



ELEN ALVARENGA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE SOLOS EM
ÁREAS DE DEPRESSÃO DE TOPO DE
TABULEIROS COSTEIROS DO NORDESTE
BRASILEIRO**

**LAVRAS – MG
2012**

ELEN ALVARENGA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE SOLOS EM ÁREAS DE
DEPRESSÃO DE TOPO DE TABULEIROS COSTEIROS DO
NORDESTE BRASILEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador
Dr. Nilton Curi

**LAVRAS – MG
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Silva, Elen Alvarenga.

Caracterização e gênese de solos em áreas de depressão de topo
de tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro / Elen Alvarenga Silva.

– Lavras : UFLA, 2012.

99 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Nilton Curi.

Bibliografia.

1. Solos arenoquartzosos. 2. Hidromorfismo. 3. Podzolização. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.47813

ELEN ALVARENGA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE SOLOS EM ÁREAS DE
DEPRESSÃO DE TOPO DE TABULEIROS COSTEIROS DO
NORDESTE BRASILEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 13 de fevereiro de 2012.

Dr. Carlos Alberto Silva	UFLA
Dr. José Maria de Lima	UFLA
Dr. Mário César Guerreiro	UFLA
Dr. João Bosco Vasconcellos Gomes	EMBRAPA FLORESTAS

Dr. Nilton Curi
Orientador

**LAVRAS – MG
2012**

*À DEUS. Ao meu esposo, **Elias Jr.**, pela compreensão, amor e apoio incondicional. Aos meus pais, **Nelson e Maria**, por todo amor e carinho em todos os momentos e aos meus queridos irmãos, **Tamar e Heider**.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor e consumidor da minha fé, meu Senhor, guia e protetor.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao professor Nilton Curi, pela orientação, credibilidade, paciência e principalmente pelos valiosos conselhos e experiências compartilhadas.

Ao pesquisador João Bosco Vasconcellos Gomes, pela co-orientação e por conceder a oportunidade de trabalharmos em parceria.

Aos professores, Carlos Alberto Silva, José Maria de Lima e Mário César Guerreiro, pelas valiosas sugestões.

Aos professores da ESALQ-USP, Pablo Vidal Torrado e Miguel Cooper, pelo apoio na preparação e interpretação das lâminas de micromorfologia do solo.

Ao João Gualberto e Carlinhos, pela ajuda nos trabalhos de laboratório e pela amizade.

A todos os colegas de pós-graduação, pela amizade, consideração e também pelos momentos de descontração.

Aos amigos Geila, Michele, Walbert, Ênio e Sérgio Henrique, pela amizade e companheirismo, e à Samara pela ajuda e dedicação no laboratório.

À minha família, meu porto seguro e ao meu esposo, por acreditar nos meus sonhos e fazer parte das minhas conquistas.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

No Brasil ainda são pouco estudados os solos associados às depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros. Estes solos são diferenciados sob vários aspectos, comumente à medida que se aproxima dessas depressões, a textura dos solos fica mais arenosa e o hidromorfismo mais acentuado, sendo comum a ocorrência de Espodosolos. No Nordeste brasileiro, grandes áreas produtoras de alimentos e madeira estão localizadas nos Tabuleiros Costeiros e, na grande maioria das vezes, os solos dessas depressões são utilizados sem um manejo diferenciado, implicando em queda da produtividade e afastamento da sustentabilidade ambiental. Diante do exposto este trabalho está dividido em dois artigos, sendo que no primeiro foi realizada a caracterização abrangente desses solos associados às depressões suaves de topo dos Tabuleiros Costeiros, com a finalidade de fornecer informações básicas para os mais diversos fins agrícolas e não-agrícolas. As caracterizações morfológicas, físicas e químicas corroboraram o efeito do processo de podzolização na formação destes solos. A mineralogia da fração argila desses solos foi composta basicamente por caulinita e quartzo. Já o estudo micromorfológico do solo, além de confirmar a morfologia de campo, agregou valor ao trabalho em termos da identificação inequívoca do processo de argiluviação (não identificada no campo) em associação ao processo de podzolização. O segundo artigo teve como objetivo auxiliar na compreensão do processo de podzolização presente nestes solos através da determinação das frações húmicas e teores de Fe, Al e Si por diferentes extratores nos diferentes horizontes desses solos e desta forma fornecer informações sobre o processo de podzolização destes Espodosolos associados às depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros formados sobre sedimentos da Formação Barreiras. Os aumentos nos teores de C orgânico e de Fe e Al pelos diferentes extratores nos horizontes iluviais (de acúmulo) de cada solo, relativamente aos horizontes eluviais (de perda), refletem a morfologia de campo e reforçam a importância do processo de podzolização nos solos estudados. Os dados obtidos indicam que a paisagem deve influenciar, mas não é decisiva para a variante do processo de podzolização contemporânea num determinado ambiente.

Palavras-chave: Solos arenoquartzosos. Hidromorfismo. Podzolização.

ABSTRACT

In Brazil there are few studied soils associated with depressions in the top of the Coastal Plains. These soils are different in many ways, commonly as they approach these depressions, the texture of the soil is sandier and the hydromorphism is more pronounced, and the occurrence of Spodosols is common. In northeastern Brazil, great food and wood producing areas are located in the Coastal Plains, and in most cases, the soils of these depressions are used without a differentiated management, resulting in decreasing productivity and distancing of environmental sustainability. In this context, this paper is divided in two articles, in which the first was performed to characterize these soils associated with gentle depressions in the top of the Coastal Plains, in order to provide basic information for various agricultural and non-agricultural uses. The morphological, physical and chemical characterizations corroborated the effect of the process of podzolization in the formation of these soils. The clay mineralogy of these soils was mainly composed by kaolinite and quartz. The soil micromorphological studies, besides confirming the morphology of field work, added value in terms of unequivocally identification of argilluviation process (not identified in the field) in association with the process of podzolization. The second article aimed to assist in understanding the process of podzolization present in these soils through the determination of humic fractions and the concentrations of Fe, Al and Si by different extractants in different horizons of these soils and thus provide information about the process of podzolization of these Spodosols associated with top depressions of the Coastal Plains, formed on sediments of Barreiras Formation. Increases in soil organic C and Fe and Al by different extractants on illuvial (accumulation) horizons in relation to eluvial (loss) horizons of each soil reflect the field morphology and reinforce the importance of the process of podzolization in studied soils. The data obtained indicate that the landscape should influence, but it is not decisive for the variant of contemporary podzolization process in a given environment.

Keys words: Sandquartzous soil. Hydromorphism. Podzolization.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
INTORDUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	15
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	18
ARTIGO 1 Morfologia, física, química, mineralogia e micromorfologia de solos associados às depressões de topo de Tabuleiros Costeiros.....	19
INTORDUÇÃO	22
MATERIAL E MÉTODOS	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48
ARTIGO 2 Dinâmica de Fe, Al, Si e C orgânico e o processo de podzolização em solos de áreas deprimidas de topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro.....	54
INTORDUÇÃO	56
MATERIAL E MÉTODOS	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
CONCLUSÃO	86
LITERATURA CITADA	87
APÊNDICE	91

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

Os Tabuleiros Costeiros são paisagens, que acompanham o litoral brasileiro entre os estados do Rio de Janeiro e Amapá, limitando-se a leste com a baixada litorânea e oeste com as rochas do Embasamento Cristalino. Esses Tabuleiros Costeiros são formados de ou sobre um pacote de sedimentos continentais denominados de Formação Barreiras. A deposição desses sedimentos iniciou no período Terciário, sob clima árido ou semi-árido, e terminou durante o Pleistoceno, quando houve uma mudança do clima para quente e úmido (DUARTE et al., 2000).

Os solos dessa região são principalmente Argissolos e Latossolos Amarelos derivados de sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras, e apresentam características muito particulares tais como o baixo teor de Fe e a presença de horizontes subsuperficiais coesos (CINTRA et al., 2009; CORRÊA et al., 2008a; DUARTE et al., 2000; SANTANA et al., 2006).

A proximidade dos Tabuleiros Costeiros ao litoral impôs a essas terras grande pressão por ocupação. A vegetação nativa foi quase que totalmente dizimada e substituída por cana-de-açúcar, pastagens, reflorestamento com eucalipto e, em menor quantidade, a fruticultura. Os Tabuleiros Costeiros abrigam grande parte da Mata Atlântica ainda existente no país, sendo que nessa paisagem, as áreas remanescentes de floresta nativa representam < 5 % de sua área total.

Nestes Tabuleiros Costeiros, são comuns depressões suaves, principalmente naquelas superfícies pouco entalhadas (topos amplos) (CORRÊA et al., 2008a). O raio de influência destas depressões sobre os solos da paisagem pode estar restrito a poucos metros ou se fazer presente na quase totalidade da superfície (ARAÚJO FILHO, 2003). A essas depressões estão associados solos

diferenciados sob vários aspectos. Na maioria das vezes, à medida que se aproxima dessas depressões, a textura dos solos torna-se mais arenosa e o hidromorfismo mais acentuado (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA/UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, 2004), sendo comum a ocorrência de Espodossolos ou solos intermediários para eles. Estes solos tendem a apresentar processos e feições associados ao excesso de água, com ou sem a proximidade do lençol freático, e horizontes cimentados (CORRÊA et al., 2008b; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1995; MOREAU et al., 2006).

Essas depressões propiciam comportamento de água lateralmente em direção a elas, proporcionando condições redutoras com surgimentos de lençóis freáticos suspensos, fazendo com que a sequência de evolução destes solos seja no sentido fragipã-duripã (FILIZOLA et al., 2001).

Os Espodossolos são solos minerais, hidromórficos ou não, com horizonte B espódico dentro de 400 cm de profundidade, precedido pelo horizonte E álbico ou outros horizontes eluviais e são tipicamente arenosos e ácidos. O horizonte B espódico é formado pela translocação de materiais amorfos ativos, compostos de matéria orgânica e alumínio com ou sem Fe. São solos de drenagem rápida na superfície podendo ser impedida em profundidade quando o horizonte espódico é do tipo cimentado e contínuo, fazendo com que o lençol freático se torne elevado no período chuvoso, impondo ao solo condições hidromórficas (ARAÚJO FILHO, 2003; OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992; RESENDE et al., 2007).

A ocorrência de Espodossolos, ou solos intermediários para eles, por vezes limita a condição de vegetação clímax da floresta, devido a deficiência de fertilidade e oxigênio, e o excesso de água (BONIFACIO et al., 2006). No Nordeste, grandes áreas produtoras de alimentos e madeira estão localizadas nos Tabuleiros Costeiros e, na grande maioria das vezes, os solos dessas depressões

são utilizados sem um manejo diferenciado, implicando em queda da produtividade e falta de sustentabilidade ambiental.

Informações sobre o processo de formação do horizonte B espódico são abundantes na literatura, principalmente para Espodossolos do hemisfério norte, com revisões e artigos que discutem diferentes hipóteses sobre o processo de podzolização (BUURMAN; JONGMANS, 2005; DE CONNINCK, 1980; FARMER, 1982; LUNDSTRÖM et al., 2000b; SAUER et al., 2007). Para ambientes tropicais, as presenças de material de origem quartzoso (poroso e inerte) e de um impedimento subsuperficial (lençol freático e, ou, horizonte cimentado) são as hipóteses mais comuns para a formação desse horizonte.

Nesses solos, a influência das substâncias húmicas, em que os materiais orgânicos da superfície formam complexos com os íons de Al e Fe e são eluviados para os horizontes de subsuperfície (BUOL; HOLE; McCracken, 1980), foi corroborada em condições brasileiras por trabalhos como os de Gomes et al. (1998), em solos sob restingas, e Benites et al. (2001), em solos sob campos de altitude. Mais recentemente, Coelho (2008) encontrou evidências, a partir de análises micromorfológicas de solos sob restinga do estado de São Paulo, para a participação de material orgânico segregado de raízes e precipitado na formação de horizontes espódicos, adaptando para a formação de Espodossolos tropicais a hipótese desenvolvida por Buurman e Jongmans (2005).

Esse material orgânico contém as frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) que são definidas em função da sua solubilidade em meios alcalino e ácido (MOKMA; BUURMAN, 1982; STEVENSON, 1982). A distribuição dessas frações no perfil de solos auxilia na identificação da presença do processo de podzolização. Os AFs são compostos de maior solubilidade, os AHs possuem baixa solubilidade e as HUs consistem em um aglomerado de materiais húmicos e apresentam baixa reatividade (BENITES;

MÁDARI; MACHADO, 2003). Os AFs, juntamente com os ácidos de baixo peso molecular, apresentam elevada capacidade complexante e mobilidade. Os AHs são de menor mobilidade e, quando presentes nos horizontes espódicos, são considerados, em boa parte, como sendo o produto da polimerização de AFs (HEES et al., 2000).

Extratores químicos possuem capacidades diferenciadas de extrair os metais nas suas formas inorgânicas e orgânicas (complexos organo-metálicos) (FARMER et al., 1983). Fe, Al e Si associados à solução do solo corresponderiam à fração desses metais com maior potencial de mobilização junto aos ácidos orgânicos (JANSEN; NIEROP; VERSTRATEN, 2005; LUNDSTRÖM et al., 1993; LUNDSTRÖM et al., 2000a). Considerando que os solos aqui estudados apresentam material de origem extremamente quartzoso e grosseiro, perde em importância a liberação, principalmente de Si, pelo intemperismo de minerais primários, como geralmente enfatizado para Espodossolos de regiões temperadas (HEES et al., 2000).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) faz, basicamente, referências não quantitativas às diferentes extrações de Fe, Al e Si e também aos valores de C orgânico presentes no horizonte espódico. A cor é o atributo que mais distingue as diferentes classes de Espodossolo, principalmente no nível hierárquico de subordem.

Pesquisas que caracterizam os solos e os processos de sua formação nessas depressões são escassas (CORRÊA et al., 2008a). Portanto a execução delas em terras sob usos de importância regional e, quando possível, sob vegetação nativa, pode contribuir para um correto uso e manejo desses solos.

A determinação de Fe, Al e Si por diferentes extratores, da composição química da solução do solo e o fracionamento químico do carbono orgânico do solo, podem auxiliar na construção de modelos de evolução e previsão do comportamento destes solos. Dessa forma, é possível a construção de modelos

preditivos de processos contemporâneos de formação (podzolização, despodzolização, etc.) em função dos diferentes usos e da posição que esses solos ocupam na paisagem (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, 1984).

Neste contexto, este trabalho está dividido em dois artigos, cujos objetivos foram: (a) realizar a caracterização morfológica, física, química, mineralógica e micromorfológica de perfis de solos da Formação Barreiras associados às depressões de topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro, buscando fornecer informações básicas para os diferentes usuários em potencial; e (b) comparar diferentes extrações de Fe, Al, Si e C orgânico, complementadas pelos teores de C orgânico total e da determinação do pH do solo, visando auxiliar a compreensão dos processos de formação destes solos associados às depressões em regiões tropicais.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO FILHO, J. C. **Horizontes cimentados em Argissolos e Espodosolos dos tabuleiros costeiros e em Neossolos Regolíticos e Planossolos da depressão sertaneja no Nordeste do Brasil**. 2003. 223 p. Tese (Doutorado em Pedologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- BENITES, V. M. et al. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 661-674, 2001.
- BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).
- BONIFACIO, E. et al. Spodosol-Histosol evolution in the Krkonose National Park (CZ). **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, p. 237-250, 2006.
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MC CRACKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. 2nd ed. Ames: Iowa States University, 1980. 404 p.
- BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolization and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 71-83, 2005.
- COELHO, M. R. **Caracterização e gênese de espodosolos da Planície Costeira do Estado de São Paulo**. 2008. 270 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CORRÊA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 297-313, 2008a.
- CORRÊA, M. M. et al. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1857-1872, 2008b.
- CINTRA, F. L. D. et al. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos Tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1041-1051, 2009.

DE CONNINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 24, p. 101-128, 1980.

DUARTE, M. N. et al. Mineralogia, química e micromorfologia do solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1237-1250, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLOS, 4., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 1995. 157 p. 1 CD ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARMER, V. C.; RUSSEL, J. D.; SMITH, B. F. L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a Podzol Bs horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 571-576, 1983.

FARMER, V. C. Significance of the presence of allophane and imogolite in Podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: a review. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, p. 571-578, 1982.

FILIZOLA, H. F. et al. Os fragipãs e duripãs das depressões dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste Brasileiro: uma proposta de evolução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 497-963, 2001.

GOMES, J. B. V. et al. Solos de três áreas de restinga: dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1921-1932, 1998.

HEES, P.A.W. et al. Factors influencing aluminium concentrations in soil solution from Podzols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 289-310, 2000.

JANSEN, B.; NIEROP, K. G. J.; VERSTRATEN, J. M. Mechanisms controlling the mobility of dissolved organic matter, aluminium and iron in podzol B horizons. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 537-550, 2005.

LUNDSTRÖM, U. S. et al. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 335-353, 2000a.

LUNDSTRÖM, U. S. The role of organic in the soil solution chemistry of a podzolized soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, p. 121-133, 1993.

LUNDSTRÖM, U. S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D. C. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 91-107, 2000b.

MOKMA, L.; BUURMAN, P. **Podzols and podzolization in temperate regions**. Wageningen: International Soil Museum, 1982. 126 p. (ISM monograph, 1).

MOREAU, A. M. S. S. et al. Caracterização de solos de duas toposequências em Tabuleiros Costeiros no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 1007-1019, 2006.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. rev. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

SANTANA, M. S. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 1-12, 2006.

SAUER, D. et al. Review article podzol: soil of the year 2007. A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p. 581-597, 2007.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition and reactions. New York: J. Wiley, 1982. 443 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS/UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S .A. nos estados do Espírito Santo, Bahia e Minas Gerais, e sua interpretação para o cultivo do eucalipto e para o ambiente em geral**. Aracruz: ARCEL, 2004. 1 CD ROM.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Solos. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros costeiros do baixo rio Doce e da região norte do estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa, 1984. 153 p. (Convênio n. 545-81. Companhia Vale do Rio Doce).

