | 110 | 230 | 18 | 22 | 0,48 | 2,02 | 2,78 | 0,27 |
| A ₁ | A _p | 0-15 | 30 | 540 | 110 | 310 | 20 | 29 | 0,35 | 1,84 | 2,63 | 0,30 |
| | AC | 15-28 | 50 | 460 | 220 | 270 | 19 | 30 | 0,81 | 1,96 | 2,63 | 0,25 |
| | C _{v1} | 28-49 | 30 | 400 | 270 | 300 | 25 | 17 | 0,90 | 1,85 | 2,62 | 0,29 |
| | 2C _{v2} | 49-88 | 20 | 320 | 230 | 430 | 35 | 19 | 0,53 | 1,81 | 2,59 | 0,30 |
| | 3C _{v3} | 88-140+ | 10 | 110 | 300 | 580 | 51 | 12 | 0,51 | 1,83 | 2,71 | 0,32 |
| A ₂ | A | 0-18 | 150 | 620 | 120 | 110 | 4 | 64 | 1,09 | 1,54 | 2,61 | 0,41 |
| | C ₁ | 18-50 | 100 | 520 | 180 | 200 | 10 | 50 | 0,90 | 1,70 | 2,71 | 0,37 |
| | C ₂ | 50-85 | 40 | 390 | 300 | 270 | 17 | 37 | 1,59 | 1,67 | 2,49 | 0,33 |
| | C ₃ | 85-100 | 10 | 720 | 110 | 160 | 10 | 38 | 0,71 | 1,49 | 2,61 | 0,43 |
| | C ₄ | 100-130+ | 30 | 790 | 90 | 90 | 4 | 56 | 1,01 | 1,49 | 2,59 | 0,42 |
| A ₃ | A | 0-23 | 190 | 690 | 80 | 40 | 2 | 50 | 2,05 | 1,43 | 2,59 | 0,45 |
| | C ₁ | 23-68 | 210 | 630 | 60 | 100 | 6 | 40 | 0,60 | 1,46 | 2,58 | 0,43 |
| | C ₂ | 68-104 | 220 | 610 | 50 | 120 | 7 | 42 | 0,45 | 1,53 | 2,58 | 0,41 |
| | C ₃ | 104-128 | 280 | 530 | 60 | 130 | 8 | 38 | 0,44 | 1,47 | 2,66 | 0,45 |
| | C ₄ | 128-140+ | 160 | 620 | 80 | 140 | 8 | 43 | 0,57 | 1,55 | 2,59 | 0,41 |

⁽¹⁾ V = Vertissolo; TC = Luvissolo; SN = Planossolo Nátrico; A = Neossolo Flúvico.

capacidade de troca de cátions (CTC), baixo conteúdo de carbono orgânico (Quadro 3). Os altos valores de CTC, principalmente para aqueles solos com maior conteúdo de argila, encontram-se condizentes com as feições morfológicas dos solos, em que o intenso fendilhamento, a dureza e a estrutura mostram a participação expressiva de minerais de argilas 2:1, fato confirmado pela difratometria de raios-X e pelos dados da relação Ki (Quadro 4).

Johnson et al. (1962), estudando Vertissolos do Arizona, relataram casos de horizontes que apresentavam CTC maior que outros, com mesmo teor de argila e menor conteúdo de COT, evidenciando que, em ambientes semi-áridos, a densidade de carga dos argilominerais é mais importante para a CTC que o teor de COT, por ser

este normalmente muito baixo. Nesse aspecto, foi observada correlação não-significativa entre os valores do COT e os da CTC. No entanto, esta última apresentou correlação altamente significativa com o teor de argila ($r = 0,93^{**}$).

O cálcio apresentou-se como o principal contribuinte na soma de bases trocáveis (SB), seguido pelo magnésio, refletindo, assim, a natureza do material de origem (argilitos e arenitos calcíferos), chegando a ocupar, em média, 62 e 26 % do complexo sortivo, respectivamente. Exceção foi observada para o perfil SN, em que o sódio foi o cátion predominante, com percentagem de saturação por sódio (PST) de aproximadamente 75 %. A mineralogia cálcio-sódica (plagioclásios) das frações areia grossa, areia fina (dados não apresentados),

Quadro 3. Características químicas dos solos estudados

| Solo | Horizonte | pH (1:2,5) | | ΔpH | Complexo sortivo | | | | | | | | | | COT ⁽¹⁾ | Pdisp. ⁽²⁾ |
|------------------------------------|------------------|------------------|------|-------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------|------------------|-----|-------|-----|--------------------|---------------------|-----------------------|
| | | H ₂ O | KCl | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | S | Al ³⁺ | H | T | V | PST | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| cmol _c kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | —%— | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | |
| V ₁ | A | 8,34 | 6,73 | -1,61 | 46,51 | 13,20 | 0,36 | 0,56 | 60,63 | 0,0 | 0,0 | 60,63 | 100 | 0,9 | 4,1 | 13 |
| | C _{v1} | 8,73 | 6,80 | -1,93 | 43,29 | 14,50 | 0,28 | 1,55 | 59,61 | 0,0 | 0,0 | 59,61 | 100 | 2,6 | 4,1 | 14 |
| | C _{v2} | 9,04 | 6,95 | -2,09 | 39,20 | 14,80 | 0,26 | 2,92 | 57,17 | 0,0 | 0,0 | 57,17 | 100 | 5,1 | 2,5 | 16 |
| | C _{v3} | 8,67 | 7,11 | -1,56 | 36,51 | 15,05 | 0,26 | 3,64 | 55,46 | 0,0 | 0,0 | 55,46 | 100 | 6,6 | 4,9 | 28 |
| | C _{vr} | 8,87 | 7,19 | -1,68 | 33,62 | 13,80 | 0,17 | 3,32 | 50,89 | 0,0 | 0,0 | 50,89 | 100 | 6,5 | 2,3 | 17 |
| V ₂ | A _p | 8,05 | 6,68 | -1,37 | 47,45 | 4,10 | 0,69 | 0,43 | 52,66 | 0,0 | 0,0 | 52,66 | 100 | 0,8 | 6,2 | 147 |
| | C _{v1} | 8,24 | 6,66 | -1,58 | 46,80 | 4,33 | 0,62 | 0,50 | 52,24 | 0,0 | 0,0 | 52,24 | 100 | 1,0 | 4,3 | 147 |
| | C _{v2} | 8,41 | 6,98 | -1,43 | 47,73 | 4,41 | 0,62 | 0,83 | 53,58 | 0,0 | 0,0 | 53,58 | 100 | 1,5 | 5,6 | 150 |
| | C _{vr} | 8,56 | 6,91 | -1,65 | 46,99 | 4,78 | 0,61 | 1,29 | 53,67 | 0,0 | 0,7 | 54,37 | 99 | 2,4 | 3,9 | 192 |
| TC | A | 5,36 | 3,85 | -1,51 | 7,00 | 1,50 | 0,16 | 0,12 | 8,78 | 0,0 | 4,6 | 13,38 | 66 | 0,9 | 10,8 | 12 |
| | 2Bt | 6,62 | 5,08 | -1,54 | 30,86 | 12,44 | 0,11 | 2,27 | 45,67 | 0,0 | 2,0 | 47,67 | 96 | 4,8 | 4,9 | 30 |
| | 2Cr | 8,41 | 7,04 | -1,37 | 21,21 | 6,75 | 0,12 | 1,87 | 29,95 | 0,0 | 0,3 | 30,25 | 99 | 6,2 | 2,9 | 568 |
| SN | A ₁ | 5,76 | 4,28 | -1,48 | 2,25 | 0,73 | 0,09 | 0,06 | 3,14 | 0,0 | 0,0 | 3,14 | 100 | 2,0 | 2,0 | 5 |
| | A ₂ | 6,70 | 5,02 | -1,68 | 1,74 | 0,33 | 0,05 | 0,04 | 2,16 | 0,0 | 0,0 | 2,16 | 100 | 1,9 | 2,0 | 3 |
| | E | 7,68 | 6,40 | -1,28 | 1,60 | 0,22 | 0,03 | 0,07 | 1,93 | 0,0 | 0,0 | 1,93 | 100 | 3,8 | 1,0 | 2 |
| | 2Bt ₁ | 8,87 | 6,89 | -1,98 | 1,27 | 0,27 | 0,04 | 3,84 | 5,41 | 0,0 | 0,0 | 5,41 | 100 | 70,9 | 1,0 | 4 |
| | 2Bt ₂ | 9,40 | 7,12 | -2,28 | 1,14 | 0,24 | 0,04 | 4,36 | 5,79 | 0,0 | 0,0 | 5,79 | 100 | 75,4 | 1,0 | 6 |
| | 2C | 8,28 | 6,80 | -1,48 | 11,61 | 9,59 | 0,19 | 1,22 | 22,60 | 0,0 | 0,0 | 22,60 | 100 | 5,4 | 1,3 | 31 |
| A ₁ | A _p | 6,91 | 4,78 | -2,13 | 12,25 | 8,66 | 0,17 | 0,46 | 21,54 | 0,0 | 1,6 | 23,14 | 93 | 2,0 | 5,2 | 12 |
| | AC | 7,72 | 5,86 | -1,86 | 6,14 | 6,87 | 0,11 | 0,73 | 13,84 | 0,0 | 1,0 | 14,84 | 93 | 4,9 | 3,6 | 26 |
| | C _{v1} | 8,29 | 6,36 | -1,93 | 6,78 | 7,99 | 0,10 | 1,12 | 15,97 | 0,0 | 0,0 | 15,97 | 100 | 7,0 | 1,0 | 128 |
| | 2C _{v2} | 8,03 | 6,39 | -1,64 | 6,87 | 10,72 | 0,11 | 1,69 | 19,37 | 0,0 | 0,0 | 19,37 | 100 | 8,7 | 1,0 | 128 |
| | 3C _{v3} | 8,92 | 6,8 | -2,12 | 7,76 | 14,01 | 0,10 | 2,08 | 23,95 | 0,0 | 0,0 | 23,95 | 100 | 8,7 | 5,6 | 59 |
| A ₂ | A | 6,85 | 6,30 | -0,55 | 3,52 | 2,45 | 0,27 | 0,17 | 6,40 | 0,0 | 1,0 | 7,40 | 86 | 2,3 | 9,8 | 88 |
| | C ₁ | 7,10 | 5,98 | -1,12 | 5,60 | 3,46 | 0,14 | 0,14 | 9,34 | 0,0 | 0,7 | 10,04 | 93 | 1,4 | 7,9 | 76 |
| | C ₂ | 7,54 | 6,17 | -1,37 | 7,15 | 3,36 | 0,15 | 0,24 | 10,89 | 0,0 | 0,7 | 11,59 | 94 | 2,1 | 9,5 | 69 |
| | C ₃ | 7,33 | 6,08 | -1,25 | 4,93 | 2,54 | 0,13 | 0,17 | 7,78 | 0,0 | 1,3 | 9,08 | 86 | 1,9 | 5,6 | 100 |
| | C ₄ | 7,36 | 6,18 | -1,18 | 3,37 | 1,47 | 0,09 | 0,13 | 5,07 | 0,0 | 1,0 | 6,07 | 84 | 2,2 | 2,9 | 103 |
| A ₃ | A | 7,27 | 6,73 | -0,54 | 2,05 | 1,34 | 0,16 | 0,13 | 3,68 | 0,0 | 0,0 | 3,68 | 100 | 3,6 | 6,2 | 23 |
| | C ₁ | 7,26 | 6,49 | -0,77 | 4,87 | 1,69 | 0,16 | 0,16 | 6,87 | 0,0 | 0,0 | 6,87 | 100 | 2,3 | 3,9 | 23 |
| | C ₂ | 7,39 | 6,34 | -1,05 | 4,56 | 1,71 | 0,14 | 0,17 | 6,57 | 0,0 | 0,0 | 6,57 | 100 | 2,6 | 2,9 | 24 |
| | C ₃ | 7,38 | 6,18 | -1,20 | 4,56 | 1,84 | 0,10 | 0,14 | 6,63 | 0,0 | 0,3 | 6,93 | 96 | 2,1 | 1,0 | 30 |
| | C ₄ | 7,51 | 6,08 | -1,43 | 5,70 | 1,79 | 0,09 | 0,14 | 7,71 | 0,0 | 0,0 | 7,71 | 100 | 1,8 | 1,6 | 32 |

⁽¹⁾ Carbono orgânico total. ⁽²⁾ P disponível. V = Vertissolo; TC = Luvisso; SN = Planossolo Nátrico; A = Neossolo Flúvico.

silte e argila desse perfil e sua posição topográfica (região abaciada) são os prováveis motivos do predomínio do sódio. No mesmo sentido, foi observada uma saturação por sódio de 6 % nos horizontes subsuperficiais do perfil V₂, conferindo-lhe o atributo solódico.