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 MORFOLOGIA, FÍSICA, QUÍMICA, MINERALOGIA E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS ASSOCIADOS ÀS DEPRESSÕES DE TOPO DE TABULEIROS COSTEIROS

Normas da Revista Ciência Agronômica (versão preliminar)

Elen Alvarenga Silva¹, João Bosco Vasconcellos Gomes², José Coelho de Araújo Filho³, Miguel Cooper⁴ e Nilton Curi⁵

¹ Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: elenalvarenga@yahoo.com.br.

² Pesquisador da Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, CEP 83411-000 Colombo (PR). E-mail: jbvogomes@cnpf.embrapa.br.

³ Pesquisador da Embrapa/CNPS, Unidade de Execução de Pesquisa-UEP. R. Antônio Falcão, 402, Boa Viagem, CEP 51020-240 Recife (PE). E-mail: coelho@uep.cnps.embrapa.br.

⁴ Professor do Departamento de Solos e Nutrição de plantas, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av. Pádua Dias 11, Caixa-Postal: 9 CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: mcooper@esalq.usp.br.

⁵ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. E-mail: niltcuri@des.ufla.br.

**Morfologia, física, química, mineralogia e micromorfologia de solos
associados às depressões de topo de Tabuleiros Costeiros**

Morphology, physics, chemistry, mineralogy and micromorphology of
soils associated to summit depressions of Coastal Plains at the Brazilian
Northeastern

Resumo – A carência de caracterizações abrangentes de solos associados às depressões suaves de topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro justifica este trabalho, o qual objetivou fornecer informações básicas para as mais diversas finalidades agrícolas e não-agrícolas. Para tal, foram selecionados solos representativos (Espodosolos ou solos afins) desses ambientes nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. A abordagem utilizada englobou a caracterização de atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos de perfis dos solos, empregando-se metodologia padronizada em trabalhos desta natureza. As

caracterizações morfológicas, físicas e químicas corroboraram o efeito do processo de podzolização na formação destes solos. A mineralogia da fração argila destes solos foi composta basicamente por caulinita e quartzo, o que, ao lado da textura bastante arenosa, ajudou na compreensão dos dados obtidos. O estudo micromorfológico do solo, além de confirmar a morfologia de campo, particularmente no tocante à forte cimentação, agregou valor ao trabalho em termos da identificação inequívoca do processo de argiluviação (não identificada no campo) em associação ao processo de podzolização.

Palavras-chave – Solos arenoquartzosos. Cimentação. Hidromorfismo. Podzolização. Caulinita.

Abstract – The scarcity of comprehensive characterizations of soils associated to summit gentle depressions of the Coastal Plains at the Brazilian Northeastern justifies this work, which had as objective to furnish basic information for the more diverse agricultural and non-agricultural uses. For that, representative soils (Spodosols or similar soils) from these environments were selected at Alagoas, Sergipe and Bahia states. This approach included characterization of morphological, physical, chemical, mineralogical and micromorfolological properties of the

soil profiles, employing standard procedures used in works of this nature. The morphological, physical and chemical characterizations corroborated the effect of the podzolization process during formation of these soils. The mineralogy of the clay fraction of these soils was basically composed by kaolinite and quartz, that associated to the very sandy clay size distribution, helped in the understanding of the obtained data. The soil micromorphological study, besides confirming the field morphology, mainly regarded to the strong cementation, aggregated value to the paper in terms of secure identification of the clay iluviation process (non-identified in the field), in association with the podzolization process.

Keys words – Sandquartzous soils. Cementation. Hydromorphism. Podzolization. Kaolinite.

Introdução

Os Tabuleiros Costeiros são paisagens de origem sedimentar, presentes no litoral brasileiro desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá, limitando-se a leste com a baixada litorânea e a oeste com rochas do embasamento cristalino, ocupando uma área de aproximadamente 20 milhões de hectares (SOUZA, 2010). Essa região é dominada por Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos coesos derivados de

sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras (SANTANA et al., 2006; MELO FILHO et al., 2007; CORRÊA et al., 2008a; CINTRA et al., 2009).

Nesses tabuleiros, existem depressões suaves onde o topo é mais extenso, nas quais ocorrem solos diferenciados sob vários aspectos. Nessas depressões, ocorrem com muita frequência os Espodossolos (classes de solos que têm em comum a presença do horizonte B espódico – veja adiante) ou solos intermediários a eles, que em sua maioria apresentam horizontes cimentados e feições associadas ao excesso de água (MOREAU et al., 2006a; CORRÊA et al., 2008b).

A presença destas depressões faz com que haja uma circulação de água lateralmente em direção a elas, proporcionando condições redutoras com instalação de lençóis freáticos suspensos, fazendo com que a sequência de evolução desses solos seja no sentido fragipã-duripã (FILIZOLA et al., 2001).

Os Espodossolos são solos minerais, hidromórficos ou não, com horizonte B espódico (relativamente rico em matéria orgânica e, ou, óxidos de Fe e de Al, pobre em argila) dentro dos primeiros 400 cm de profundidade, precedido pelo horizonte E álbico ou outros horizontes

eluviais (de perda) e são tipicamente arenosos e ácidos. O horizonte espódico é geralmente formado pela translocação de materiais amorfos ativos, compostos de matéria orgânica e alumínio com ou sem Fe. São solos de drenagem rápida na superfície, podendo ser impedida em profundidade quando o horizonte espódico é do tipo cimentado e contínuo, fazendo com que o lençol freático se torne elevado no período chuvoso, impondo ao solo condições hidromórficas (RESENDE et al., 2007; SAUER et al., 2007).

A proximidade dos Tabuleiros Costeiros ao litoral impôs a essas terras grande pressão por ocupação. A vegetação nativa foi quase que totalmente dizimada e substituída por um grupo de atividades agrícolas como a cana-de-açúcar, pastagens, reflorestamento com eucalipto e, em menor quantidade, a fruticultura. Do ponto de vista do uso do solo, essas depressões, por vezes, são evitadas no planejamento de plantio (CORRÊA et al., 2008b), mas muitas vezes são utilizadas sem um manejo específico (GOMES et al., 2008), implicando em queda da produtividade e afastamento da sustentabilidade ambiental.

Pesquisas que caracterizam abrangentemente os solos dessas depressões são ainda escassas. Assim, o objetivo deste trabalho foi

realizar a caracterização morfológica, física, química, mineralógica e micromorfológica de perfis de solos representativos da Formação Barreiras associados às depressões de topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro, visando fornecer informações básicas abrangentes para os mais diversos fins agrícolas e não-agrícolas.

Material e métodos

Foram descritos e amostrados quatro perfis de solos de áreas de depressões suaves associadas aos topos de Tabuleiros Costeiros nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia (Tabela 1). A localização dos perfis é mostrada na figura 1, sendo que em cada local foi aberta uma trincheira, realizando-se a descrição morfológica segundo Santos et al. (2005) e amostras (sempre que possível compostas) dos horizontes de cada pedon foram coletadas.

Tabela 1- Código, local e situação das áreas estudadas.

Código	Local	Estado	Situação
CF	Coruripe	AL	Depressão em topo plano de Tabuleiro Costeiro sob floresta primária alterada
NC	Neópolis	SE	Depressão em topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de coco
AE	Acajutiba	BA	Depressão em topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de eucalipto
VE	Nova Viçosa	BA	Depressão em topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de eucalipto

O material de origem dos solos estudados engloba sedimentos predominantemente, mas não exclusivamente, arenoquartzosos da Formação Barreiras e a vegetação nativa é representada principalmente pela floresta tropical subperenifólia.

A área de Nova Viçosa, BA, apresenta clima tropical com todos os meses chuvosos (mês mais seco com mais de 60 mm de chuva). As áreas de Coruripe, AL, Neópolis, SE, e Acajutiba, BA, estão sob clima tropical chuvoso com verão seco (SILVA et al., 1993).

Parte das amostras foi seca ao ar e passada em peneira de malha de 2 mm para a obtenção da TFSA. Foram determinados os elementos do complexo sortivo, o fósforo disponível, o C orgânico e o pH em água e em cloreto de potássio, de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997). A partir dos resultados obtidos foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 e a saturação por bases (V) e por alumínio (m).

As análises físicas incluíram granulometria e densidade do solo e foram determinadas de acordo com Embrapa (1997), ressaltando que a densidade do solo não foi determinada em alguns horizontes pela impossibilidade de coleta de amostras indeformadas, em função da falta

de estabilidade das paredes das trincheiras e,ou, presença do lençol freático.

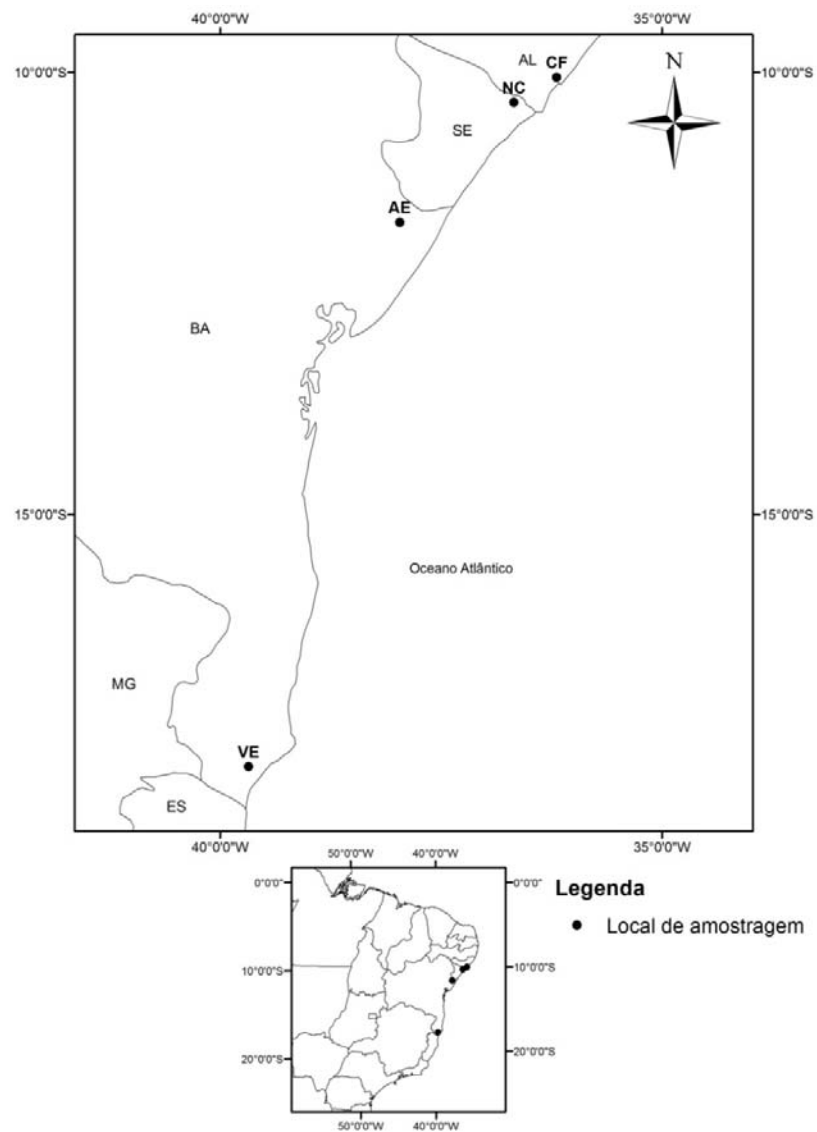


Figura 1 - Localização dos solos estudados. Código dos perfis: CF= Coruripe floresta; NC= Neópolis coco; AE= Acajutiba eucalipto; VE = Nova Viçosa eucalipto.

A caracterização mineralógica dos solos foi realizada na fração argila saturada com Na^+ , por difração de raios-X (35 kV, 25 mA e radiação de CoK_α). Em algumas amostras foi adicionada halita como padrão interno para correção instrumental da posição dos reflexos dos minerais. Também foram preparadas seções finas para a caracterização micromorfológica, a partir de amostras indeformadas. As amostras foram impregnadas com resina de poliéster e posteriormente seccionadas, sendo as lâminas delgadas preparadas de acordo com o procedimento descrito por Castro et al. (2003). As lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico dotado de luz polarizada e descritas conforme Bullock et al. (1985).

Resultados e Discussão

Características Morfológicas

A descrição morfológica dos perfis estudados (Espodossolos ou solos intermediários para eles – Tabela 5) é apresentada resumidamente na tabela 2, e de forma completa no Apêndice.

Tabela 2 - Descrição morfológica dos horizontes genéticos dos perfis de solos estudados.

Horizonte	Profundidade	Cor	Estrutura	Consistência	Cimentação	Transição
	------(cm)-----	-----Úmida-----		---Úmida---		
	--	---				
Perfil CF – Coruripe						
A	0 - 8	10YR 4/2-4/1	1 a 2P a MGr e Gs	MFr	ñc	cp
E	8 - 50	10YR 4/2,5	Gs	MFr	ñc	cp
BE	50 - 63	10YR 3/3,5	1P e MBls e Gs	MFr	ñc	gp
Bh1	63 - 85	10YR 3/2,5	1P e MBls e Gs	MFr	ñc	gp
Bh2	85 - 95	10YR 3/2	1P e MBls e Gs	MFr	ñc	ap
Bm	95 – 140+	10YR 7/3	Ma	EFi	foc	-
Perfil NC – Neópolis						
Ap	0 - 25	10YR 3/2	Gs	MFr	ñc	cp
E	25 - 150	10YR 7/2	Gs	MFr	ñc	cp
Bh	150 – 170+	10YR 2/1	Ma	Fi	ñc	-
Perfil AE – Acajutiba						
Ap	0 - 18	10YR 5/3	Gs	MFr	ñc	pg
EA1	18 - 60	10YR 6/3	Gs	MFr	ñc	pg
EA2	60 - 115 (108-125)	10YR 5/3	Gs	MFr	ñc	og
E	115 (108-125) - 150	2,5Y 6/2	Gs	MFr	ñc	cp
BhE	150 - 180	10YR 4/2	Ma	MFr	ñc	ap
Bm	180 - 200+	10YR 7/2	Ma	EFi	foc	-
Perfil VE – Nova Viçosa						
Ap	0 - 20	10YR 3/2	Gs	MFr	ñc	cp
E	20 - 48	10YR 6/2	Gs	MFr	ñc	cp
Bh	48 – 57 (54-60)	10YR 3/3	Gs e 1P a MBls	MFr	ñc	ao
Bhsx	57(54 – 60) – 87 (80-95)	7,5YR 3/2	Ma	EFi	frc	ao
Bsm	87 (80 -95) - 125	Vr 2,5Y 7/6; 2,5YR 3/4; 5YR 6/8	G a MGL com Ma	EFi	foc	cp
C	125 - 180	10YR 7/6	Ma	MFi	ñc	-

Estrutura: 1 – fraca, 2 – moderada; P – pequena, M – média, G – grande, MG – muito grande, MP – muito pequena; Gr – granular, Bls – blocos subangulares, L – laminar, Gs – grãos simples, Ma – maciça. Consistência: MFr – muito friável, Fr – friável, MFi – muito firme, EFi – extremamente firme. Cimentação: ñc – não cimentado, frc – fracamente cimentado, foc – fortemente cimentado. Transição: p – plana, o – ondulada, a – abrupta, g – gradual, d – difusa, c – clara.

Todos os perfis apresentaram horizontes E álbico (horizonte subsuperficial no qual a intensa remoção de material coloidal faz com que sua cor seja determinada basicamente pela cor das partículas primárias de tamanho areia e silte) e B espódico em diferentes profundidades e espessuras. Os perfis AE, VE e CF apresentaram horizontes cimentados logo abaixo do horizonte espódico. Esses horizontes cimentados apresentaram consistência úmida variando de firme a extremamente firme. A presença desses horizontes cimentados provoca restrição à infiltração de água e penetração de raízes nestes solos e, como consequência, também impede ou dificulta que compostos orgânicos sejam lixiviados para fora do sistema, contribuindo assim para o processo de podzolização (OLIVEIRA et al., 2010). A consistência úmida do horizonte espódico do perfil NC foi classificada como firme, contudo não foi possível a descrição e coleta de amostras de horizontes mais profundos deste solo, pois o lençol freático se encontrava suspenso (coincidente com o horizonte espódico).

Nos horizontes A e E de todos os perfis a estrutura foi classificada como grãos simples. Já nos horizontes subsuperficiais esta variou de blocos subangulares à maciça, sendo esta última de maior ocorrência,

principalmente nos horizontes cimentados. É importante ressaltar que, com exceção do perfil NC, todos os horizontes espódicos apresentaram consistência muito friável quando úmidos.

À exceção do horizonte E do perfil AE e dos horizontes Bhsx e Bsm do perfil VE, a cor dos horizontes ficou dentro do matiz 10YR. De modo geral, todos os perfis apresentaram baixos valores de croma, indicando a presença de hidromorfismo nestes solos (GOMES et al., 1998; LIMA NETO et al., 2009).

Características Físicas

Em todos os perfis e horizontes a fração granulométrica predominante foi a areia (Tabela 3), sendo seus maiores teores nos horizontes superficiais. Os altos teores de areia favorecem a lixiviação de complexos organo-metálicos. Em condições tropicais, a presença de materiais de origem arenoquartzosos e de um impedimento subsuperficial (lençol freático suspenso e, ou, horizonte cimentado) facilita o processo de podzolização. Oliveira et al. (2010) encontraram resultados semelhantes ao deste trabalho para Espodossolos derivados de sedimentos da Formação Barreiras.

Tabela 3 - Características físicas dos horizontes genéticos dos perfis de solo estudados.