Os valores de fósforo disponível atingiram 192 mg kg⁻¹ nos Vertissolos e 578 mg kg⁻¹ no Luvisso, ambos em horizontes subsuperficiais (Quadro 3). Estes altos valores, entretanto, não significam disponibilidade para as plantas. Em solos com reação alcalina e com altos teores de cálcio, esse elemento encontra-se na forma de fosfatos policálcios (P-Ca), facilmente atacados pelo extrator Mehlich-1 (Novais & Kamprath, 1978).

Para a relação cálcio/magnésio, verificou-se grande amplitude de resultados, com valores variando

de 0,5 a 11, com os maiores valores para os Vertissolos (V₂) e os menores para os Neossolos Flúvicos (A₁).

Ataque sulfúrico e extração de Fe por ditionito e oxalato

A grande amplitude nos teores de Fe₂O₃ dos solos estudados, variando de 0,39 a 10,36 dag kg⁻¹ (Quadro 4), sugere tanto uma diferenciação do material de origem quanto possíveis mudanças nos pedoambientes. Os maiores valores constatados foram para os Vertissolos e o Luvisso, o que parece estar correlacionado com o material de origem (argilito) mais rico quanto a este elemento. O baixo valor encontrado no Planossolo Nátrico pode estar relacionado com a sua redução e remoção (Schwertmann, 1988) durante sua gênese. A coloração do horizonte B (Quadro 1) e a presença do horizonte E, indicando ferrólise, corroboram esta afirmativa.

Quadro 4. Teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, K₂O, Na₂O, MgO e P₂O₅, obtidos pelo ataque sulfúrico na TFSA, relação Ki, Fe₂O₃ obtidos na fração argila por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed) e oxalato de amônio (Feo) e relações Feo/Fed dos solos estudados

| Solo | Horizonte | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | MgO | P ₂ O ₅ | Ki | Fed | Feo/Fed |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------|------|-------------------------------|----------------------|------|---------|
| dag kg ⁻¹ | | | | | | | | | | dag kg ⁻¹ | | |
| V ₁ | A | 33,06 | 16,55 | 8,38 | 0,14 | 0,71 | 0,40 | 1,87 | 0,02 | 3,40 | 1,90 | 0,22 |
| | C _{v1} | 26,43 | 16,99 | 8,26 | 0,14 | 0,72 | 0,41 | 1,85 | 0,02 | 2,64 | .. | .. |
| | C _{v2} | 30,86 | 16,85 | 8,24 | 0,14 | 0,73 | 0,41 | 1,90 | 0,02 | 3,11 | 1,97 | 0,23 |
| | C _{v3} | 31,77 | 16,90 | 8,48 | 0,15 | 0,80 | 0,45 | 1,98 | 0,02 | 3,20 | .. | .. |
| | C _{vr} | 30,04 | 16,61 | 8,59 | 0,13 | 1,33 | 0,75 | 3,02 | 0,06 | 3,08 | 2,32 | 0,13 |
| V ₂ | A _p | 34,10 | 16,20 | 8,43 | 0,20 | 1,45 | 0,82 | 1,90 | 0,04 | 3,58 | 2,38 | 0,21 |
| | C _{v1} | 35,05 | 16,45 | 8,30 | 0,20 | 1,43 | 0,80 | 1,85 | 0,05 | 3,62 | .. | .. |
| | C _{v2} | 34,29 | 16,37 | 8,22 | 0,20 | 1,51 | 0,85 | 1,88 | 0,05 | 3,56 | 2,32 | 0,18 |
| | C _{vr} | 32,29 | 16,90 | 8,28 | 0,18 | 1,62 | 0,91 | 2,06 | 0,06 | 3,25 | 2,14 | 0,18 |
| | R | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 3,03 | .. |
| TC | A | 14,2 | 6,76 | 3,12 | 0,05 | 0,31 | 0,18 | 0,28 | 0,03 | 3,57 | 5,97 | 0,31 |
| | 2Bt | 35,07 | 20,09 | 10,36 | 0,19 | 1,82 | 1,03 | 5,03 | 0,05 | 2,97 | 1,49 | 0,42 |
| | 2Cr | 28,29 | 14,19 | 8,51 | 0,15 | 1,66 | 0,94 | 3,28 | 0,14 | 3,39 | 2,89 | 0,22 |
| SN | A ₁ | 5,29 | 2,86 | 0,68 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 3,14 | 2,08 | 0,60 |
| | A ₂ | 4,04 | 2,34 | 0,47 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,00 | 2,93 | .. | .. |
| | E | 3,25 | 2,00 | 0,39 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 2,77 | 1,84 | 0,38 |
| | 2Bt ₁ | 17,79 | 7,78 | 2,34 | 0,01 | 0,31 | 0,18 | 0,31 | 0,00 | 3,89 | 0,70 | 0,45 |
| | 2Bt ₂ | 20,19 | 8,49 | 2,54 | 0,01 | 0,38 | 0,21 | 0,39 | 0,00 | 4,05 | .. | .. |
| | 2C | 25,38 | 10,79 | 4,45 | 0,05 | 1,06 | 0,60 | 1,40 | 0,03 | 4,00 | 1,14 | 0,20 |
| A ₁ | A _p | 19,53 | 10,20 | 4,59 | 0,04 | 0,33 | 0,19 | 0,59 | 0,03 | 3,26 | 1,38 | 0,80 |
| | AC | 20,07 | 9,76 | 4,38 | 0,04 | 0,40 | 0,22 | 0,71 | 0,03 | 3,50 | 2,03 | 0,36 |
| | C _{v1} | 22,90 | 11,82 | 5,50 | 0,05 | 0,58 | 0,33 | 1,02 | 0,02 | 3,29 | 1,99 | 0,46 |
| | 2C _{v2} | 29,79 | 15,18 | 6,84 | 0,05 | 0,78 | 0,44 | 1,24 | 0,03 | 3,34 | 2,18 | 0,43 |
| | 3C _{v3} | 33,97 | 19,68 | 8,54 | 0,06 | 1,00 | 0,57 | 1,37 | 0,04 | 2,93 | 2,25 | 0,42 |
| A ₂ | A | 13,23 | 6,78 | 2,87 | 0,05 | 0,44 | 0,25 | 0,62 | 0,04 | 3,32 | 3,87 | 0,41 |
| | C ₁ | 20,86 | 10,93 | 4,94 | 0,06 | 0,71 | 0,40 | 0,98 | 0,04 | 3,24 | 4,32 | 0,36 |
| | C ₂ | 23,67 | 12,36 | 5,92 | 0,07 | 0,85 | 0,48 | 1,14 | 0,05 | 3,26 | 4,48 | 0,33 |
| | C ₃ | 15,81 | 8,97 | 4,24 | 0,05 | 0,54 | 0,30 | 0,94 | 0,04 | 3,00 | 2,04 | 0,88 |
| | C ₄ | 13,01 | 6,81 | 3,02 | 0,04 | 0,31 | 0,17 | 0,70 | 0,03 | 3,25 | 3,97 | 0,38 |
| A ₃ | A | 7,46 | 4,44 | 1,66 | 0,04 | 0,16 | 0,09 | 0,31 | 0,00 | 2,86 | 2,66 | 0,30 |
| | C ₁ | 9,58 | 5,46 | 2,31 | 0,04 | 0,22 | 0,12 | 0,40 | 0,00 | 2,98 | 3,30 | 0,26 |
| | C ₂ | 10,85 | 6,19 | 2,53 | 0,03 | 0,23 | 0,13 | 0,41 | 0,00 | 2,98 | 3,93 | 0,25 |
| | C ₃ | 12,28 | 7,15 | 2,92 | 0,03 | 0,27 | 0,15 | 0,46 | 0,01 | 2,92 | 4,31 | 0,26 |
| | C ₄ | 14,45 | 7,94 | 3,57 | 0,04 | 0,32 | 0,18 | 0,56 | 0,02 | 3,09 | 4,44 | 0,29 |

V = Vertissolo; TC = Luvissolo; SN = Planossolo Nátrico; A = Neossolo Flúvico.

Para os Vertissolos e Luvissolo (horizonte 2Bt), a grande diferença dos resultados de Fe₂O₃ pelo ataque sulfúrico (corrigido para argila) e pelo DCB (Quadro 4) sugere ataque ao ferro presente na estrutura de argilomineral silicatado, provavelmente a nontronita. Comportamento similar é reportada por Acquaye et al. (1992), em solos expansíveis de Gana – África, e Pharande & Sonar (1997), em Vertissolos da Índia.

Em todos os solos, os teores de SiO₂ foram maiores que os de Al₂O₃, resultando em valores de Ki elevados (> 2,64), indicando menor solubilização e saída de sílica do sistema, favorecendo a gênese

de minerais de argila 2:1 na área (drenagem deficiente, precipitação relativamente baixa, temperatura e evapotranspiração elevadas).

Os valores de Na₂O e K₂O são nitidamente maiores nos Vertissolos e no Luvissolo que nos demais solos. Estimando o conteúdo de ilita a partir de resultado obtido para potássio do ataque sulfúrico (Jackson, 1974), percebe-se que este mineral tem participação expressiva na fração argila destes solos. Além disso, os resultados de sódio e de potássio (Quadro 4) revelam diferenciação química entre os dois Vertissolos, morfologicamente muito semelhantes.

De modo geral, os solos de zonas áridas e semi-áridas apresentam baixos teores de Fe_2O_3 extraídos pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), com relação Fe_o/Fe_d elevada, o que indica a participação expressiva de formas de ferro de menor cristalinidade (Quadro 4).

A coloração bruno-avermelhada (2,5YR 3/4 úmido) dos Vertissolos parece relacionar-se com o material de origem (argilito), que apresentou teor de óxido de ferro extraível por DCB igual a $3,03 \text{ dag kg}^{-1}$. Assim, possivelmente, a coloração avermelhada desses solos seria resultante de uma hematita herdada do material de origem, mantida no perfil em decorrência da baixa umidade na maior parte do ano (ambiente semi-árido) e do alto pH. A diferença entre os valores de Fe_d da rocha e do *solum* observada pode ser resultante da ação de diversos fatores em conjunto, como: lixiviação, formação de minerais de argila silicatada com o ferro em sua constituição (nontronita) e co-precipitação e, ou, encapsulamento por concreções de carbonato de cálcio, presentes nos perfis (V1 e V2).

Mineralogia das frações silte e argila

A difratometria de raios-X da fração silte de horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos estudados revelou a presença de plagioclásio, feldspato potássico (microclínio) e quartzo (Figura 2). Nos Neossolos Flúvicos e nos Vertissolos (Figura 2), foi observada ainda a presença de picos de mica, clorita e anfibólio (Figura 2). Em todos os solos, estes minerais são as principais fontes de K^+ , Na^+ e Ca^{2+} .

A mineralogia mais diversificada dos Neossolos Flúvicos em relação aos outros solos mostra-se condizente com a classe, cuja gênese contempla a deposição de materiais pelas águas dos rios do Peixe, Piranhas e seus afluentes, que atravessam áreas de rochas que contêm os minerais anteriormente mencionados. Esses resultados são condizentes com aqueles obtidos por outros autores para Neossolos Flúvicos da região do Baixo Açu (RN) e do Vale do Pajeú (PE) (Oliveira, 1988).

A baixa precipitação pluviométrica na área em estudo, aliada à alta evapotranspiração e, no caso dos perfis V1, V2, TC, SN e A1, à deficiência de drenagem (decorrência da textura, posição no relevo e, ou, estratificação horizontalizada do material de origem), resultou na ocorrência de argilominerais 2:1 expansíveis em todos os solos estudados (Figuras 3 e 4). A inferir-se pela expansão e contração do tratamento com $\text{Mg} + \text{glicerol}$ no horizonte V2 C2, presume-se que a vermiculita e a esmectita sejam os componentes mineralógicos mais importantes dos Vertissolos e os responsáveis por características como fendilhamento, quando seco, superfície de compressão, dureza, etc. A diferença de Fe_d em relação ao Fe_o (Fe extraído pelo ataque sulfúrico) sugere argilas ricas em ferro, provavelmente nontronitas.

Além desses minerais expansíveis, foi identificada nos Vertissolos a ocorrência de quartzo, feldspatos, ilita e, possivelmente, algum interestratificado esmectita/caulinita. Este último é inferido em função do pico equivalente à distância de 0,80 nm, próximo da caulinita, que colapsa, ao ser saturado, com potássio (Figura 3). Segundo Johnson et al. (1962), a presença de feldspatos na fração argila é possível em regiões secas, onde há pouca alteração química dos minerais da rocha de origem. Resultados semelhantes foram encontrados por Johnson et al. (1962) e Lyra & Ribeiro (1995) em Vertissolos do Arizona-EUA e da região do baixo-médio São Francisco, respectivamente.