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Classe de textura	Ds ¹
	-----g kg ⁻¹ -----				g cm ⁻³
Perfil CF – Coruripe floresta					
A	940	10	50	AREIA	-
E	870	40	90	AREIA FRANCA	1,66
BE	820	40	140	FRANCO ARENOSA	1,48
Bh1	780	60	160	FRANCO ARENOSA	1,39
Bh2	770	50	180	FRANCO ARENOSA	1,42
Bm	830	50	120	AREIA FRANCA	1,84
Perfil NC – Neópolis coco					
Ap	950	50	0	AREIA	1,53
E	910	70	20	AREIA	1,59
Bh	760	160	80	FRANCO ARENOSA	1,80
Perfil AE – Acajutiba eucalipto					
Ap	930	40	30	AREIA	-
EA1	930	20	50	AREIA	-
EA2	890	50	60	AREIA	-
E	890	60	50	AREIA	-
BhE	910	20	70	AREIA	1,84
Bm	590	150	260	FRANCO ARGILO ARENOSA	1,95
Perfil VE – Nova Viçosa eucalipto					
Ap	870	60	70	AREIA FRANCA	1,81
E	920	30	50	AREIA	1,90
Bh	880	30	90	AREIA FRANCA	1,95
Bhsx	820	50	130	FRANCO ARENOSA	1,57
Bsm	800	110	90	AREIA FRANCA	-
C	630	130	240	FRANCO ARGILO ARENOSA	-

¹ Ds= densidade do solos.

Os teores de argila só foram maiores que 100 g kg⁻¹ nos horizontes espódicos e cimentados. De maneira geral, o teor de argila aumentou em profundidade sendo que em alguns horizontes subsuperficiais as classes texturais foram franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, em associação à

identificação de cutãs de iluviação (argilãs-veja adiante). Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Moreau et al. (2006a) e Oliveira et al. (2010) em Espodossolos de áreas de depressão de topo dos Tabuleiros Costeiros.

A densidade do solo nos horizontes estudados foi $\geq 1,39 \text{ g cm}^{-3}$. De maneira geral, a densidade aumentou em profundidade, sendo os maiores valores encontrados nos horizontes cimentados (subscrito m). Esta maior densidade, segundo Moreau et al. (2006a), é devida ao predomínio da fração areia aliado à presença de agentes cimentantes.

Características Químicas

As características químicas dos solos são apresentadas na tabela 4. O pH destes solos é predominantemente ácido, mesmo em áreas onde há o cultivo, concordando com o encontrado em solos afins sob restinga e em depressões de topo de Tabuleiros Costeiros (GOMES et al., 1998; MOREAU et al., 2006a; OLIVEIRA et al., 2010). O pH em KCl (dados não apresentados - menor valor 3,3 e maior 6,0) sempre foi menor que o pH em água (menor valor 4,7 e maior 6,1), indicando um predomínio de cargas superficiais líquidas negativas nestes solos. Essas cargas negativas se devem a matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que os teores de

argila são muito baixos e não foram identificadas argilas mais ativas nos mesmos (Figura 2).

Os teores de Ca, Mg, K e Na foram extremamente baixos nos solos estudados, mesmo nos perfis onde há algum tipo de cultivo, em consonância com seu baixo poder tampão e elevada fragilidade ambiental. Estes solos tiveram conseqüentemente baixos valores de soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) e valores relativamente mais elevados de acidez potencial (H+Al). Na maior parte dos casos, a saturação por alumínio foi maior que 50%, indicando impedimento químico para algumas culturas comerciais mais sensíveis. Tais resultados são semelhantes aos encontrados por outros autores (SILVA; RIBEIRO, 1998; MOREAU et al., 2006a; LIMA NETO et al., 2009; COELHO et al., 2010) . Estes solos associados às depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros são quimicamente pobres, principalmente por se desenvolverem de materiais arenoquartzosos inertes em associação ao elevado potencial de lixiviação de nutrientes destes solos.

Tabela 4 - Características químicas¹ dos horizontes genéticos dos perfis de solo estudados.

Horizonte	$\frac{\text{pH}}{\text{H}_2\text{O}}$	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	H + Al	CTC	V	m	P Mehlich-1	CO
-----cmol _c kg ⁻¹ -----										---%---	mg kg ⁻¹	dag dm ⁻³	
Perfil CF – Coruripe floresta													
A	5,1	0,9	0,6	0,05	0,08	1,63	0,3	3,6	5,1	32	16	1,4	0,9
E	5,3	0,5	0,2	0,03	0,06	0,79	0,4	2,9	3,6	22	34	0,4	0,5
BE	5,4	0,4	0,2	0,04	0,10	0,74	1,1	7	4,2	17	45	0,9	1,3
Bh1	5,5	0,4	0,2	0,03	0,14	0,77	1	7,9	8,5	9	57	0,9	1,9
Bh2	5,3	0,3	0,2	0,03	0,12	0,65	0,7	5,6	6,1	11	52	0,9	1,5
Bm	5,2	0,1	0,1	0,04	0,11	0,35	0,6	3,6	3,8	9	63	0,4	0,5
Perfil NC – Neópolis coco													
Ap	5,9	1,2	0,3	0,01	0,00	1,51	0	1,1	2,6	58	0	8,5	0,8
E	6,1	0,2	0,1	0,01	0,00	0,31	0	0,7	1,0	30	0	1,4	0,1
Bh	5,2	0,7	0,8	0,17	0,00	1,67	1,8	13,7	15,4	11	52	36,6	2,1
Perfil AE – Acajutiba eucalipto													
Ap	5,2	0,3	0,5	0,04	0,05	0,4	0,6	4,0	4,3	9	61	2,3	1,04
EA1	5,6	0,0	0,0	0,02	0,02	0,0	0,3	1,5	1,5	2	89	3,7	0,35
EA2	5,4	0,0	0,0	0,01	0,01	0,0	0,3	2,1	2,1	1	95	1,4	0,52
E	5,6	0,0	0,0	0,01	0,01	0,0	0,0	1,3	1,3	1	0	0,9	0,29
BhE	5,3	0,0	0,0	0,01	0,01	0,0	0,2	2,1	2,1	1	93	1,2	0,52
Bm	5,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,0	0,3	2,6	2,6	1	95	0,9	0,35
Perfil VE – Nova Viçosa eucalipto													
Ap	4,7	0,2	0,1	0,02	0,02	0,3	0,5	2,1	2,4	14	60	1,7	0,70
E	5,0	0,2	0,1	0,02	0,03	0,3	0,3	1,2	1,5	23	46	1,2	0,52
Bh	4,8	0,3	0,1	0,07	0,06	0,5	1,5	8,8	9,3	6	74	1,7	1,16
Bhsx	4,7	0,6	0,1	0,06	0,07	0,8	2,4	12,3	13,1	6	74	1,4	2,55
Bsm	5,1	0,4	0,1	0,02	0,06	0,6	0,5	5,6	6,1	9	46	1,4	1,28
C	4,8	0,2	0,1	0,05	0,08	0,4	1,2	3,2	3,5	12	74	0,4	0,06

¹SB=soma de bases; V=saturação por bases; m=saturação por Al; CO=carbono orgânico.

Os teores de P extraído por Mehlich-1 foram maiores em superfície, o que pode ser explicado pelos teores relativamente mais elevados de MOS, aliados à biociclagem. O valor mais elevado de P ocorreu no horizonte Bh do solo NC, cuja constatação pode estar relacionada com o efeito residual da adubação neste solo. Oliveira et al. (2010) mencionam a possibilidade de translocação destes nutrientes complexados a compostos orgânicos. O acúmulo de P nestes horizontes espódicos torna-se uma consequência plausível, tendo-se em mente que o hidromorfismo e, ou, a cimentação comum(s) nestas profundidades desses solos atuam como barreira(s) ao movimento descendente de P.

O teor de CO (Tabela 4) foi superior nos horizontes superficiais (A), decrescendo em direção ao horizonte E e aumentando novamente nos horizontes espódicos, sendo que os horizontes espódicos apresentaram os maiores teores de CO (excetuando-se apenas o horizonte espódico do perfil AE). Esses maiores valores de CO em profundidade reforçam o processo de podzolização nestes solos.

Características Mineralógicas

Os difratogramas de raios-X (DRXs) da fração argila dos solos são apresentados na figura 2.

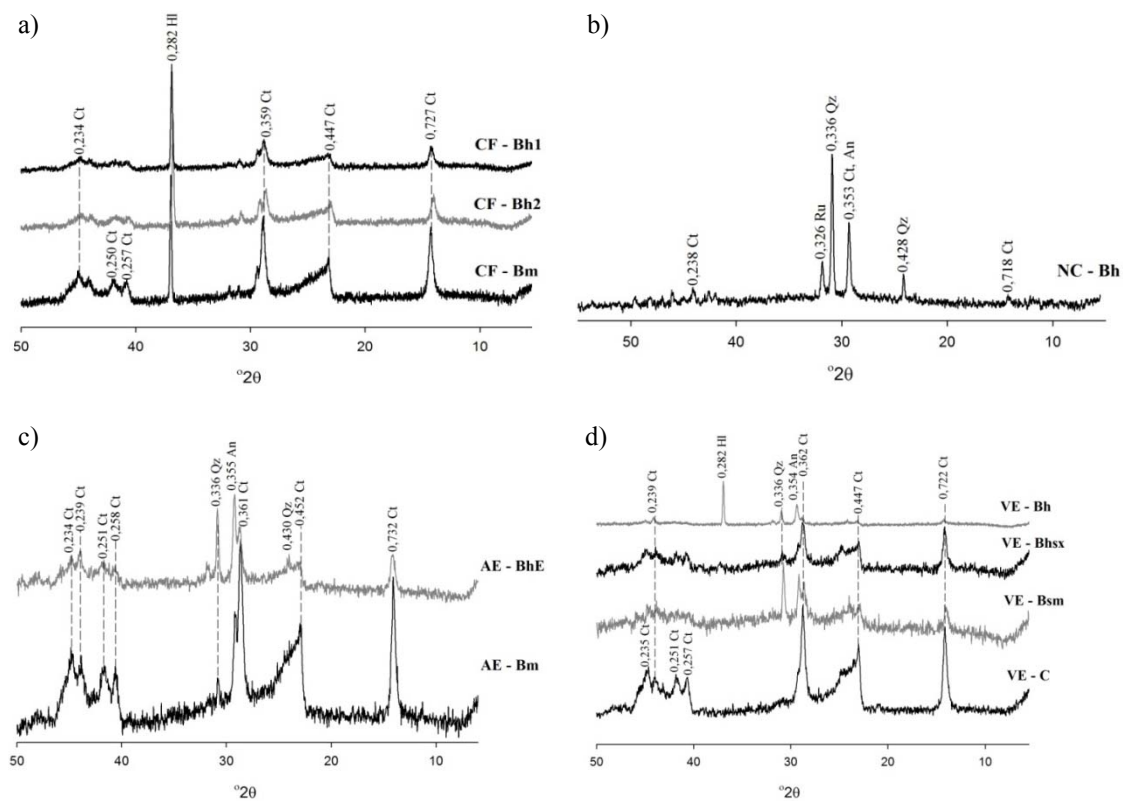


Figura 2 - Difractogramas de raios-X de amostras da fração argila saturadas com Na^+ de horizontes subsuperficiais dos perfis a) CF; b) NC; c) AE; e d) VE. Ct= caulinita; An= anatásio; Qz= quartzo; Ru= rutílio; HI= halita. Números acima dos picos correspondem ao espaçamento d em nm. CoK_{α} .

Nos perfis AE e NC foram identificados caulinita, quartzo, anatásio e rutilo (Figuras 2b e 2c). Já no horizonte espódico do perfil VE (Figura 2d) foram identificados caulinita, quartzo, anatásio e halita (artefato adicionado como padrão interno). Já na figura 2a, relacionada aos horizontes Bh e Bm (cimentado) do perfil CF, a interpretação dos respectivos DRXs indica a ocorrência de caulinita e do artefato halita. Tanto a caulinita quanto o quartzo ocorreram em todos os horizontes, demonstrando a grande uniformidade mineralógica desses solos de depressões dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro. Esses resultados estão em conformidade com aqueles encontrados por outros autores (LIMA et al., 2004; MOREAU et al., 2006b; CORRÊA et al., 2008a,b; GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2010). A literatura internacional registra ao contrário uma grande diversidade mineralógica em Espodosolos do hemisfério Norte (SKIBA; SKIBA, 2005).

A ampla dominância de caulinita na fração argila dos horizontes subsuperficiais destes solos se deve ao fato destes pedoambientes serem bastante ácidos, pobres e arenoquartzosos (Tabelas 3 e 4), onde há liberação lenta de sílica para a solução do solo, inibindo a formação de gibbsita (RESENDE et al., 2007).

Outro mineral comum nos DRXs é o quartzo, o grande diluente dos ambientes de solos brasileiros. No contexto deste estudo, o efeito dos atributos no comportamento desses solos é substancialmente diluído pelos elevados teores de areia e pela nítida presença de quartzo na fração argila dos mesmos.

Características Micromorfológicas

Para avaliar possíveis feições pedológicas diferenciais dos solos das depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros, a análise micromorfológica foi realizada em horizontes espódicos, cimentados e entre alguns dos outros horizontes (Tabela 5 e Figuras 3 e 4). A fração grosseira é constituída praticamente por quartzo arredondado e alguns angulares, mal selecionados. De maneira geral, há predominância de material grosseiro nos horizontes mais superficiais. Por outro lado, nos horizontes cimentados (Bm) há diminuição desses materiais grosseiros e da porosidade em função do aumento do material fino.

Tabela 5 - Principais características micromorfológicas dos horizontes subsuperficiais dos solos estudados.

	Perfil CF – Coruripe floresta		
	BE – Bh1	Bh1 – Bh2	Bm
Fundo matricial	mat. Grosso: 40% mat. Fino: 20% porosidade: 40%	mat. Grosso: 40% mat. Fino: 20% porosidade: 40%	mat. Grosso: 40% mat. Fino: 45% porosidade: 15%
Material grosseiro	Grãos arredondados moderadamente	Grãos arredondados e esféricos. Alguns são	Composto por grãos angulares e

	esféricos e mal selecionado com grãos de diversos tamanhos. Composição predominante de grãos de quartzo.	angulares. Grãos moderadamente selecionados com grãos de diversos tamanhos. Composição predominante de grãos de quartzo com ausência de fragmentos de rochas.	arredondados, moderadamente esféricos a esféricos, lisos, mal selecionado. Composição predominante de grãos de quartzo. Ausência de fragmentos de rochas.
Material fino	Marrom avermelhado com presença de material orgânico.	Organo-mineral conferindo coloração vermelho-amarronzada.	Coloração avermelhada, material argílico com óxidos de ferro.
Poros	Poros de empacotamento e canais.	Poros de empacotamento, canais, câmaras e poros cavitários. Alguns poucos poros apresentam preenchimento solto descontínuo por grãos de quartzo e pouco material fino. Poros com paredes rugosas.	Cavitários, canais e câmaras. Alguns poros (canais) apresentam preenchimento denso e contínuo por material fino.
Microestrutura	Microgranular.	Microagregados intergrãos.	Densa maciça.
Distribuição relativa	Enáulica-quitônica-gefúrica.	Enáulica, quitônica, gefúrica.	Porfírica.
Fábrica birrefrigente	Grano-estriamento forte e contínuo.	Salpicada fraca com alguns grãos apresentando estriamento forte.	Birrefringência forte com estriamento em poros e grãos.
Feições pedológicas	Grãos e poros revestidos por material fino (cutãs).	Grãos revestidos por material fino (cutãs). Poucos poros com preenchimento solto e descontínuo. Presença de alguns nódulos de argila e/ou material orgânico.	Alguns poros estão recobertos por cutãs de material orgânico escurecido. Evidência de argiluviação. Preenchimento denso completo e solto descontínuo dos poros.
Perfil NC – Neópolis coco		Perfil AE – Acajutiba eucalipto	
	Bh		Bm
Fundo matricial	mat. Grosso: 60% mat. Fino: 30% porosidade: 10%		mat. Grosso: 40% mat. Fino: 60% porosidade: 30%
Material	Composto por grãos arredondados		Predominantemente

grosseiro	angulares, mal selecionados. Composto predominantemente por grãos de quartzo. Fragmento de rochas ausentes.	arredondado e alguns angulares; moderadamente selecionados com grãos de esfericidade relativamente semelhante; composição dominada por quartzo.
Material fino	Predominantemente orgânico e escurecido, com alguns grãos com presença de cutãs.	Argila fortemente estriada, com óxidos de ferro (coloração avermelhada).
Poros	Cavitários, policôncavos e fissurais.	Cavitários, câmaras e fissurais. Alguns poros estão preenchidos por grãos de quartzo e íons de Fe e MO. Os poros apresentam em sua maioria paredes lisas e irregulares.
Microestrutura	Agregados intergrãos.	Microagregados intergrãos (no local onde os grãos estão preenchendo um poro maior) e compacta.
Distribuição relativa	Porfírica com microagregados intergrãos.	Porfírica.
Fábrica birrefringente	Não foi observada birrefringência	Estriada fortemente desenvolvida mono- grano- e poroestriada.
Feições pedológicas	Grãos revestidos por cutãs de material orgânico. Alguns poros cavitários apresentam preenchimento solto e descontínuo por grãos de quartzo. Presença de poucos nódulos de material orgânico.	Cutãs de iluviação, cutã de grãos e poros, poros com preenchimento denso e incompleto (com preenchimento de Ferro), preenchimento solto contínuo por grãos de quartzo, preenchimento denso e completo de poros por íons de Ferro e MO.

Perfil NC – Neópolis coco

Horizonte - Bhsx

Fundo matricial	mat. Grosso: 50% mat. Fino: 30% porosidade: 20%
Material grosseiro	Arredondado e alguns angulares, mal selecionado com grãos de esfericidade variável, composição predominantemente dominada por quartzo.
Material fino	Argila fortemente estriada, com óxidos de ferro (coloração avermelhada).
Poros	Cavitários, empilhamento, microfissuras. Cavidades pequenas e policôncavas.
Microestrutura	Granular/microgranular grumosa adensada.
Distribuição relativa	Porfiro-enáulica-quitônica

Fábrica birrefringente	Estriada fortemente desenvolvida com grano- e poroestriada
Feições pedológicas	Grãos e poros revestidos por material fino indicando cutãs de iluviação. Alguns poros apresentaram preenchimento solto e descontínuo tanto por material fino quanto por material grosseiro.

A fábrica birrefringente foi diferenciada nos horizontes cimentados (Bm), demonstrando uma maior organização das argilas, o que segundo Lima Neto et al. (2010), pode ser resultado do processo de iluviação em associação ao processo de podzolização nos perfis de solos.

As figuras 3a e 3b representam a transição dos horizontes BE-Bh1 e Bh1-Bh2 respectivamente do perfil CF. Nas imagens é possível perceber materiais mais escuros recobrimdo os grãos de quartzo (indicados por setas). As figuras 3c, 3d e 3e mostram as imagens do horizonte cimentado (Bm) do mesmo perfil. Na figura 3c é possível visualizar no centro superior da imagem um poro com argila orientada (indicado pela seta) em sua volta, sugerindo a ocorrência do processo de argiluviação. Na figura 3d observa-se uma nítida segregação de Fe no centro da lâmina (seta indicativa), feição vista também em luz polarizada na figura 3e (seta azul). Neste último caso, a porosidade (seta vermelha, poro sem conexão com outros poros) indica um sistema muito fechado em consonância com a cimentação forte constatada na morfologia de campo.

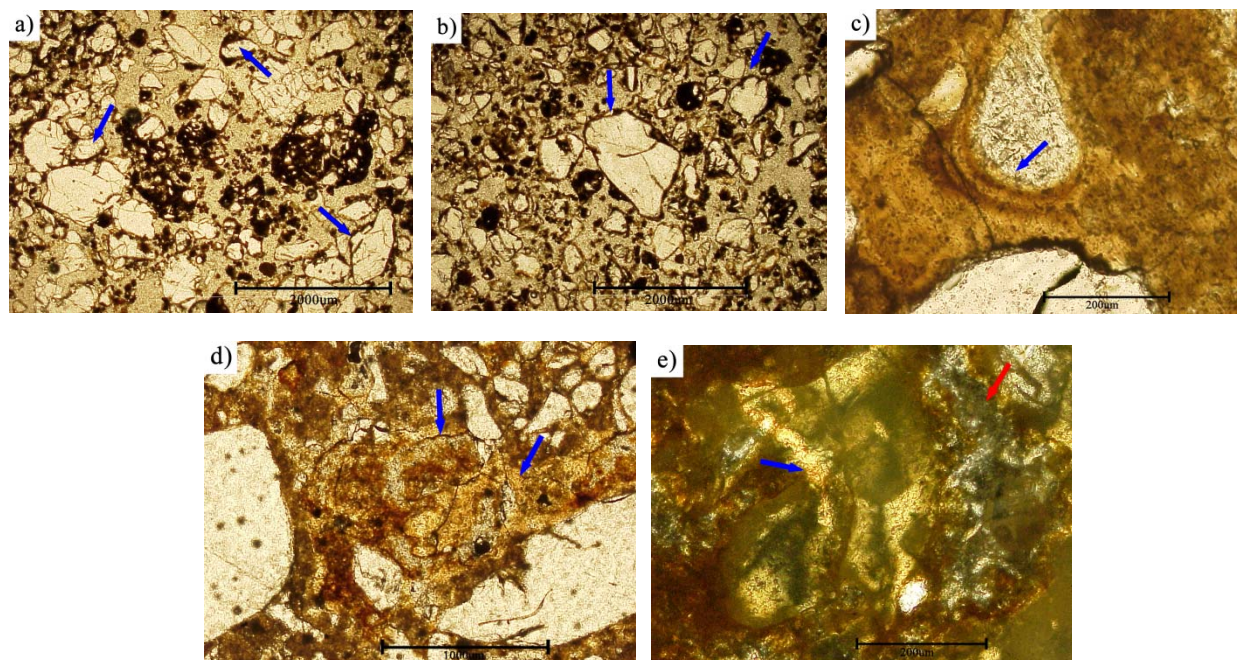


Figura 3 - Micrografias obtidas com microscópio óptico dos perfis e horizontes dos solos: a) CF: BE-Bh1; b) CF: Bh1-Bh2; c, d) CF: Bm; e) CF: Bm, foto com luz polarizada.

Nas figuras 4a, 4b e 4c estão as imagens do horizonte Bh do perfil NC. Na figura 4a é possível ver uma banda horizontalizada de MOS (indicada pela seta) devida à oscilação do lençol freático. A figura 4b mostra os poros todos bem preenchidos com MOS (seta indicativa) (lembrando que é luz normal e não polarizada – nesta última condição os poros do solo ficam pretos). Na figura 4c é possível verificar outra banda de MOS (seta indicativa), neste caso, mais oblíqua, também função da oscilação do lençol freático.

O plasma da figura 4d mostra-se bastante denso e é possível verificar a presença clara da segregação de Fe, principalmente no centro da lâmina (seta indicativa). Já no perfil NE (Figuras 4e e 4f) são evidenciados os revestimentos escuros contínuos (setas indicativas), atribuídos ao processo de podzolização.

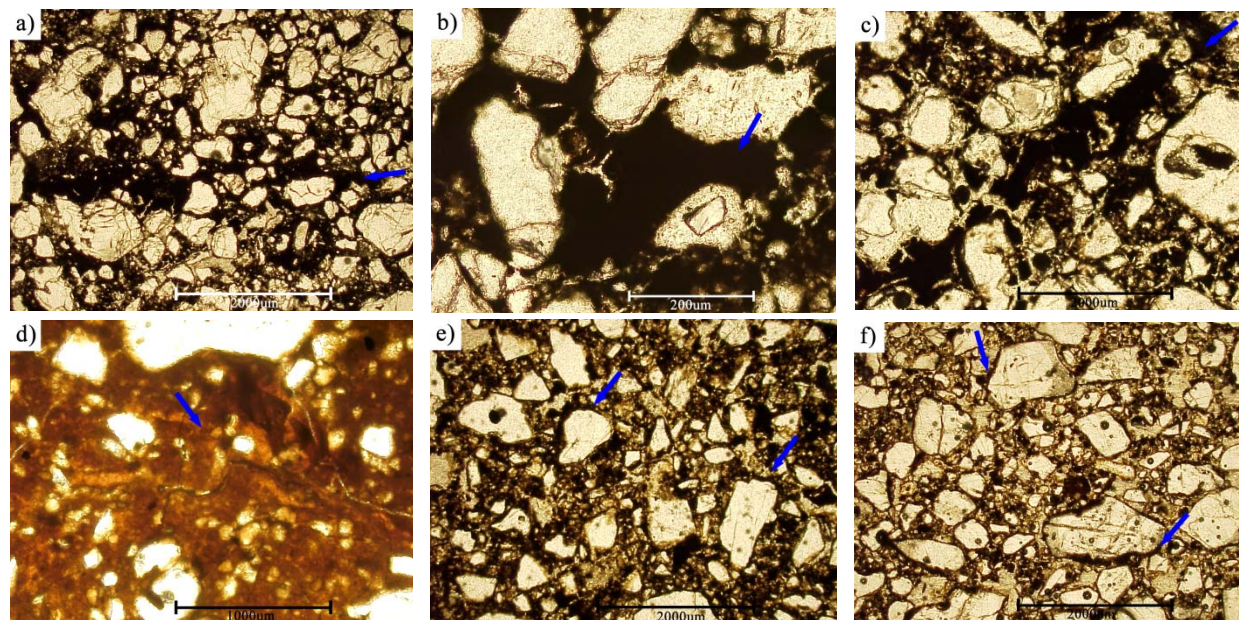


Figura 4 - Micrografias obtidas com microscópio óptico dos perfis e horizontes dos solos: a, b, c) NC: Bh; d) AE: Bm; e, f) NE: Bhsx.

Nessas análises micromorfológicas ficaram evidentes os processos de iluviação de MOS e de argila silicatada nestes perfis. A presença de cutãs de iluviação (argilãs, orgãs e ferrãs) foi uma constante nas lâminas examinadas. A cerosidade não foi identificada na morfologia de campo, porém sua detecção neste trabalho, em associação ao processo de podzolização tem sido comumente registrada na literatura internacional em solos afins (BUURMAN, 1984).

Classificação dos Solos

A classificação dos perfis de solos estudados é apresentada na tabela 6. À exceção do perfil AE, todos os demais perfis foram classificados como Espodossolos. Embora o perfil AE tenha caráter espódico, este não foi suficiente para enquadrá-lo como Espodossolo, porque o horizonte BhE (assim identificado por não apresentar morfologia típica de um horizonte espódico, tendo apresentado valor de cor alto) apresentou o teor de CO baixo, cerca de $0,52 \text{ dag dm}^{-3}$ (Tabela 4), e como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) não define esse parâmetro, optou-se por classificá-lo como Neossolo Quartzarênico intermediário para Espodossolo.

Tabela 6 - Classificação dos perfis de solos estudados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação (EMBRAPA, 2006).

Código	Local	Solo – textura – profundidade do horizonte espódico ou horizonte intermediário para ele
CF	Coruripe, AL	Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico - arenosa/média - 63 cm
NC	Neópolis, SE	Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico - arenosa/média - 150 cm
AE	Acajutiba, BA	Neossolo Quartzarênico Órtico dúrico, espódico - arenosa - 150 cm
VE	Nova Viçosa, BA	Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúrico, fragipânico - arenosa/média – 48 cm

Conclusões

1. As caracterizações morfológicas, físicas e químicas corroboraram o efeito do processo de podzolização na formação destes solos.
2. A mineralogia da fração argila dos solos associados às depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro foi composta basicamente por caulinita e quartzo, o que, ao lado da textura arenosa, ajudou na compreensão dos dados obtidos.
3. O estudo micromorfológico do solo, além de confirmar a morfologia de campo, particularmente no tocante à forte cimentação, agregou valor ao trabalho em termos da identificação inequívoca do processo de argiluviação (não identificada no campo) em associação ao processo de podzolização.

Referências

- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONJERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985. 153 p.
- BUURMAN, P. **Podzols**. The Nostrand Van Nostrand Reinhold: Soil Science Series, 1984. 450p.
- CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C. & VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H.V. **Tópicos em Ciência do Solo**. 3. ed. Viçosa: SBCS, 2003. cap. 03, p.107-164.
- CINTRA, F.L.D.; RESENDE, R.S.; LEAL, M.L.S.; PORTELA, J.C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos Tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 04, p.1041-1051, 2009.
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X.L.O.; MARTINS, V.M.; VÁZQUEZ, F.M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 06, p.1951-1964, 2010.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 01, p. 297-313, 2008a.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Amazônia e Recôncavo baiano **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 05, p. 1857-1872, 2008b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FILIZOLA, H.F.; LAMOTTE, M.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA F.B.R.; LEPRUN, J.C. Os fragipãs e duripãs das depressões dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro:

uma proposta de evolução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 04, p. 497-963, 2001.

GIAROLA, N.F.B.; LIMA, H.V.; ROMERO, R.E.; BRINATTI, A.M. SILVA, A.P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 01, p. 33-40, 2009.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. I. Morfologia, caracterização e classificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, p.1907-1919, 1998.

GOMES, J.B.V.; BOLFE E.L.; CURI, N.; FONTES, H.R.; BARRETO, A.C.; VIANA, R.D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 06, p. 2471-2482, 2008.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 03, p. 467-476, 2004.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA-JUNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 04, p. 1001-1011, 2009.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, M.M.; SOUZA-JUNIOR, V.S.; ARAUJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 02, p. 473-486, 2010.

MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V.; SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob Floresta Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 06, p. 1599-1608, 2007.

MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M.; GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 06, p. 1007-1019, 2006a.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 06, p. 1021-1030, 2006b.

OLIVEIRA, A.P.; KER, J.C.; SILVA, I.R.; FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, A.P.; NEVES, A.T.G. Spodosols pedogenesis under Barreiras Formation and Sandbank environments in the south of Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 03, p. 847-860, 2010.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322p.

SANTANA, M.S.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 01, p. 1-12, 2006.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100p.

SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article podzol: soil of the year 2007. A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science.**, v. 170, n. 05, p. 581-597, 2007.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 02, p. 291-299, 1998.

SILVA, F.B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEU, J.P.; SOUZA NETO, N.C.; BRITO, L.T.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; SILVA, A.B.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LEITE, A.P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Ed. 1. Petrolina: Embrapa-CPATSA e Embrapa-CNPS, 1993. 387p.

SKIBA, M.; SKIBA, S. Chemical and mineralogical index of podzolisation of the Granite Regolith Soils. **Polish Journal of Soil Science**, v. 38, n. 02, p. 153-161, 2005.

SOUZA, L.S. Uso dos Tabuleiros Costeiros. In: Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, 1., 2010, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS. 1 CD.

ARTIGO 2 Dinâmica de Fe, Al, Si e C orgânico e o processo de podzolização em solos de áreas deprimidas de topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro.

Normas da Revista Brasileira Ciência do Solos (versão preliminar)

Elen Alvarenga Silva¹, João Bosco Vasconcellos Gomes², José Coelho de Araújo Filho³, Carlos Alberto Silva⁴, Samara Andrade de Carvalho⁵ & Nilton Curi⁴

¹ Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: elenalvarenga@yahoo.com.br.

² Pesquisador da Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, CEP 83411-000 Colombo (PR). E-mail: jbv Gomes@cnpf.embrapa.br.

³ Pesquisador da Embrapa/CNPS, Unidade de Execução de Pesquisa-UEP. R. Antônio Falcão, 402, Boa Viagem, CEP 51020-240 Recife (PE). E-mail: coelho@uep.cnps.embrapa.br.

⁴ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. E-mails: csilva@dcs.ufla.br; niltecuri@dcs.ufla.br.

⁵ Mestranda em Ciência do solo, Departamento de Ciência do solo, UFLA. E-mails: samaraandrade@yahoo.com.br.

**DINÂMICA DE Fe, Al, Si E C ORGÂNICO E O PROCESSO DE
PODZOLIZAÇÃO EM SOLOS DE ÁREAS DEPRIMIDAS DE
TOPO DE TABULEIROS COSTEIROS DO NORDESTE
BRASILEIRO**

RESUMO

Os solos associados às depressões de topo dos Tabuleiros Costeiros são ainda pouco estudados no Brasil e são diferenciados sob vários aspectos. Geralmente, à medida que se aproxima dessas depressões, a textura dos solos fica mais arenosa e o hidromorfismo mais acentuado, sendo comum a ocorrência de Espodossolos. No Nordeste brasileiro, grandes áreas produtoras de alimentos e madeira estão localizadas nos Tabuleiros Costeiros e, na grande maioria das vezes, os solos dessas depressões são utilizados sem um manejo diferenciado, implicando em queda da produtividade e afastamento da sustentabilidade ambiental. Neste contexto, objetivo deste trabalho foi auxiliar na compreensão do processo de podzolização presente nestes solos, por meio de diferentes extratores de Fe, Al, Si e C orgânico, complementados pelos teores de C orgânico total e da determinação do pH da solução dos solos. Os aumentos nos teores de C orgânico e de Fe e Al pelos diferentes extratores nos horizontes iluviais (de acúmulo) de cada solo, relativamente aos horizontes eluviais (de perda), reflete a morfologia de campo e reforça a importância do processo de podzolização nos solos estudados. Complexos Al-húmus dominam inteiramente a matriz dos horizontes iluviais associados ao hidromorfismo, enquanto naqueles sem hidromorfismo a influência das diferentes formas de Fe é variável. Os dados obtidos indicam que a paisagem deve influenciar, mas não é decisiva para a variante do processo de podzolização contemporânea num determinado ambiente.

Termos de indexação: dissolução seletiva de metais, translocação no perfil do solo, posição do solo na paisagem, solos arenoquartzosos, matéria orgânica e seus componentes.

SUMMARY: DYNAMICS OF THE Fe, Al, Si AND ORGANIC C AND THE PODZOLIZATION PROCESS IN SOILS FROM DEPRESSED SUMMIT AREAS AT THE COASTAL PLAINS OF THE BRAZILIAN NORTHEASTERN.

The soils associated to depressed summit areas at the Coastal Plains are still little studies in Brazil and differentiated under various aspects. Generally, as one gets close to these depressions, the soil texture is sandier and hydromorphism is more accentuated, bring common the occurrence of the Spodosols. At the Brazilian Northeastern, huge food and wood producing areas are localized at the Coastal Plains, and in the great majority of times, the soils of these depressions are utilized without a differential management, implying in productivity decline and environmental sustainability for off. In the context, the objective of this work was to contribute for the comprehension of the podzolization process present in these soils, employing different extractors of Fe, Al, Si and organic C, complemented by the amounts of total organic carbon and the determination of the pH of the soil solution. The increase of the amounts of organic C and Fe, and Al by different extractors in the iluvial (accumulation) horizons of each soil, relatively to the eluvial (loss) horizons, reflects the field morphology and reinforced the importance of the podzolization process in the studied soils. Al-humus complexes entirely dominate the matrix of the iluvial horizons associated to the hydromorphism, while on those ones without hydromorphism the influence of different Fe forms is variable. The obtained data indicate that the landscape should influence, but it is not decisive for the variant of the contemporaneous podzolization process in the specific environment.

Index terms: metal selective dissolution, translocation in the soil profile, soil landscape position, quartzous sand soils, organic matter and its components.