Foi observada, também, nítida tendência de aumento de caulinita e diminuição de esmectita na direção dos horizontes superficiais dos perfis TC e SN (Figura 4). Conforme Luz et al. (1992), essa tendência pode ser tanto resultante da intemperização das esmectitas, formando caulinitas, quanto da remoção preferencial da esmectita em relação à caulinita.

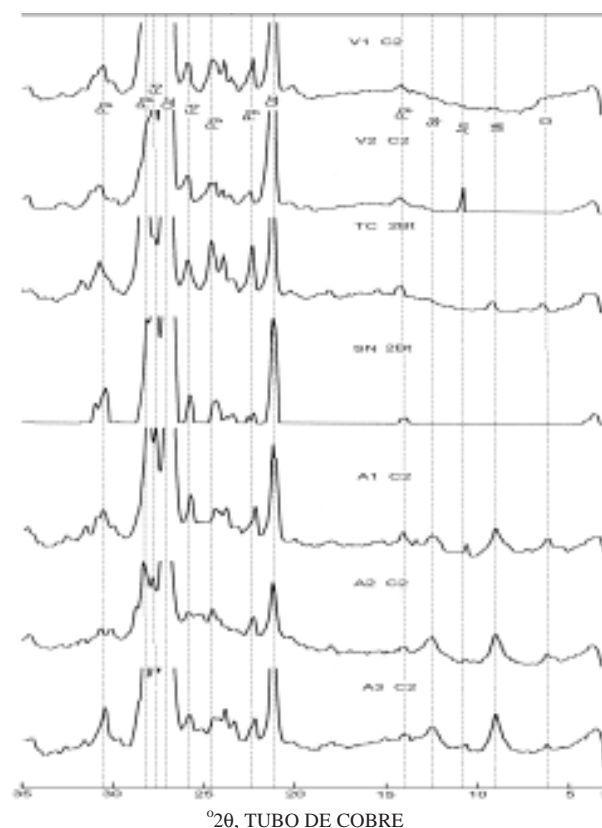


Figura 2. Difrátogramas de raios-X da fração silte do horizonte subsuperficial (Bt para Luvisol e Planossolo Nátrico e C_2 para Vertissolos e Neossolo Flúvico) dos solos estudados (lâminas não orientadas). Qz-quartzo; Pg-plagioclásio; Fd-feldspato; Mi-mica; An-anfibólio; Cl-clorita; Sp-serpentina.

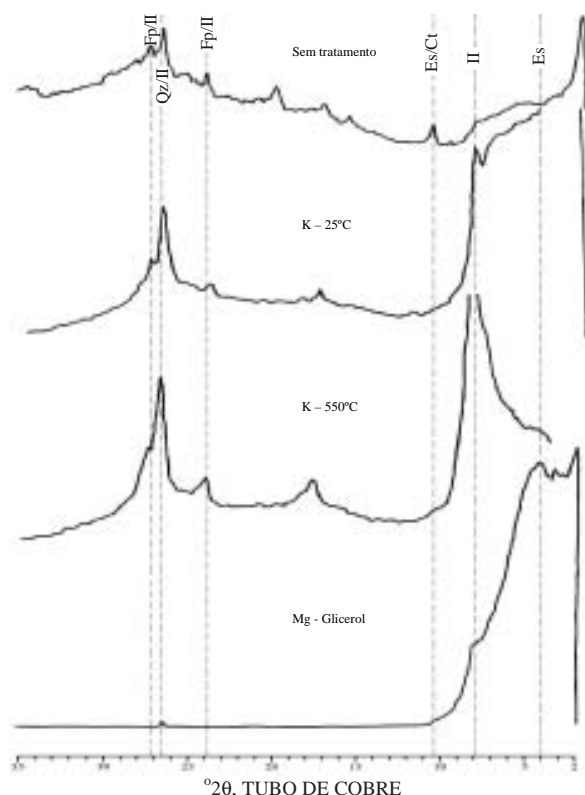


Figura 3. Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte subsuperficial (C_2) do Vertissolo (V2), sem tratamento e tratada com magnésio + etilenoglicol (Mg-G) e potássio a 25 e 550 °C (K 25C e K 550C) (lâminas orientadas). Es -esmetita; Vm/Es-vermiculita/esmetita; Es/Ct - esmetita/caulinita; Il-ilita.

Para os Neossolos Flúvicos, os argilominerais caulinita e ilita apresentaram-se como predominantes (Figura 4). Pequenos picos de esmetitas/vermiculitas são também identificados nesses perfis, representando sua existência em menor quantidade. Exceção é feita para o perfil A1, que, em razão de sua drenagem mais deficiente, apresenta os picos dos minerais expansíveis mais destacados, o que sugere maior quantidade destes.

No que se refere aos óxidos de ferro, os difratogramas de argilas tratadas com NaOH 5 mol L⁻¹ revelaram a presença da hematita tanto nos horizontes superficiais quanto nos subsuperficiais dos perfis V1, V2 e TC (Figura 5). A goethita, a inferir-se pela expressão de pico nos difratogramas, é menos expressiva. Esse predomínio, juntamente com uma possível forte interação entre matéria orgânica e argilas 2:1, é, provavelmente, o principal motivo da cor de tonalidade avermelhada ("achocolatada") nos Vertissolos, coloração esta destacada por Paraíba (1998) e Brasil (1972). Vale salientar que, além dos picos da hematita e da

goethita, são característicos os picos de 0,45 e 0,26 nm da ilita, mineral resistente ao ataque com NaOH 5 mol L⁻¹.