INTRODUÇÃO

Áreas deprimidas são comuns em elevações de Tabuleiros Costeiros brasileiros, dominadas por Argissolos e Latossolos Amarelos coesos, principalmente naquelas superfícies pouco entalhadas (topos

amplos) (Corrêa et al., 2008). O raio de influência destas depressões sobre os solos da paisagem pode estar restrito a poucos metros ou se fazer presente na quase totalidade da superfície (Araújo Filho., 2003). Os solos relacionados a estas áreas são ainda pouco estudados no Brasil e são diferenciados sob vários aspectos. Geralmente, à medida que se aproxima dessas depressões, a textura dos solos fica mais arenosa e o hidromorfismo mais acentuado (UFLA/UFV, 2004), sendo comum a ocorrência de Espodossolos (classe de solos cuja característica comum é a presença de um horizonte B espódico – veja adiante) ou solos intermediários para eles. Estes solos tendem a apresentar processos e feições associados ao excesso de água, com ou sem a proximidade do lençol freático, e horizontes cimentados.

A ocorrência de Espodossolos, ou solos intermediários para eles, por vezes tira a floresta da condição de vegetação clímax, uma influência da oferta ambiental que mescla deficiência de fertilidade, água e oxigênio (Bonifacio et al., 2006). No Nordeste, grandes áreas produtoras de alimentos e madeira estão localizadas nos Tabuleiros Costeiros e na grande maioria das vezes os solos dessas depressões são utilizados sem um manejo diferenciado, implicando em queda da produtividade e afastamento da sustentabilidade ambiental.

O processo de formação do horizonte B espódico (rico em óxidos de Fe e Al e, ou, carbono orgânico iluviais, pobres em argila; pode ser cimentado; é ácido) é abundante na literatura, principalmente para Espodossolos do hemisfério norte, com revisões e artigos que discutem diferentes hipóteses sobre o processo de podzolização (De Conninck, 1980; Farmer, 1982; Lundström et al., 2000a; Buurman e Jongmans,

2005; Sauer et al., 2007). Para ambientes tropicais, as presenças de material de origem quartzoso (poroso e inerte) e de um impedimento subsuperficial (lençol freático e, ou, horizonte cimentado) representam a mais comum situação de ocorrência desse horizonte. Nesses solos, a influência das substâncias húmicas, em que os materiais orgânicos da superfície formam complexos com os íons de Al e Fe e são eluviados para os horizontes de subsuperfície (Buol et al., 1980), foi corroborada em condições brasileiras por trabalhos como os de Gomes et al. (1998), em solos sob restingas, e Benites et al. (2001), em solos sob campos de altitude. Mais recentemente, Coelho (2008) encontrou evidências, a partir de análises micromorfológicas de solos sob restinga do estado de São Paulo, para a participação de material orgânico segregado de raízes e precipitado na formação de horizontes espódicos, adaptando para Espodssolos tropicais hipótese desenvolvida por Buurman & Jongmans (2005).

As frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) são definidas em função da sua solubilidade em meios alcalino e ácido (Mokma & Buurman, 1982; Stevenson, 1982). A distribuição dessas frações no perfil de solos auxilia na identificação da presença do processo de podzolização. Os AFs são compostos de maior solubilidade, os AHs possuem baixa solubilidade e as HUs consistem em um aglomerado de materiais húmicos e apresentam baixa reatividade (Benites et al., 2003). Os AFs, juntamente com os ácidos de baixo peso molecular, apresentam elevada capacidade complexante. Os AHs são de menor mobilidade e, quando presentes nos horizontes espódicos, são considerados, em boa parte, como sendo o produto da polimerização de AFs (Hees et al., 2000).

Os extratores químicos possuem capacidades diferenciadas de extrair os metais nas suas formas inorgânicas e orgânicas (complexos organo-metálicos) (Farmer et al., 1983a). Fe, Al e Si associados à solução do solo corresponderiam à fração desses metais com maior potencial de mobilização junto aos ácidos orgânicos (Lundström et al., 1993; Lundström et al., 2000b; Jansen et al., 2005). Considerando que os solos aqui estudados apresentam material de origem extremamente quartzoso e grosseiro, perde em importância a liberação, principalmente de Si, pelo intemperismo de minerais primários, como geralmente enfatizado para Espodossolos de regiões temperadas (Hees et al., 2000).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) faz, basicamente, referências não quantitativas às diferentes extrações de Fe, Al e Si e também aos valores de C orgânico presentes no horizonte espódico. A cor é o atributo que mais distingue as diferentes classes de Espodossolo, principalmente no nível hierárquico de subordem.

Com base nessas considerações, o objetivo deste trabalho foi auxiliar a compreensão do processo de podzolização presente em solos associados as áreas deprimidas de topo de paisagem de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro. Para isso foram utilizados quatro perfis de solos dessas áreas e, para efeito de comparação, um perfil de Espodossolo sob restinga, onde foram realizadas diferentes extrações de Fe, Al, Si e C orgânico, complementadas pelos teores de C orgânico total e da determinação do pH da solução do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Sítios de estudo

Foram descritos perfis e coletadas amostras compostas de solo em quatro áreas de Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro (Coruripe, AL; Neópolis, SE; Acajutiba, BA e Nova Viçosa, BA) e uma de restinga (Itaporanga D'Ajuda, SE), aqui incluída para efeito de comparação. Tabuleiros Costeiros são platôs de origem sedimentar de idade Terciária, que apresentam grau de entalhamento e clima variável e que acompanham o litoral brasileiro entre os estados do Rio de Janeiro e o Amapá, sendo sua vegetação nativa representada predominantemente pela floresta tropical subperenifólia. As restingas são formadas por sedimentos areno-quartzosos de idade Quaternária, sendo que a área de estudo está associada à larga planície litorânea formada no estuário afogado (ria) do rio Vaza-barris. A vegetação nativa dessas áreas é representada pela floresta de restinga. O perfil de solo estudado situa-se em um terraço composto por de sedimentos flúvio-marinhos arenosos (Gomes et al., 2010).

Sedimentos arenoquartzosos constituem o material de origem dos solos estudados. A área de Nova Viçosa, BA apresenta clima tropical com todos os meses chuvosos (mês mais seco com mais de 60 mm de chuva). As áreas de Coruripe, AL, Neópolis, SE, Itaporanga D'Ajuda, SE e Acajutiba, BA, estão sob clima tropical chuvoso com verão seco (Silva et al, 1993).

Para cada área foi aberta uma trincheira, onde foram realizadas a descrição morfológica e a amostragem dos horizontes (Santos et al.,

2005) e a classificação dos solos (Embrapa, 2006). A situação das áreas de coleta e a classificação dos solos aparecem na tabela 1. A localização das áreas é apresentada na figura 1.

Tabela 1 Código, local, situação e classificação dos solos estudados.

Código	Local	Situação	Solo – textura – profundidade do horizonte espódico ou horizonte intermediário para ele
CF	Coruripe, AL	Área deprimida de topo plano de Tabuleiro Costeiro sob floresta primária alterada	Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico - arenosa/média - 63 cm
NC	Neópolis, SE	Área deprimida de topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de coco	Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico - arenosa/média - 150 cm
AE	Acajutiba, BA	Área deprimida de topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de eucalipto	Neossolo Quartzarênico Órtico dúrico, espódico - arenosa - 150 cm
VE	Nova Viçosa, BA	Área deprimida de topo plano de Tabuleiro Costeiro sob plantio de eucalipto	Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúrico, fragipânico - arenosa/média - 48 cm
IR	Itaporanga D'Ajuda, SE	Praias fósseis (planas) de sedimentos flúvio-marinhos sob vegetação arbórea e arbustiva de restinga	Espodossolo Humilúvico Hiperespesso espessarênico - arenosa - 360 cm

As amostras de cada horizonte foram coletadas em duplicata, uma parte foi armazenada sob refrigeração para posterior extração da solução do solo e a outra parte seca ao ar e passada em peneira de malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Na extração de Fe e Al foram utilizadas quatro metodologias, e para a extração do Si apenas duas. Para a extração de Fe e Al utilizou-se o ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960; Jackson, 1974; Embrapa, 1997) e o pirofosfato de sódio, conforme método adaptado de Wang (1978). A extração com o oxalato de amônio, segundo método também adaptado de Wang (1978), foi utilizada para a extração de Fe, Al e Si. O Fe e Al foram determinados por espectrometria de absorção atômica e o Si por espectrometria de emissão de plasma. As

extrações em água são descritas mais a frente.

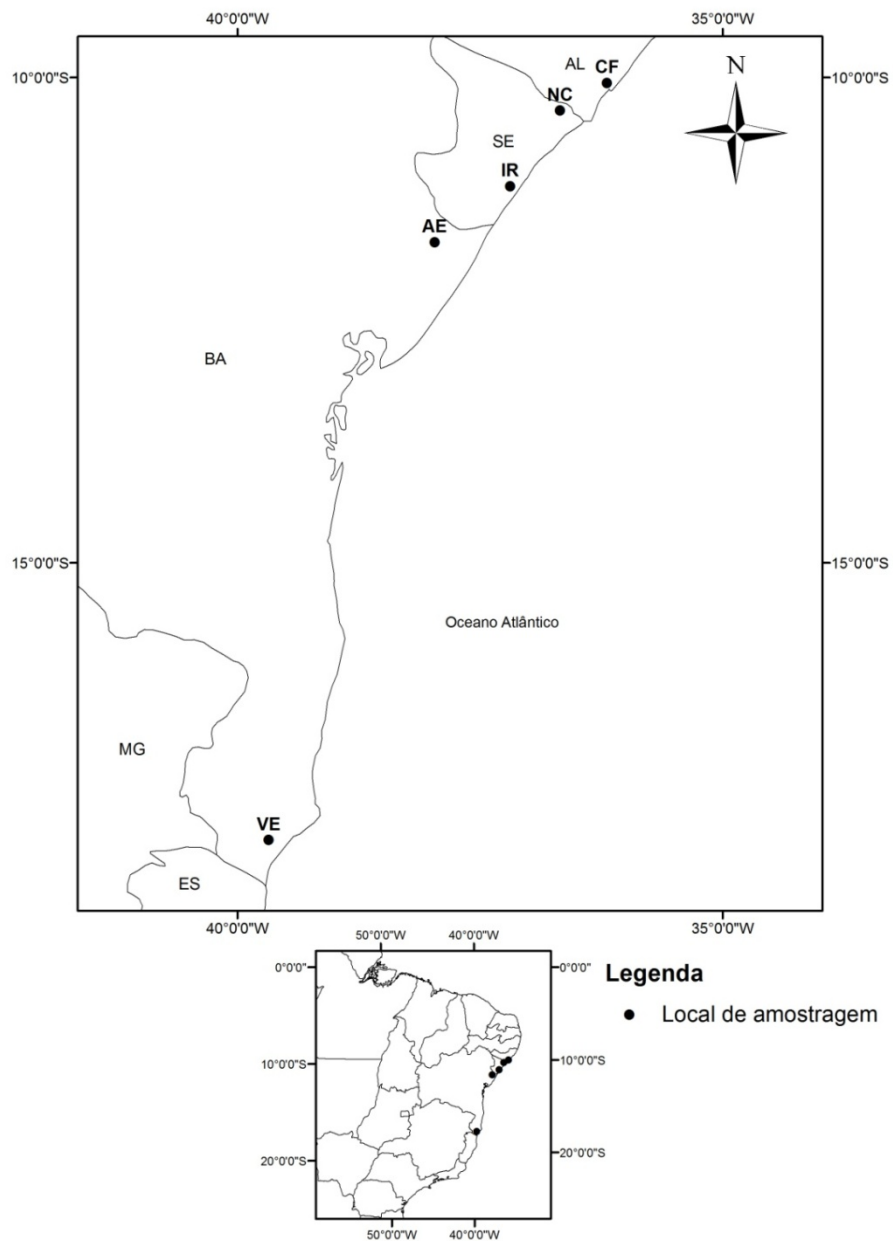


Figura 1 Localização dos solos estudados. Código dos perfis: CF = Coruripe floresta; NC = Neópolis coco; AE = Acajutiba eucalipto; VE = Nova Viçosa eucalipto; IR = Itaporanga D'Ajuda restinga.

O fracionamento das substâncias húmicas foi feito de acordo com a solubilidade em meio ácido e alcalino, separando-as em AF, AH e HU de acordo com a metodologia descrita por Benites et al. (2003), em que 1 g de TFSA foi colocada em contato com 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas. Após esse período, as amostras foram centrifugadas. A fração precipitada, insolúvel em meio alcalino (HU), foi levada à estufa para secar. No intuito de separar as frações húmicas, ao sobrenadante obtido anteriormente, foi adicionado H₂SO₄ 20%, a fim de ajustar o pH para próximo de 2. Esse extrato acidificado permaneceu em repouso por 18 horas, para a decantação da fração AH. Posteriormente, o sobrenadante foi filtrado em membrana de 0,45 µm no sistema de filtração a vácuo, com o intuito de separar as frações AF (solúvel em meio ácido) e AH (insolúvel em meio ácido). A determinação do teor de C orgânico (CO) nas frações AF, AH e HU foi realizada conforme proposto por Benites et al. (2003). Este fracionamento foi realizado apenas nos horizontes A, B e C, excluindo os horizontes E, com teores de CO muito baixos. O C orgânico total (COT) foi determinado segundo a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Nas amostras armazenadas sob refrigeração fez-se a extração da solução do solo por agitação, centrifugação e filtração do extrato na relação solo:água 1:0,5 (Rhoades, 1982; Thibault & Sheppard, 1992; Gomes et al., 2008). Nos extratos foram realizadas análises de C orgânico solúvel em água (COS) por analisador de C; pH; e Fe, Al e Si, os dois primeiros por absorção atômica. A determinação do Si foi realizada misturando-se 5 mL de extrato aquoso com 0,5 mL de solução sulfomolibdica 7,5%. Após 10 minutos de descanso foi acrescentado 1

mL de solução de ácido tartárico 20% e após mais 5 minutos adicionou-se 5 mL de solução de ácido ascórbico 0,3%. Depois de 1 hora foi realizada a leitura do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frações húmicas

As porcentagens de C nas frações AF, AH e HU são apresentadas na Tabela 2. Os valores indicam expressivo acúmulo de frações húmicas nos horizontes espódicos de cada perfil. Nos horizontes apenas com caráter dúrico ou cimentação forte (Bm) dos perfis CF e AE, os valores de C orgânico total (COT) estão deplecionados relativamente aos horizontes sobrepostos, o que já era esperado, considerando-se a cor daqueles horizontes (10YR 7/2 e 7/3). O perfil AE, um Neossolo Quartzarênico espódico, apresenta no seu horizonte com características iluviais ou de acúmulo (BhE), o menor valor de COT se comparado aos valores de todos os outros horizontes espódicos, mesmo aqueles com subscrito “s”, o que também confirma a morfologia de campo (horizonte BhE de cor úmida 10YR 4/2).

Os valores da relação (AH+AF)/CO foram menores nos horizontes superficiais em relação aos horizontes espódicos dentro de cada perfil, em conformidade com o processo de podzolização presente em todos os solos estudados. As diferenças não foram tão claras para os perfis CF e IR [horizontes espódicos com relações (AH+AF)/CO < 0,3] e, de forma geral, não tão expressivas como as encontradas por Gomes et al. (1998), ao estudarem Espodossolos do Quaternário [horizontes espódicos com

relações $(AH+AF)/CO > 0,8$]. Nos horizontes com caráter dúrico, no caso do perfil VE associado ao subscrito “s”, e dos perfis CF, AE e VE, a relação $(AH+AF)/CO$ diminuiu relativamente aos horizontes espódicos sobrepostos (todos com subscrito “h”).

O comportamento do índice de humificação (AH/AF) foi variável. Entre os horizontes superficiais, só foi menor que a unidade no perfil VE ($AH/AF = 0,87$). A relação AH/AF foi muito elevada nos horizontes espódicos dos perfis NC e IR. O horizonte espódico (Bh) de ambos os perfis coincide com a profundidade de flutuação do lençol freático, embora as profundidades de ocorrência sejam muito diferentes. Esse maior índice de humificação está bem relatado para pacotes quartzosos de ambientes hidromórficos em planícies costeiras dos trópicos (Farmer et al., 1983b; Gomes et al., 1998). Os ácidos orgânicos mobilizados a partir da superfície e deslocados com a água que percola no perfil (Buurman & van Reeuwijk, 1984) se polimerizariam a AH nos horizontes Bh (com a presença do lençol freático) (Holzhey et al., 1975; Bonifacio et al., 2006). O perfil IR é um Espodossolo profundo e não hidromórfico, mas seu horizonte Bh, localizado a 3,6 m da superfície, se desenvolve junto à zona de flutuação do lençol freático.

Tabela 2 Fracionamento das substâncias húmicas nas frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) dos horizontes superficiais (A) e iluviais (B) dos diferentes solos estudados.

Horizonte	Profundidade	COT	AF	AH	HU	AH/AF	(AH+AF)/COT
	cm	dag dm ⁻³	---	%	---	-	-
CF – Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico							
A	0 - 8	0,93	6	12	82	2,03	0,18
BE	50 - 63	1,28	17	10	73	0,55	0,27
Bh1	63 - 85	1,91	20	8	72	0,41	0,28
Bh2	85 - 95	1,51	15	8	77	0,55	0,23
Bm	95 - 140	0,46	17	1	82	0,08	0,18
NC - Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico							
Ap	0 - 25	0,81	8	21	71	2,65	0,29
Bh	150 - 170	2,15	5	45	50	8,89	0,50
AE – Neossolo Quartzarênico Órtico dúrico, espódico							
Ap	0 - 18	1,04	9	19	72	2,09	0,28
BhE	150 - 180	0,52	49	23	28	0,46	0,72
Bm	180 - 200	0,35	46	13	41	0,27	0,59
VE - Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúrico, fragipânico							
Ap	0 - 20	0,70	11	10	79	0,87	0,21
Bh	48 - 57	1,16	37	63	0	1,73	1,00
Bhsx	57 - 87	2,55	45	8	47	0,19	0,53
Bsm	87 - 125	1,28	48	1	51	0,01	0,49
IR - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso espessarênico							
A	0 - 22	1,28	4	6	90	1,60	0,10
Bh	360 - 363	2,67	5	23	72	4,65	0,28

O decréscimo da relação AH/AF do horizonte B mais superficial para o mais profundo ocorreu no perfil VE e em parte no perfil CF. Esse decréscimo é contabilizado pela maior mobilidade do AF em relação ao AH, permitindo que os AFs estejam presentes em maior proporção nas partes inferiores dos horizontes espódicos (Skjemstad et al., 1992a; 1992b; Gomes et al., 1998; Benites et al., 2003). A relação foi ainda mais deplecionada nos horizontes com caráter dúrico, lembrando que esses horizontes apresentaram valores de COT relativamente baixos, quando

comparados aos horizontes espódicos. Nos Espodossolos com hidromorfismo coincidente com o horizonte Bh (perfis NC e IR) não foi possível observar a ocorrência ou não dessa tendência, devido a impossibilidade de se coletar subamostras mais profundas do horizonte B espódico nos perfis encharcados. Quando se tentava aprofundar as amostragens, o pacote quartzoso incoerente fazia a trincheira desmoronar. Todavia, Farmer et al. (1983b) afirmam que Espodossolos hidromórficos de planícies costeiras não devem apresentar esse tipo de tendência, com os AFs sofrendo constante polimerização a AHs na matriz do horizonte Bh, como também constatado por Holzhey et al. (1975).

C orgânico solúvel (COS)

À exceção do perfil AE, solo intermediário para Espodossolo (podzolização incipiente), o COS decresceu da superfície em direção ao horizonte eluvial ou de perda (E) e voltou a crescer nos horizontes iluviais (B) (Tabela 3 e Figura 2).

Os valores absolutos de COS dentro de cada perfil sempre foram maiores nos horizontes superficiais (A, Ap e AE), com exceção do perfil NC, que apresentou maior valor no horizonte Bh (24,63 mg kg⁻¹). A cobertura vegetal de restinga, com muita serrapilheira, pode ter auxiliado o perfil IR a apresentar os maiores valores absolutos de COS (horizontes A e AE, respectivamente, 35,43 e 88,80 mg kg⁻¹). De qualquer forma, a influência da cobertura vegetal (floresta, coco e eucalipto) não seguiu um padrão de comportamento nos valores de COS, mesmo dos horizontes superficiais, em concordância com a modelagem proposta por Moore

(1989), incluindo-se nisso a ausência de consonância entre os dados de COS e de C orgânico total (COT) dos solos estudados.

Tabela 3 Valores de pH e teores de C orgânico solúvel (COS) no extrato solo:água (1:0,5), C orgânico total do solo (COT) e relação do COS com o COT dos diferentes solos estudados.

Horizonte	pH	COS	COT	COS no COT
	-	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%
CF – Espodossolo Humilúvico Órtico dúbico				
A	5,42	20,64	9,28	0,22
E	5,67	8,97	4,64	0,19
BE	5,55	10,51	12,76	0,08
Bh1	5,62	10,40	19,14	0,05
Bh2	5,81	7,10	15,08	0,05
Bm	6,12	4,36	4,64	0,09
NC - Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico				
Ap	6,13	17,61	8,12	0,22
E	6,34	7,31	0,58	1,26
Bh	4,98	24,63	21,46	0,11
AE – Neossolo Quartzarênico Órtico dúbico, espódico				
Ap	6,41	15,39	10,44	0,15
EA1	5,72	4,68	3,48	0,13
EA2	5,7	5,19	5,22	0,10
E	6,23	2,43	2,9	0,08
BhE	6,2	2,63	5,22	0,05
Bm	5,83	2,96	3,48	0,08
VE - Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúbico, fragipânico				
Ap	5,3	26,55	6,96	0,38
E	4,68	13,38	5,22	0,26
Bh	4,69	20,25	11,6	0,17
Bhsx	5,41	8,87	25,52	0,03
Bsm	5,77	6,62	12,76	0,05
C	6,18	3,15	0,58	0,54
IR - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso espessarênico				
A	4,7	35,43	12,76	0,28
AE	4,84	88,80	10,44	0,85
E	5,27	4,01	2,32	0,17
Bh	3,97	15,30	26,68	0,06

A % de COS no COT decresceu da superfície e do horizonte eluvial (E) em direção aos horizontes iluviais espódicos em todos os perfis (Tabela 3). Esse comportamento é típico de solos onde o processo

de podzolização é atuante (Bergelin et al., 2000; Hees et al., 2000) e reforça a contemporaneidade deste processo de formação dos solos estudados.

Dinâmica de Fe, Al e Si

De forma geral, as extrações de Fe e Al por ditionito-citrato-bircarbonato (DCB) (Fe_d e Al_d), oxalato (Fe_o e Al_o) e pirofosfato (Fe_p e Al_p) apresentaram uma clara tendência de acumulação nos horizontes iluviais (espódicos), relativamente aos horizontes eluviais (E), concordando com os resultados obtidos para Espodossolos sob restingas brasileiras (Gomes et al., 1998; Moura Filho, 1998; Gomes et al., 2007; Coelho et al., 2010) e para Espodossolos associados a Formação Barreiras (Oliveira et al., 2010) (Tabela 4). Os valores de Al predominaram sobre os de Fe nos três tipos de extrações, o que também foi uma constante nos trabalhos dos mesmos autores citados anteriormente.

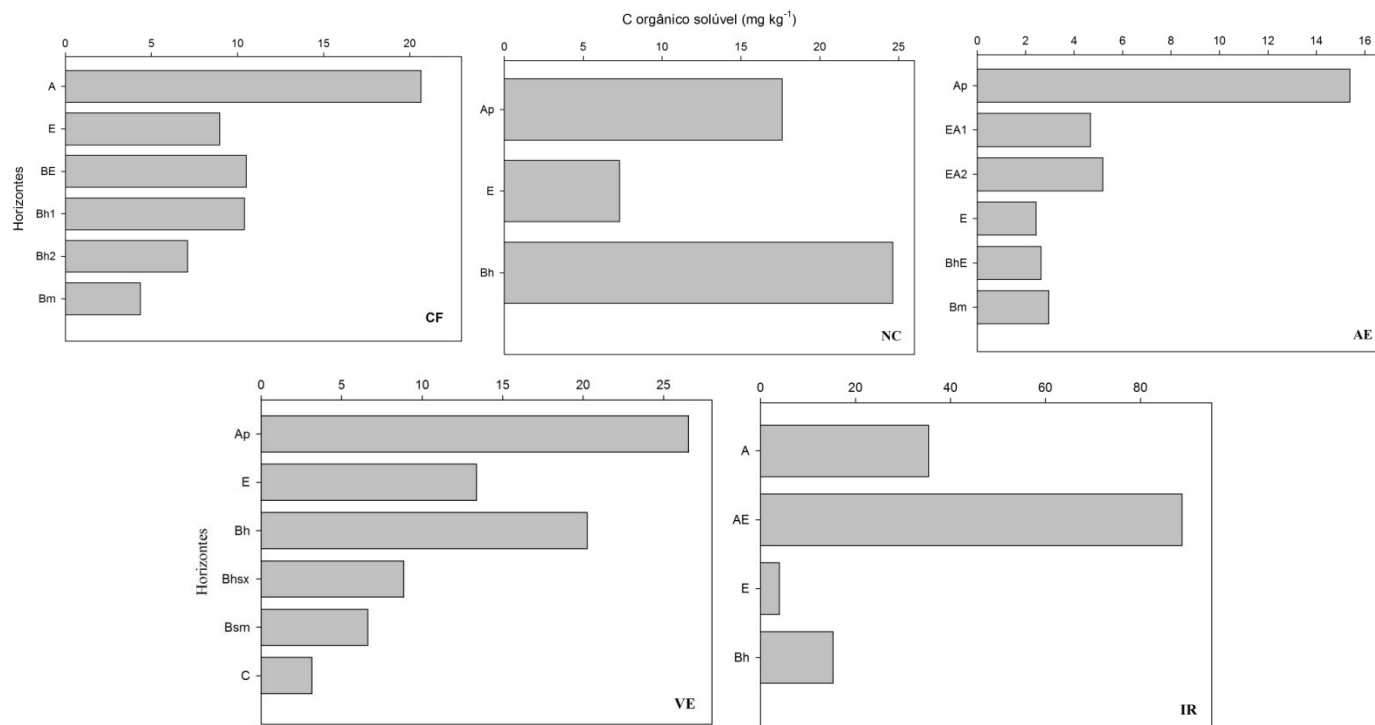


Figura 2 C orgânico solúvel dos diferentes horizontes dos solos estudados. Código dos perfis: CF = Coruripe floresta; NC = Neópolis coco; AE = Acajutiba eucalipto; VE = Nova Viçosa eucalipto; IR = Itaporanga D'Ajuda restinga.

A acumulação, em termos de valores absolutos, foi muito mais tênue nos perfis com hidromorfismo coincidente com o horizonte B espódico (perfis CF e IR), principalmente nas diferentes extrações de Fe. O Neossolo Quartzarênico espódico (perfil AE) não mostrou acumulação de Fe, mas os valores das diferentes extrações de Al do horizonte BhE, o qual adjetiva o solo de espódico, foram claramente superiores aos do horizonte E.

Os perfis CF e, principalmente, VE (Espodossolo Ferrihumilúvico) foram os que mostraram maiores valores absolutos das diferentes extrações de Fe dos horizontes espódicos. Os horizontes espódicos (Bh) do perfil CF não mostraram influência perceptível dessa acumulação de Fe na sua morfologia, conforme observações de campo.

O Si extraído com oxalato (Si_o) não mostrou acumulação nos dois Espodossolos com hidromorfismo (perfis NC e IR). Os perfis CF, AE e VE mostraram acumulação relativa do Si_o , variando bastante quanto à magnitude dos valores absolutos encontrados (de $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ do horizonte Bh1 do perfil CF a $44,85 \text{ g kg}^{-1}$ do horizonte Bsm do perfil VE) (Figura 3).

Nos horizontes dúricos não espódicos dos perfis CF e AE, o Al_o se destacou relativamente aos Al_d e Al_p . Nesses dois horizontes o Si_o também se acumulou, mas de forma muito mais efetiva no horizonte Bm do perfil AE. No horizonte dúrico e espódico Bsm do perfil VE todas as formas extraídas de Fe, Al e Si apresentaram valores absolutos maiores que os horizontes acima (Bhsx) e abaixo (C). Os resultados encontrados reforçam a importância das formas amorfas de Al na gênese de fragipãs e horizontes dúricos de solos dos Tabuleiros Costeiros (Araujo Filho, 2003;

Lima Neto et al., 2010), mas também deixam claro que as formas amorfas de Si participam do processo em grau variado. O Si, atuante na gênese destes horizontes, pode ter origem na dissolução da caulinita de solos (Argissolos e Latossolos Amarelos) que cercam estas áreas deprimidas da paisagem, sugerindo seu transporte lateral (Moreau et al., 2006; Oliveira et al., 2010).

Nos extratos solo:água, muitos horizontes não apresentaram teores detectáveis de Fe, Al e Si (Fe_h , Al_h e Si_h). Para a maior parte dos solos, a tendência foi de decréscimo dos teores de metais com o aprofundamento do perfil, não mostrando associação dessas extrações com os horizontes espódicos. A exceção a essa regra ocorreu nos valores de Al_h dos horizontes espódicos com hidromorfismo dos perfis NC e IR. Nos horizontes com caráter dúrico dos perfis CF, AE e VE e mesmo no horizonte Bshx do perfil VE, os teores de Si_h também foram superiores aos dos horizontes sobrejacentes. Para ambas as situações, o resíduo dessas frações de máxima mobilidade, e mínima retenção pode estar contribuindo para a formação de complexos orgânicos ou inorgânicos, potenciais agentes do processo de cimentação.

Tabela 4 Teores de metais nos extratos de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_d e Al_d), pirofosfato de sódio (Fe_p e Al_p), oxalato ácido de amônio (Fe_o, Al_o e Si_o) e aquoso (Fe_h, Al_h e Si_h) nos horizontes dos perfis dos solos estudados.

Horizonte	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Fe _h	Al _d	Al _o	Al _p	Al _h	Si _o	Si _h
	-----g kg ⁻¹ -----		mg kg ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----		mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
CF – Espodossolo Humilúvico Órtico dúbico										
A	0,17	0,10	0,08	0,24	0,40	0,58	0,56	1,49	0,03	0,05
E	0,31	0,26	0,16	0,08	0,61	0,92	0,47	1,01	0,16	0,05
BE	0,65	0,92	1,28	0,04	5,21	6,16	5,06	0,95	0,18	0,05
Bh1	0,43	0,70	0,30	0,03	10,04	16,75	10,81	0,47	0,34	0,03
Bh2	0,30	0,52	0,22	0,01	8,85	15,36	16,16	0,02	0,54	0,03
Bm	0,74	0,87	1,04	0,01	3,55	13,96	2,59	0,00	0,58	0,40
NC - Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico										
Ap	0,02	0,04	0,02	0,06	0,06	0,05	0,06	0,08	0,00	1,23
E	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	1,45
Bh	0,01	0,02	0,04	0,06	1,05	1,13	1,03	0,48	0,00	0,05
AE – Neossolo Quartzarênico Órtico dúbico, espódico										
Ap	0,06	0,05	0,06	0,03	0,18	0,31	0,25	0,28	0,29	0,00
EA1	0,04	0,05	0,04	0,01	0,40	1,03	0,72	0,72	0,76	0,00
EA2	0,08	0,08	0,07	0,00	2,29	7,81	2,42	0,00	3,47	0,00
E	0,02	0,04	0,04	0,00	0,84	2,38	1,33	0,00	0,95	0,00
BhE	0,00	0,04	0,03	0,01	2,11	7,31	2,42	0,00	2,19	0,08
Bm	0,00	0,03	0,02	0,00	3,84	10,86	3,25	0,00	5,07	0,20
VE - Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúbico, fragipânico										
Ap	0,06	0,05	0,04	0,07	0,35	1,72	0,73	0,94	2,79	0,05
E	0,01	0,01	0,02	0,09	0,08	0,10	0,13	0,47	0,22	0,00
Bh	0,15	0,14	0,13	0,01	1,20	2,05	1,14	0,53	1,43	0,03
Bhsx	3,79	5,32	7,33	0,01	20,91	24,99	7,18	0,30	10,40	0,18
Bsm	15,97	9,31	9,12	0,01	21,42	40,24	11,83	0,35	44,85	0,26
C	13,05	0,62	1,97	0,01	2,98	4,64	1,09	0,00	1,40	0,05
IR - Espodossolo Humilúvico Hiperespesso espessarênico										
A	0,08	0,03	0,02	0,06	0,07	0,09	0,11	0,20	0,31	0,08
AE	0,03	0,02	0,02	0,06	0,05	0,05	0,05	0,23	0,60	0,53
E	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
Bh	0,01	0,02	0,05	0,02	0,43	0,36	0,37	0,80	0,00	0,13

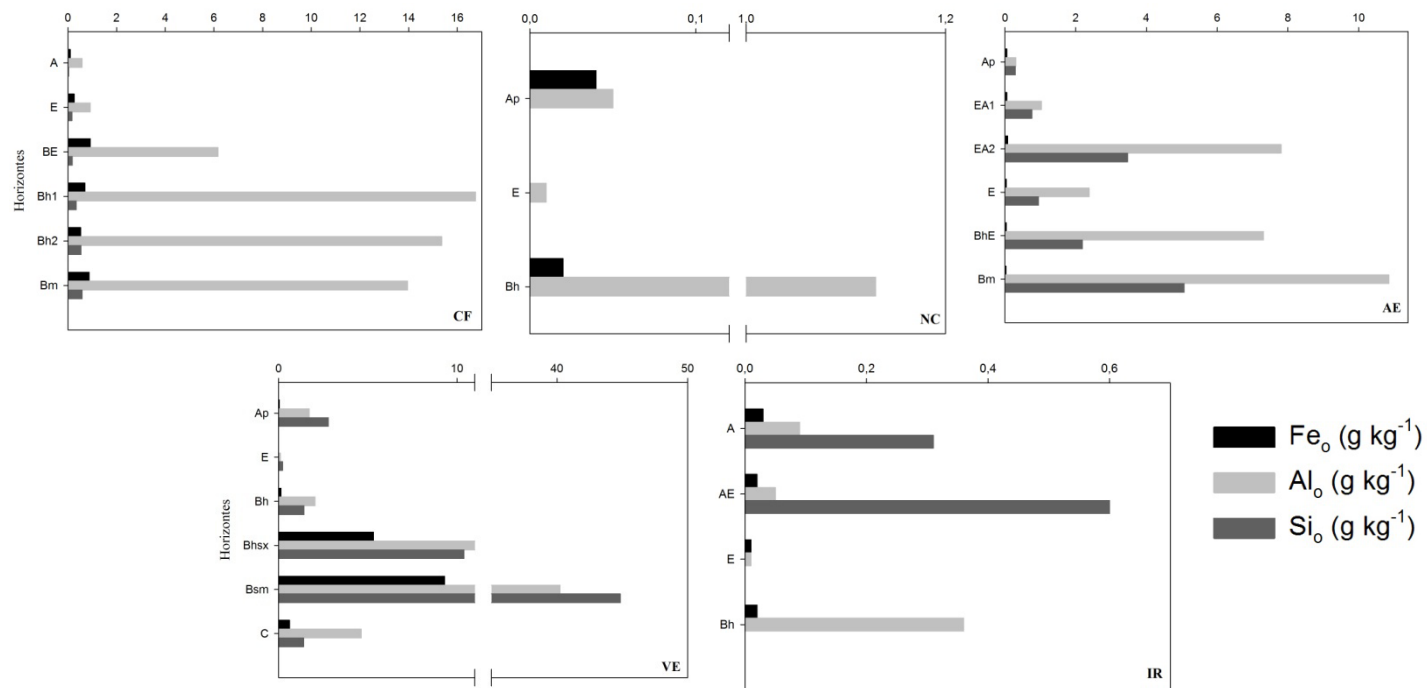


Figura 3 Teores de Fe, Al e Si extraídos pelo oxalato nos horizontes genéticos dos solos estudados.