Fracionamento de substâncias húmicas

O somatório das frações húmicas correspondeu, em média, a 99 % (sem pré-tratamento com HCl 0,1 mol L⁻¹ - T1) e 148 % (com pré-tratamento - T2) do carbono orgânico total, com melhor correlação ($r = 0,85^{**}$) para o fracionamento que incluiu o pré-tratamento de HCl 0,1 mol L⁻¹ (Quadro 5). A faixa de recuperação foi bastante ampla para o T1, com valores variando de 48 a 327 %, bem maior que os encontrados por Benites (1998), Nunes (1999) e Oliveira (1999). Em razão do grande predomínio de argilominerais 2:1 nos solos estudados, essa diferença pode estar relacionada com uma possível associação da fração húmica (HM) com a matriz

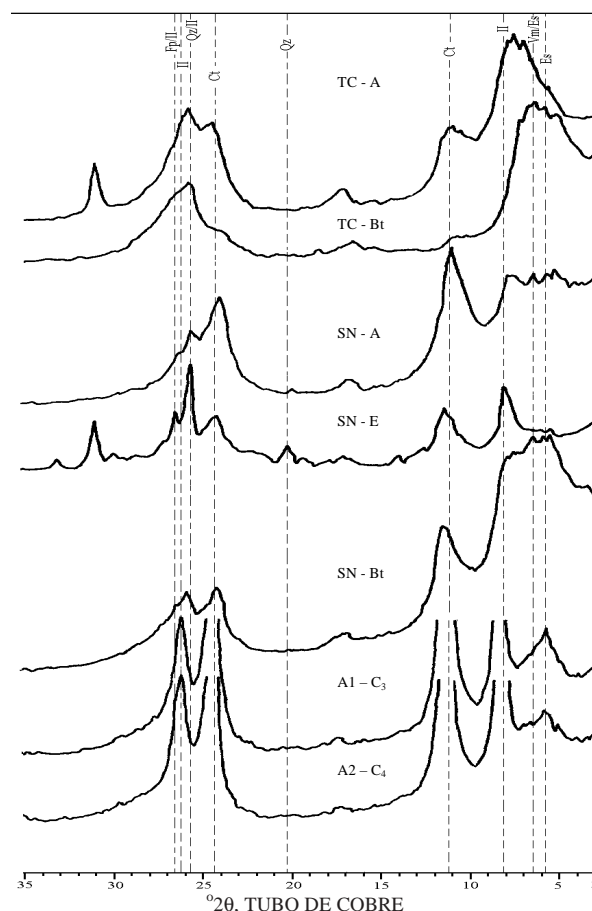


Figura 4. Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada em lâminas orientadas dos horizontes do Luvisolo e Planossolo Nátrico, das camadas subsuperficiais (C_3 para A1 e C_4 para A2 e A3) dos Neossolos Flúvicos. Es-esmetita; Vm/Es-vermiculita/esmetita; Il-ilita; Ct-caulinita; Fd-feldspato, Qz-quartzo.

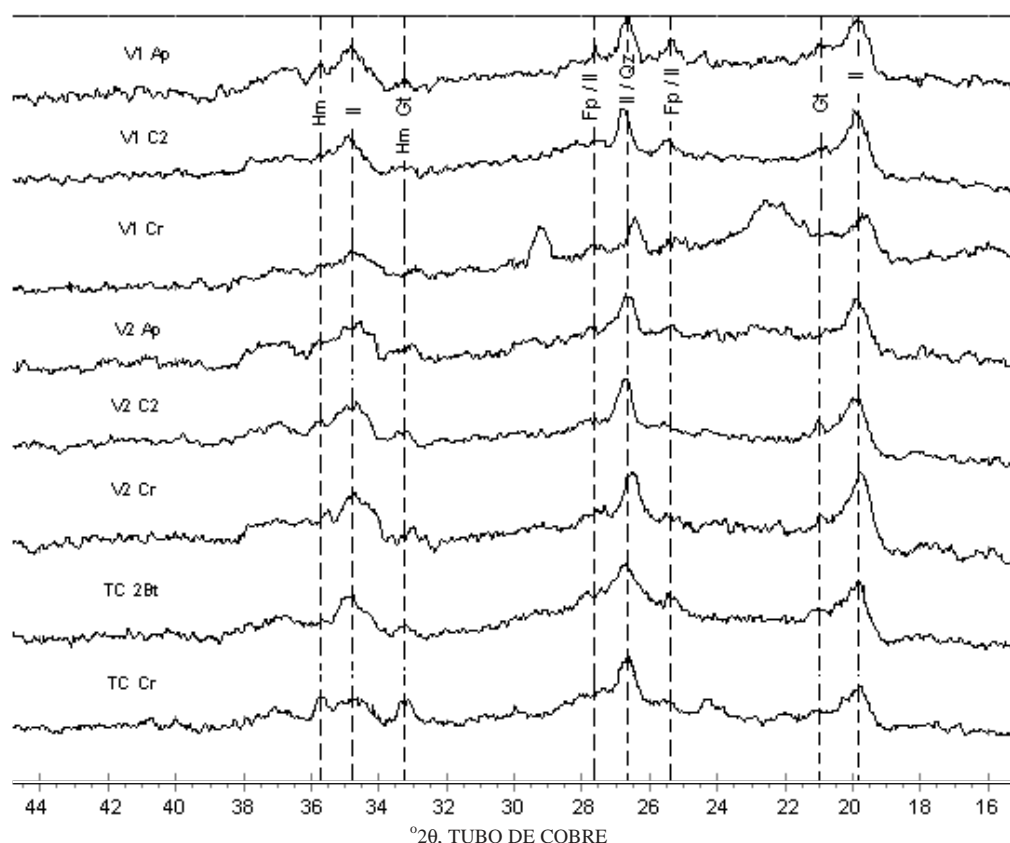


Figura 5. Difratomogramas de raios-X da fração argila tratada com NaOH 5 mol L⁻¹ dos perfis V1, V2 e TC (lâminas não orientadas). Il-ilita; Qz-quartzo; Fd-feldspato; Pg-plagioclásio; Hm-hematita.

mineral. Outra possibilidade é que, como os valores de COT são muito baixos, pequenas variações entre este e o somatório das frações humificadas resultaram em grandes valores percentuais dessa diferença. Para T2, essa amplitude também foi verificada. Em ambos os casos, essa amplitude pode estar ligada à dificuldade de oxidação da matéria orgânica na determinação do COT, visto que não foi realizado o pré-tratamento para sua determinação.

O pré-tratamento resultou em aumento médio de 300 e 340 % para as frações ácidos húmicos (FAH) e frações ácidos fúlvicos (FAF), respectivamente, e em redução de 60 % nas frações huminas, caracterizando aumento significativo no teor de carbono orgânico recuperado em alguns solos (Quadro 5). Neste caso, os elevados valores de Ca e Mg (Quadro 3) parecem ser os responsáveis pela alta estabilidade das frações FAF e FAH, na forma de fulvatos e humatos de cálcio e magnésio (Brydon & Sowden, 1959; Volkoff & Cerri, 1980). Esse fato fica mais evidente ao analisar os dados dos solos com características vérticas (V1, V2, TC e A1) e com maiores teores desses íons, que apresentaram, sem a lavagem com HCl 0,1 mol L⁻¹, valores iguais a zero para FAH e que, com a realização do pré-tratamento,

esses valores passaram a atingir 62 % do carbono recuperado.

Com a finalidade de verificar qual dos cátions (Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺) seria o principal responsável por essa estabilidade, foram analisadas as correlações entre as relações FAFT1/FAFT2 e FAHT1/FAHT2 e esses cátions (Quadro 5). Para a relação FAFT1/FAFT2, não foi verificada correlação significativa. Entretanto, observou-se correlação do Mg ($r = -0,56^{**}$) e do Ca ($r = -0,47^{**}$) com FAHT1/FAHT2, refletindo maior importância na estabilidade da matéria orgânica na forma de humatos de cálcio e magnésio. Essa relação não se correlacionou com o sódio, o que evidencia a fraca interação desse cátion (ligação apenas eletrostática) com a fração FAH.

Tomando como referência o fracionamento que contempla o pré-tratamento, a fração húmica predominou em todos os solos estudados. A fração FAF apresentou-se maior que a FAH, com exceção dos perfis A2 e A3, com valores da relação FAH/FAF, decrescendo para os perfis V1, V2, TC, SN, A1 e A3. Esses resultados refletem maior mobilização da FAF, com conseqüente acumulação do FAH nos horizontes superficiais, mesmo em solos com drenagem deficiente (V1, V2, TC, SN e A1).

Quadro 5. Teores de carbono das frações da matéria orgânica de alguns horizontes dos solos estudados sem e com pré-tratamento com HCl 0,1 mol L⁻¹

| Solo | Horizonte | Sem pré-tratamento | | | | | Com pré-tratamento | | | | |
|----------------|------------------|------------------------------|-----------------|---------|------|--------------------|------------------------------|-----------------|---------|------|--------------------|
| | | Carbono orgânico nas frações | | | | Carbono recuperado | Carbono orgânico nas frações | | | | Carbono recuperado |
| | | Ácidos húmicos | Ácidos fúlvicos | Huminas | Σ | | Ácidos húmicos | Ácidos fúlvicos | Huminas | Σ | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | g kg ⁻¹ | | | | % | g kg ⁻¹ | | | | % |
| V ₁ | A | 0,00 | 0,42 | 4,85 | 5,27 | 129 | 0,38 | 1,44 | 4,00 | 5,83 | 142 |
| | C _{v2} | 0,00 | 0,25 | 3,65 | 3,89 | 158 | 0,26 | 1,58 | 3,40 | 5,24 | 213 |
| V ₂ | A _p | 0,00 | 0,31 | 5,07 | 5,37 | 86 | 0,33 | 1,43 | 4,63 | 6,39 | 103 |
| | C _{v2} | 0,00 | 0,24 | 4,52 | 4,76 | 85 | 0,28 | 1,35 | 3,89 | 5,51 | 99 |
| TC | A | 0,77 | 1,51 | 2,97 | 5,24 | 48 | 1,46 | 2,27 | 2,59 | 6,32 | 58 |
| | 2Bt | 0,04 | 0,26 | 3,72 | 4,01 | 82 | 0,35 | 1,43 | 2,37 | 4,15 | 84 |
| SN | A ₁ | 0,46 | 0,60 | 1,18 | 2,24 | 114 | 1,17 | 1,75 | 1,03 | 3,95 | 201 |
| | 2Bt ₁ | 0,27 | 0,15 | 0,48 | 0,90 | 91 | 0,60 | 1,26 | 0,45 | 2,31 | 235 |
| A ₁ | A _p | 0,07 | 0,56 | 5,18 | 5,80 | 111 | 0,91 | 1,49 | 2,99 | 5,39 | 103 |
| | AC | 0,00 | 0,10 | 2,68 | 2,79 | 77 | 0,48 | 1,47 | 2,18 | 4,12 | 114 |
| | C _{v1} | 0,00 | 0,08 | 2,36 | 2,43 | 248 | 0,62 | 1,33 | 2,05 | 4,00 | 407 |
| | 2C _{v2} | 0,00 | 0,07 | 3,15 | 3,22 | 327 | 0,44 | 1,22 | 2,51 | 4,17 | 424 |
| | 3C _{v3} | 0,03 | 0,20 | 4,38 | 4,62 | 83 | 0,42 | 1,19 | 3,11 | 4,72 | 85 |
| A ₂ | A | 0,58 | 0,77 | 5,05 | 6,41 | 65 | 1,69 | 1,77 | 4,42 | 7,88 | 80 |
| | C ₁ | 0,11 | 0,39 | 4,16 | 4,66 | 59 | 1,67 | 1,29 | 3,60 | 6,56 | 83 |
| | C ₂ | 0,21 | 0,34 | 5,39 | 5,94 | 62 | 2,48 | 1,35 | 4,66 | 8,48 | 89 |
| | C ₃ | 0,18 | 0,24 | 3,15 | 3,57 | 64 | 1,32 | 1,44 | 2,20 | 4,97 | 89 |
| | C ₄ | 0,12 | 0,21 | 1,62 | 1,94 | 66 | 0,86 | 1,22 | 1,33 | 3,41 | 115 |
| A ₃ | A | 0,56 | 0,27 | 2,69 | 3,52 | 57 | 1,86 | 1,50 | 1,45 | 4,81 | 77 |
| | C ₁ | 0,16 | 0,13 | 1,60 | 1,89 | 48 | 1,35 | 1,33 | 0,85 | 3,53 | 90 |
| | C ₂ | 0,12 | 0,29 | 1,19 | 1,60 | 54 | 0,88 | 1,31 | 0,80 | 2,99 | 101 |
| | C ₃ | 0,06 | 0,10 | 0,88 | 1,04 | 106 | 0,59 | 1,33 | 0,62 | 2,53 | 257 |
| | C ₄ | 0,02 | 0,11 | 0,79 | 0,92 | 56 | 0,33 | 1,27 | 0,85 | 2,45 | 150 |

⁽¹⁾ Somatório das frações ác. fúlvico, ác. húmico e humina. V = Vertissolo; TC = Luvisolo; SN = Planossolo Nátrico; A = Neossolo Flúvico.