Relações entre metais e compartimentos do C orgânico do solo

Os valores das relações entre os teores de Fe e Al obtidos a partir de diferentes extratores são apresentados na Tabela 5.

Nos dois perfis onde os valores de Fe extraídos foram relevantes (CF e, principalmente, VE), o comportamento das relações Fe_p/Fe_d e Fe_p/Fe_o , dos horizontes espódicos, foi distinto. O perfil CF, que não possui horizonte espódico com subscrito “s”, apresentou relações mais baixas, principalmente a relação Fe_p/Fe_o ($< 0,5$). No perfil VE (Espodossolo Ferrihumilúvico), as relações Fe_p/Fe_o foram $> 0,9$ para os três horizontes B, evidenciando a dominância de complexos Fe-húmus entre as formas de pior grau de cristalinidade de Fe. A relação Fe_p/Fe_d do horizonte Bsm (perfil VE) foi mais baixa ($= 0,57$), mostrando que parte do Fe_d ($= 15,97 \text{ g kg}^{-1}$) deste horizonte vem de formas cristalinas.

Os perfis de Espodossolos Humilúvicos (CF, NC e IR) apresentaram, nos seus horizontes espódicos, a maior parte das relações Al_p/Al_d e Al_p/Al_o próximas ou acima da unidade, um reflexo de um Al intensamente associado a compostos orgânicos (Shoji et al., 1982). Os horizontes iluviais dos perfis VE (Espodossolo Ferrihumilúvico) e NC (Neossolo Quartzarênico espódico), principalmente nas relações Al_p/Al_o , mostraram valores mais baixos ($< 0,6$), indicando a possibilidade da convivência de complexos Al-húmus e materiais amorfos inorgânicos de Al nestes solos. Além disso, a relação Al_p/Al_o dos horizontes B e C dos solos estudados indicou tendência inversa àquela do pH da solução do solo (Figura 4), reforçando o relacionamento entre a formação de complexos organometálicos e faixas ideais de pH (Shoji & Fugiwara, 1984).

Na relação $CO/(Al_p+Fe_p)$, voltou a prevalecer a influência do regime hidromórfico dos horizontes espódicos dos perfis NC e IR. Nestes, o valor da relação foi bem mais elevado do que nos outros perfis estudados (Figura 5). A predominância da fração AH sobre AF (relações $AH/AF > 1$) desses horizontes, ajuda a explicar tais valores elevados destas relações, desde que os AHs são precipitados mais facilmente pelo Al (metal predominante nestes horizontes) do que os AFs (Skjemstad, 1992). Pode-se inferir que grande quantidade de AF esteja saindo do sistema ou sendo precipitado em horizontes ainda mais profundos do perfil (não avaliados), considerando que não conseguem disponibilidade de metais (Al) para alcançar sua precipitação (Gomes et al., 1998). O mesmo raciocínio explica os valores de COS mais elevados desses horizontes (Tabela 3), disponibilizados na solução do solo pela carência de metais.

No perfil VE (Espodossolo Ferrihumilúvico) apresentou um interessante decréscimo da relação $CO/(Al_p+Fe_p)$ em profundidade dos seus horizontes espódicos (respectivamente 21,66, 5,35 e 1,77 nos horizontes Bh, Bhsx e Bsm). De qualquer forma, os horizontes espódicos ou intermediários para eles dos perfis CF, AE e VE (excetuando o seu horizonte Bh), apresentaram valores da relação $CO/(Al_p+Fe_p)$ suficientemente baixos (< 6) para se supor que estejam sobrando íons metálicos em relação ao teor de CO desses mesmos horizontes (Higashi et al., 1981; Mokma & Buurman, 1982), ou seja, a matéria orgânica presente nesses horizontes teria esgotado sua capacidade complexante. Entretanto, Skjemstad (1992) mostrou que para baixas relações C orgânico/Al, a máxima floculação da MOS ocorreu em $pH > 5$, presente nos horizontes

citados no caso e aqui estudados (Tabela 3). Por fim, as relações AH/AF mais estreitas desses horizontes (menores que a unidade, novamente excetuando o horizonte Bh do perfil VE), ajudam a alterar para baixo o limite pela qual a relação C orgânico/metal ainda está apta a mobilizar íons metálicos em solução (Gomes et al., 1998). Assim, relações $CO/(Al_p+Fe_p)$ baixas ocorreram nos horizontes iluviais de solos intermediários para Espodosolos Humilúvicos (perfil AE), em Espodosolo Ferrihumilúvico (VE) e em Espodosolo Humilúvico (CF), diferentemente do encontrado para Espodosolos do litoral paulista por Coelho et al. (2010), onde essas baixas relações estiveram associadas apenas à presença de horizontes espódicos com subscrito “s”.

Tabela 5 Relação dos teores de Fe e Al dos diferentes extratores¹ utilizados, inclusive em relação ao carbono orgânico (CO).

Horizonte	Fe_p/Fe_d	Fe_p/Fe_o	Al_p/Al_d	Al_p/Al_o	CO/(Al_p + Fe_p)
Perfil CF – Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico. Terciário					
A	0,47	0,80	1,40	0,97	34,82
E	0,52	0,62	0,77	0,51	19,04
BE	1,97	1,39	0,97	0,82	5,05
Bh1	0,70	0,43	1,08	0,65	3,92
Bh2	0,73	0,42	1,83	1,05	2,08
Bm	1,41	1,20	0,73	0,19	3,37
Perfil NC – Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico. Terciário					
Ap	1,00	0,50	1,00	1,20	261,84
E	-	-	-	0,00	-
Bh	4,00	2,00	0,98	0,91	45,94
Perfil AE – Neossolo Quartzarênico Órtico dúrico. Terciário					
Ap	1,00	1,20	1,39	0,81	84,06
EA1	1,00	0,80	1,80	0,70	10,57
EA2	0,88	0,88	1,06	0,31	4,78
E	2,00	1,00	1,58	0,56	4,83
BhE	-	0,75	1,15	0,33	4,82
Bm	-	0,67	0,85	0,30	2,40
Perfil VE – Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúrico, fragipânico. Terciário					
Ap	0,67	0,80	2,09	0,42	20,87
E	2,00	2,00	1,63	1,30	83,96
Bh	0,87	0,93	0,95	0,56	21,66
Bhsx	1,93	1,38	0,34	0,29	5,35
Bsm	0,57	0,98	0,55	0,29	1,77
C	0,15	3,18	0,37	0,23	0,64
Perfil IR – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso espessarênico. Quaternário					
A	0,25	0,67	1,57	1,22	239,54
AE	0,67	1,00	1,00	1,00	393,08
E	0,00	0,00	-	0,00	-
Bh	5,00	2,50	0,86	1,03	152,06

¹p= pirofosfato de sódio; d= ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; o= oxalato ácido de amônio.

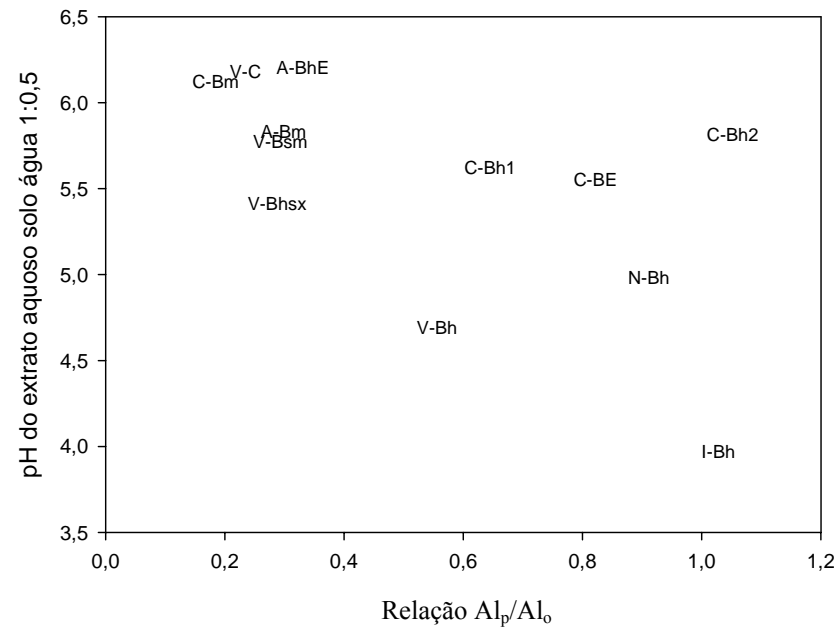


Figura 4 Dispersão de pontos entre a relação Al_p/Al_0 e o pH da solução do solo de horizontes iluviais e C dos perfis estudados ($r = -0,611$, $p < 0,05$). Códigos: Primeira parte da legenda representa o perfil do solo – C = Coruripe floresta (CF), N = Neópolis coco (NC), A = Acajutiba eucalipto (AE), V = Nova Viçosa eucalipto (VE) e I = Itaporanga D'Ajuda restinga (IR). Segunda parte da legenda representa o horizonte genético do solo.

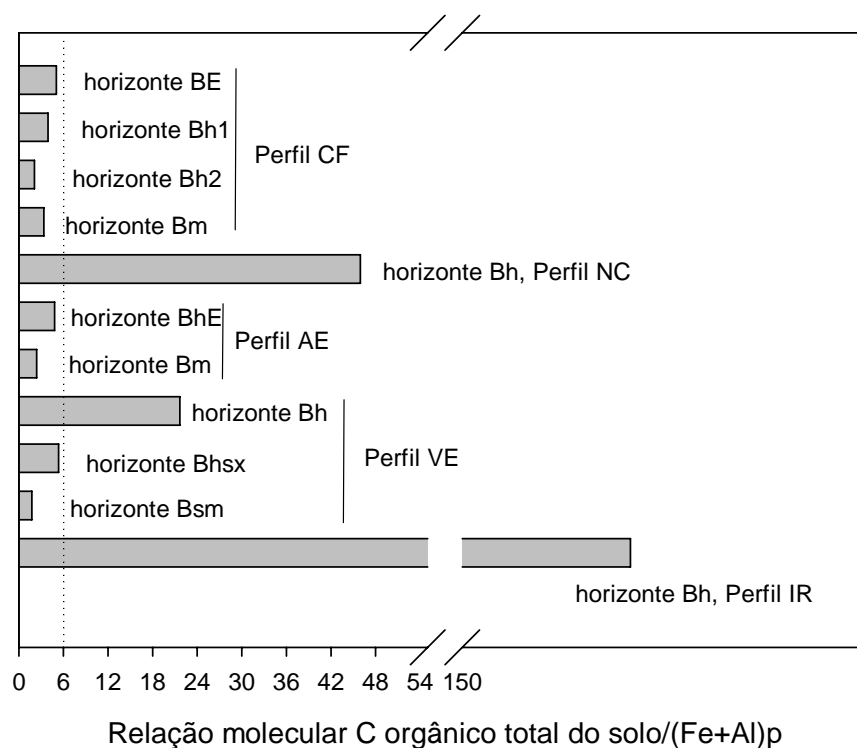


Figura 5 Relação molecular C orgânico total e soma de extrações de Fe e Al extraídos por pirofosfato de sódio $[CO/(Fe+Al)_p]$ de horizontes iluviais (espódicos e cimentados) dos solos estudados. A linha pontilhada corresponde ao valor mínimo (= 6) da relação conforme proposto por Monka & Buurmann (1982) em que a matéria orgânica ainda estaria apta a reter íons metálicos.

O processo de podzolização

Aumentos, dentro de cada perfil de solo, de C orgânico e metais extraídos por ditionito, oxalato e pirofosfato (teores de Al e, por vezes, Fe e Si), dos horizontes iluviais espódicos, relativamente aos horizontes eluviais, comprovaram o processo de podzolização inferido pela morfologia de campo em todas as situações estudadas (Tabela 3). Além disso, todos os solos apresentaram relações $(AH+AF)/CO$ mais elevadas

nos horizontes iluviais espódicos relativamente aos horizontes superficiais, dentro de cada perfil.

As condições de paisagem e material de origem são aquelas consideradas relevantes ao processo de podzolização nos trópicos, quais sejam: relevo plano e, ou, suavemente abaciado; material de origem arenoquartzoso (inerte); camadas de impedimento em subsuperfície, representadas por uma conjunção de horizontes cimentados e lençol freático suspenso. O processo em si, se sobrepõe em grande parte ao encontrado para *Podzóis não boreais*, por Sauer et al. (2007) e definidos por Buurman & Jongmans (2005), envolvendo materiais de origem pobres, matéria orgânica recalcitrante e translocação de complexos Fe-húmus e Al-húmus. O papel desempenhado pelos compostos inorgânicos amorfos, se presentes, é pouco significativo na translocação de metais, se comparado aos complexos de matéria orgânica. Isso ocorre, com pequenas diferenças, independente da paisagem estudada ser de topo de Tabuleiro Costeiro (Terciário) ou de restinga (Quaternário).

A presença ou ausência de hidromorfismo coincidente com o horizonte espódico separou os solos em dois grupos distintos para vários atributos: relação AH/AF, COS, Al_p e relação CO/(Fe+Al)_p (Figura 6). É fácil observar o distanciamento dos horizontes Bh dos perfis NC e IR para todos os outros, com o horizonte Bh do perfil VE também se destacando, mas de forma mais branda, o que pode estar indicando períodos de excesso de água coincidente com o citado horizonte genético não observados nas visitas de campo.

Além disso, os solos com hidromorfismo associado ao horizonte espódico (perfis NC e IR) apresentaram teores de Fe desprezíveis para os

três extratores testados e neles os complexos Al-húmus são dominantes, corroborando dados de Takahashi et al. (1995) e Coelho et al. (2010). As condições de excesso de água estagnada e falta de O₂ desses horizontes Bh reduzem o Fe, que sai do sistema (Farmer et al., 1983b).

Entre os solos sem hidromorfismo associado ao horizonte espódico (perfis CF, AE e VE), os valores extraídos de Fe só foram desprezíveis no horizonte iluvial (intermediário para Bh) do perfil AE, que apresenta podzolização apenas incipiente (um Neossolo Quartzarênico espódico). Valores de Fe extraídos só foram suficientemente altos para expressar morfologias que caracterizam o subscrito “s” nos horizontes espódicos do perfil VE (Figura 7). Assim, embora a presença dos complexos de Al seja mais cosmopolita e, quase sempre, ocorrem em maiores quantidades que as dos complexos de Fe (Coelho et al., 2010), os últimos qualificam um tipo de podzolização para certas condições ambientais. Se a presença de apenas um perfil com subscrito “s” entre os estudados não permite maiores inferências, os valores desprezíveis de Fe extraídos nos horizontes com hidromorfismo aponta para a ausência de Espodossolos com subscrito “s” nesses, aspecto também enfatizado por Coelho et al. (2010). Foi ainda no perfil VE (Espodossolo Ferrihumilúvico) que apareceram diferenças substanciais entre os teores de Fe e Al extraídos por ditionito, oxalato e pirofosfato e teores relativamente elevados de Si₀ dentro de cada horizonte iluvial, quando comparados com os horizontes espódicos dos outros solos. Esses dados sugerem a presença, concomitante aos complexos metal-húmus, de complexos inorgânicos, preferencialmente amorfos, pelo efeito inibidor da matéria orgânica na cristalização de óxidos (Schwertmann, 1988;

Kämpf et al., 2009). Não necessariamente esses complexos participaram de forma efetiva no processo de mobilização e translocação de metais (Sauer et al., 2007), mas se fazem presentes nos horizontes Bshx e Bsm do perfil VE.

Os atributos estudados mostraram que horizontes espódicos de solos dos Tabuleiros Costeiros podem ser quimicamente similares aos de solos sob restinga, como no caso dos perfis NC e IR, embora estes sejam diferentes na profundidade de ocorrência do horizonte espódico. O maior diferencial está na presença constante de horizontes cimentados coincidindo ou logo abaixo do horizonte espódico nos solos dos Tabuleiros Costeiros, o que implica que estes sistemas são mais fechados, têm um maior tempo de residência da água da chuva e, conseqüentemente, apresentam um maior risco de anoxia às plantas mais sensíveis. A presença deste horizonte no perfil NC (topo de Tabuleiro Costeiro) foi percebida no campo, mas as condições de excesso de água não permitiram a coleta de amostras, que morfologicamente aparentavam possuir caráter dúrico (cimentação forte).