CONCLUSÕES

1. Além do sódio, que promoveu elevada percentagem de argila dispersa em água, o magnésio aparece como cátion de grande importância nesse fenómeno, principalmente nos Vertissolos. Nestes solos, mesmo sendo o teor de sódio bem menor que o de cálcio, a argila dispersa mostrou-se bastante elevada, condizente com os altos valores de magnésio.

2. O teor de óxido de ferro mostrou-se baixo em todos os perfis, com provável predomínio das formas menos cristalinas.

3. A mineralogia cálcio-sódica da fração silte pode ser a principal responsável pelos altos teores de cálcio, magnésio e sódio dos solos estudados.

4. O pré-tratamento para eliminação de carbonatos durante o fracionamento da matéria orgânica revelou a presença de humatos e fulvatos de cálcio e magnésio na estabilização da matéria orgânica.

LITERATURA CITADA

- ACQUAYE, D.K.; DOWUONA, G.N.; MERMUT, .A.R. & ARNAUD, R.J. St. Micromorphology and mineralogy of cracking soils from the Accra Plains of Ghana. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:193-201, 1992.
- BAVER, L.D. & GARDNER, W.H. Física de suelos. México, Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1972. 529p.
- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. 123p. (Tese de Mestrado)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico, 15. SUDENE-DRN. Série Pedológica, 8)

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNPH. Projeto RADAMBRASIL: folha SB.24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 740p. (Levantamento dos recursos naturais, 23)
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Geologia do Brasil. Brasília, DF, 1984. 501p.
- BRYDON, J.E. & SOWDEN, J.E. A study of clay-humus complexes of a Chernozemic and Podzol soil. *Can. J. Soil Sci.*, 39:136-143, 1959.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 211p.
- HAYES, M.H.B.; MacCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. & SWIFT, R.S. The search for struture: setting the scene. In: HAYES, M.H.B, ed. Humic substances II. In search of struture. Chichester, John, Wiley & Sons, 1989. p.2-33.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis; advance course. 2.ed. Madison, University of Wisconsin, 1974. 835p.
- JOHNSON, W.M.; CADY, J.G. & JAMES, M.S. Characteristics and same Brown Grumusols of Arizona. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27:389-393, 1962.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos cauliniticos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:27-31, 1982.
- KEMPER, W.D.; STENART, B.A. & PORTER, L.K. Effects of compaction on soil nutrient status. In: BARNES, K.K., ed. Compaction of agricultural soils. Michigan, ASEA, 1971. p.178-189.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. 45p.
- LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C. & MERMUT, A.R. Pedogênese em uma topossequência do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:95-102, 1992.
- LYRA, M.C.C.P. & RIBEIRO, M.R. Caracterização de Vertissolos em projetos de irrigação na Região do Baixo-Médio São Francisco: I. Mineralogia e micromorfologia. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:367-373, 1995.
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate - extractable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1965.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:931-935, 1978.
- NUNES, W.A.G.A. Caracterização física, química, mineralógica, micromorfológica e espectral de alguns solos da zona da mata mineira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 135p. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, C.V. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos, gênese e uso de solos do projeto Jaíba, Norte de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 161p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, M. Os solos e o ambiente agrícola no sistema Piranhas-Açu, RN. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 312p. (Tese de Doutorado)
- OSTER, J.D. & SHAINBERG, I. Exchangeable cation hydrolysis and soil weathering as affected by exchangeable sodium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:70-75. 1979.
- PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH. Projeto de irrigação das várzeas de Sousa – Síntese. Governo da Paraíba, 1998. não paginado
- PHARANDE, A.L. & SONAR, K.R. Clay mineralogy of same soil series of Maharashtra. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 45:373-377, 1997.
- RICHARDS, L.A., ed. Diagnosis and improvement of saline and alkalni soils. Washington, D.C, U.S. Government, 1954. 172p. (U.S. Derpatment of Agriculture Handbook, 60)
- ROADES, J.D. Mineral-weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:648-652, 1968.
- ROADES, J.D.; KRUEGER, D.B. & REED, M.J. The effect of soil-mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:643-647, 1968.
- SCHAEFER, C.E.G.R. Soils and Paleosols from northeastern Roraima, Amazonia: geomorphology, genesis and lanscape evolution. Reading, University of Reading, 1994. 353p. (Tese de Doutorado)
- SCHAEFER, C.E.G.R. & DALRYMPLE, J. Pedogenesis and relic properties of soils with columnar struture from Roraima, north Amazônia. *Geoderma*, 71:1-17, 1996.
- SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxidos. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soils and clay mineral. Dordrecht, Reidel, 1988. p.203-250.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D.; SUAREZ, D.L. & PRATHER, R.J. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. *Soil Sci. Am. J.*, 45:287-291, 1981.
- SOKOLOV, S.I. Magnesium alkalinity of soils. In: IVANOVA, E.N. & NOGINA, N.A., eds. Investigations in the field of soil genesis. New Dalhi, National Scientific Documentation Centre, 1963. p.308-331.
- SOUSA, A.R. Plagiclásios calco-sódicos de solos do nordeste: determinação por difração de raios-X e implicações na sodificação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, 1995. v.1. p.271-273.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. Levantamento de Reconhecimento de Solos para fins de Irrigação na Região das "Várzeas de Sousa", no Estado da Paraíba. São Paulo, HIDROSERVICE, 1968. 91p. (Relatório HE48-R15-668)
- SUMNER, M.E. Sodic soils: new perspectives. In: NAIDE, R.; SUMNER, M.E. & RENGASEMY, P., eds. Astralian sodic soils: distribution, properties and management. East Melbourne, CSIRO, 1995. p.1-34.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D., ed. Methods of soil analysis. Parte 3. Chemical methods. Madison, Soil Science Society American, 1996. p.1018-1020. (Soil Sci. Soc. Am. Séries, 5)

- SZABOLCS, I. Global overview of sustainable management of salt affected soils. INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTEGRATED SOIL MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE USE OF SALT AFFECTED SOILS. Filipinas, 1995. Procceding... Filipinas, Bureau of Soil and Water Management, 1995. p.19-38.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Comparação de húmus de um Solontchak, um Rendizina e um Litólico da região semi-árida do Rio Grande do Norte. R. Bras. Ci. Solo, 4:49-56, 1980.
- WHITTIG, L.D & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KUTER, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.331-362. (Agronomy Series, 9)
- YOEMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.