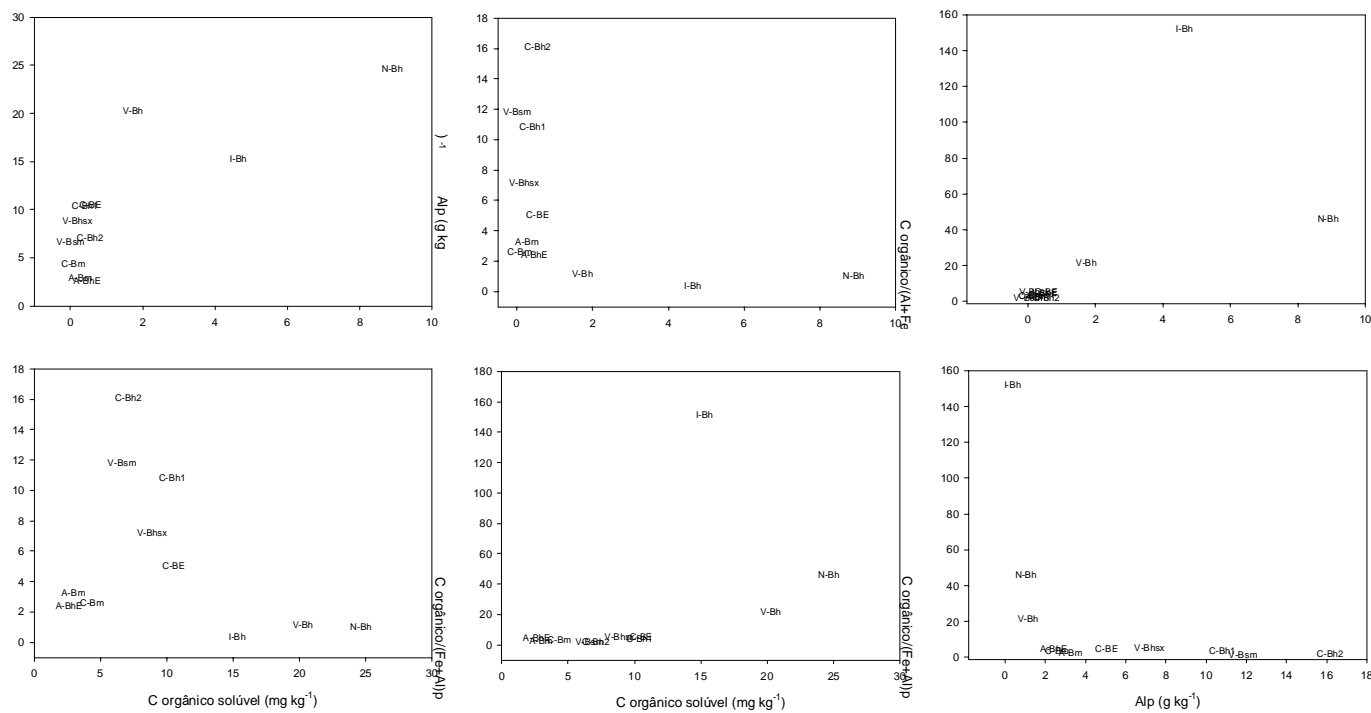


Figura 6 Dispersão de pontos entre as relações ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF) e C orgânico total/(Fe+Al) extraídos por pirofosfato de sódio [$CO/(Fe+Al)_p$] de amostras dos horizontes iluviais e C estudados. Códigos: Primeira parte da legenda representa o perfil do solo – C = Coruripe floresta (CF), N = Neópolis coco (NC), A = Acajutiba eucalipto (AE), V = Nova Viçosa eucalipto (VE) e I = Itaporanga D’Ajuda restinga (IR). Segunda parte representa o horizonte genético do solo.

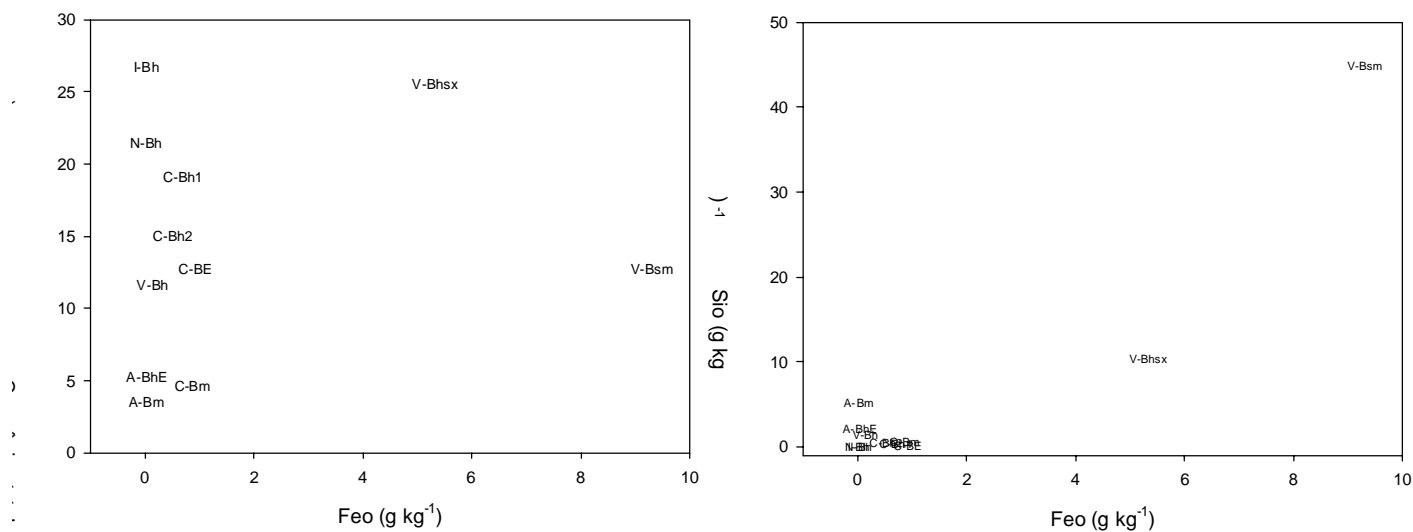


Figura 7 Dispersão de pontos entre Fe extraído por oxalato ácido de amônio (Fe_o) e C orgânico total do solo (COT) e Si extraído por oxalato ácido de amônio (Si_o) de amostras dos horizontes iluviais e C estudados. Códigos: Primeira parte da legenda representa o perfil do solo – C = Coruripe floresta (CF), N = Neópolis coco (NC), A = Acajutiba eucalipto (AE), V = Nova Viçosa eucalipto (VE) e I = Itaporanga D’Ajuda restinga (IR). Segunda parte da legenda representa o horizonte genético do solo.

CONCLUSÕES

O aumento dos teores de C orgânico e de Fe e Al pelos diferentes extratores nos horizontes iluviais de cada solo, relativamente aos horizontes eluviais, refletem a morfologia de campo e reforçam a importância do processo de podzolização nos solos estudados, que é apenas incipiente no perfil AE, um Neossolo Quartzarênico espódico.

Complexos Al-húmus dominam inteiramente a matriz dos horizontes iluviais com hidromorfismo dos perfis NC e IR. Estes são basicamente isentos de formas extraíveis de Fe e apresentam relações AH/AF e C orgânico/(Fe+Al)_p muito maiores que os horizontes iluviais dos outros solos estudados (sem hidromorfismo associados aos horizontes iluviais).

Os solos sem hidromorfismo associados aos horizontes iluviais variam quanto a influência das diferentes formas de Fe. O perfil VE (Espodossolo Ferrihumilúvico) é o único, dos cinco estudados, que possui horizontes espódicos com subscrito “s” e, portanto, onde os teores de Fe extraídos fizeram a diferença na morfologia.

Os Espodossolos dos perfis NC, em topo de Tabuleiro Costeiro, e IR, em área de restinga, revelaram comportamento semelhante quanto aos atributos analisados, indicando que a unidade de paisagem deve influenciar, mas não é decisiva para a variante do processo de podzolização em curso num determinado ambiente.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO FILHO, J.C. Horizontes cimentados em Argissolos e Espodosolos dos Tabuleiros Costeiros e em Neossolos Regolíticos e Planossolos da Depressão Sertaneja no Nordeste do Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2003. 223p. (Tese de Doutorado).
- BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E.S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001.
- BENITES, V.M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16).
- BERGELIN, A.; HEES, P. A. W. van; WAHLBERG, O.; LUNDSTRÖM, U. The acid-base properties of high and low molecular weight organic acids in soil solutions of podzolic soils. Geoderma, 94: 223-235, 2000.
- BONIFACIO, E.; SANTONI, S.; CELI, L.; ZANINI, E. Spodosol-Histosol evolution in the Krkonose National Park (CZ). Geoderma, 131: 237-250, 2006.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. Soil genesis and classification. Ames, Iowa States University Press, 1980. 2 ed. 404p.
- BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolization and soil organic matter dynamics. Geoderma, 125: 71-83, 2005.
- BUURMAN, P.; van REEUWIJK, L. P. Proto-imogolite and the process of podzol formation: a critical note. J. Soil Sci., 35: 447-452, 1984.
- COELHO, M. R. Caracterização e gênese de Espodosolos da Planície Costeira do Estado de São Paulo. São Paulo, USP, 2008. 270p. (Tese de Doutorado).
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X. L. O.; MARTINS, V. M.; VÁZQUEZ, F. M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 34: 1951-1964, 2010.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. R. Bras. Ci. Solo, 32:297-313, 2008.
- DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. Geoderma, 24: 101-128, 1980.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FARMER, V.C. Significance of the presence of allophane and imogolite in Podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: a review. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 28:571-578, 1982.
- FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; SMITH, B.F.L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a Podzol Bs horizon. *J. Soil Sci.*, 34:571-576, 1983a.
- FARMER, V. C.; SKJEMSTAD, J.O.; THOMPSON, C. H. Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus podzols. *Nature*, 304:342-344, 1983b.
- GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. II. Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1921-1932, 1998.
- GOMES, J.B.V.; BOLFE E. L.; CURTI, N.; FONTES, H. R.; BARRETO, A.C.; VIANA, R. D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:2471-2482, 2008.
- GOMES, J. B. V.; BARRETO, A. C.; MICHEREFF F., M.; VIDAL, W. C. L.; COSTA, J. L. da S.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. de; CURTI, N. Relações entre atributos do solo e atividade de formigas em restingas. *R. Bras. Ci. Solo*, 34: 67-78, 2010.
- GOMES, F. H.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F.; GHERARDI, B. & PEREZ, X. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I - Caracterização e classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1563-1580, 2007.
- HEES, P.A.W. van LUNDSTRÖM, U.; STARR, M.; GIESLER, R. Factors influencing aluminium concentrations in soil solution from Podzols. *Geoderma*, 94: 289-310, 2000.
- HIGASHI, T.; DE CONINCK, F.; GELAUDE, F. Characterization of some spodic horizons of the Campine (Belgium) with dithionite-citrate, phyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. *Geoderma*, 25: 131-142, 1981.
- HOLZHEY, C.S.; DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. Thick Bh horizons in the North Carolina Coastal Plain: II. physical and chemical properties and rates of organic additions from surface sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39: 1182-1187, 1975.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Advanced course. 2 ed. Madison, 1974. 895p.
- JANSEN, B.; NIEROP, K. G. J.; VERSTRATEN, J. M. Mechanisms controlling the mobility of dissolved organic matter, aluminium and iron in podzol B horizons. *Eur. J. Soil Sci.*, 56: 537-550, 2005.
- KÄMPH, N.; CURTI, N. MARQUES, J.J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. *Química e Mineralogia do Solo*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 2009 p. 573-610.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, M.M.; SOUZA-JUNIOR, V.S.; ARAUJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e

- micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolo e Argissolo dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 34:473-486, 2010.
- LUNDSTRÖM, U. S. The role of organic in the soil solution chemistry of a podzolized soil. J. Soil Sci., 44:121-133, 1993.
- LUNDSTRÖM, U. S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D. C. The podzolization process. A review. Geoderma, 94:91-107, 2000a.
- LUNDSTRÖM, U. S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D.C.; HEES, P.A.W. van; GIESLER, R.; GUSTAFSSON, J.P.; ILVESNIEMI, H.; KARLTUN, E.; MELKERUD, P.A.; OLSSON, M.; RIISE, G.; WAHLBERG, O.; BERGELIN, A.; BISHOP, K.; FINLAY, R.; JONGMANS, A.G.; MAGNUSSON, T.; MANNERKOSKI, H.; NORDGREN, A.; NYBERG, L.; STARR, M.; STRAND, L.T. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. Geoderma, 94:335-353, 2000b.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays clay Miner., 7:317-327, 1960.
- MOKMA, L.; BUURMAN, P. Podzols and podzolization in temperate regions. Wageningen: International Soil Museum, 1982. 126p. (ISM monograph, 1).
- MOORE, T. R. Dynamics of dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand. 1. Maimai. Water Res. Res., 25: 1321-1330, 1989.
- MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES, F. H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 30:1021-1030, 2006.
- MOURA F., G. Caracterização e uso de solos arenosos associados a fôz do rio São Francisco, no litoral sul de Alagoas. Viçosa: UFV, 1998. 169p. (Tese de Doutorado).
- OLIVEIRA, A.P.; KER, J.C.; SILVA, I.R.; FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, A. P.; NEVES, A.T.G. Spodosols pedogenesis under Barreiras Formation and Sandbank environments in the south of Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 34:847-860, 2010.
- RHOADES, J. D. Soluble salts. In: PAGE, A.L., ed. Methods of soil analysis. 2.ed., Madison, ASA, SSSA, 1982. p.167-179. (Agronomy Monograph, 9).
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. rev. ampl. Viçosa: SBCS, 2005. 100p.
- SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article podzol: soil of the year 2007. A review on its genesis, occurrence, and functions. Journal Plant Nutr. Soil Sci., 170: 581-597, 2007.

- SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: Stuki, J.W.; Goodman, B.A.; Schwertmann, U., eds. Iron in soils and clay minerals. Dordrecht, Reidel, 1988. p.267-308.
- SHOJI, S. & FUJIWARA, Y. Active aluminium and iron in the humus horizons of Andosols from northeastern Japan: their forms, properties, and significance in clay weathering. *Soil Sci.*, 137: 216-226, 1984.
- SHOJI, S.; FUJIWARA, YAMADA, I.; SAIGUSA, M. Chemistry and clay mineralogy of Andosols, Brown forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. *Soil Sci.*, 133: 69-86, 1982.
- SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, A. B.; ARAÚJO F., J. C.; LEITE, A. P. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. v.2. Petrolina, Embrapa-CPATSA e Embrapa-CNPS, 1993. 387p.
- SKJEMSTAD, J.O. Genesis of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. III. The role of aluminium-organic complexes in profile development. *Austr. J. Soil Res.*, 30: 645-665, 1992.
- SKJEMSTAD, J.O.; FITZPATRICK, R.W.; ZARCINAS, B.A.; THOMPSON, C.H. Genesis of Podzols on coastal dunes in Southern Queensland. II.(Part I) Geochemistry and forms of elements as deduced from various soil extraction procedures. *Austr. J. Soil Res.*, 30: 593-613, 1992a.
- SKJEMSTAD, J.O.; WATERS, A.G.; HANNA, J.V.; OADES, J.M. Genesis of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. IV. Nature of the organic fraction as seen by ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Austr. J. Soil Res.*, 30: 667-681, 1992b.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition and reactions. New York, Wiley, 1982. 443p.
- TAKAHASHI, T.; FUKUOKA, T.; DAHLGREN, R. A. Aluminum solubility and release rates from soil horizons dominated by aluminum-humus complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 41: 119-131, 1995.
- THIBAUT, D.H.; SHEPPARD, M.I. A disposable system for soil pore-water extraction by centrifugation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 23:1629-1641, 1992.
- UFLA/UFV. Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S.A. nos estados do Espírito Santo, Bahia e Minas Gerais, e sua interpretação para o cultivo do eucalipto e para o ambiente em geral. Aracruz, ARCEL, 2004. CD-ROM.
- WANG, C. Extractable Al, Fe and Mn (and Si if desired). In: McKEAGUE, J.A., ed. Manual on soil sampling and methods of analysis. 2.ed. Canadian Society of Soil Science, 1978. p.98-108.

APÊNDICE

Descrição geral e morfologia dos perfis

Perfil N°: CF

Data de coleta: 18/09/2007

Classificação: Espodossolo Humilúvico Órtico dúrico

Localização: Fazenda Progresso Coruripe. Coordenadas em UTM: 808.151 mN e 8.887.282 mE (24L).

Situação e declive: Topo de tabuleiro costeiro em suave depressão.

Cronologia e litologia: Sedimentos areno-argilosos de idade Terciária.

Pedregosidade e rochosidade: Ausente.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano a suave ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Imperfeitamente drenado.

Vegetação: Floresta tropical subperenifólia.

Uso à época: Mata nativa, uma faixa estreita entre talhões de cana-de-açúcar.

Descrição: José Coelho de Araújo Filho, João Bosco V. Gomes e Marcos (braçal).

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
O	-5 - 0	transição abrupta e plana
A	0 - 8	bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2) e cinzento-escuro (10YR 4/1) úmido, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2) e bruno-acinzentado (10YR 5/2) seco; areia; grãos simples com partes pequena e média fraca e moderada granular; solta, não plástica, não pegajosa; transição clara e plana
E	8 - 50	bruno-acinzentado-escuro a bruno (10YR 4/2,5) úmido, bruno (10YR 5/3); areia; grãos simples; solta e muito friável, não plástica, não pegajosa; transição clara e plana
BE	50 - 63	bruno-escuro a bruno-amarelado-escuro (10YR 3/3,5) úmido, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4) seco; areia; grãos simples, fraca pequena e média blocos subangulares; muito friável, não plástica, não pegajosa; transição gradual e plana
Bh1	63 - 85	bruno-acinzentado-muito escuro a bruno-escuro (10YR 3/2,5) úmido, bruno-escuro a bruno-amarelado-escuro (10YR 3,5/4); areia; grãos simples, fraca pequena e média blocos subangulares; muito friável, não plástica, não pegajosa; transição gradual e plana
Bh2	85 - 95	bruno-muito-escuro (10YR 3/2) úmido, bruno-escuro (10YR 3/3) seco; areia franca (?); grãos simples, fraca pequena e média blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição abrupta e plana
Bm	95 - 140+	bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3) seco; maciça; extremamente firme
Raízes		Muitas muito finas e raras finas no horizonte O; comuns muito finas e poucas finas e grossas no horizonte A; raras muito finas e finas no horizonte E; raras muito finas e finas e poucas médias nos horizontes BE, Bh1 e Bh2; raras finas e médias no horizonte Bm.

Observações:

- 1) Teste de imersão em água de horizonte cimentado realizado entre 7:50h e 12:00h (4 horas e 10 minutos). O material se manteve estável em água, permanecendo a consistência extremamente dura. Para alguns pedaços mais cumpridos foi possível quebrar o torrão com as mãos. Conclui-se que a cimentação é forte (caráter dórico).
- 2) Algumas raízes aparecem no meio do horizonte cimentado, aproveitando pontos de fraqueza do mesmo.
- 3) Perfil descrito ligeiramente úmido, porém sem estar com excesso de água (que seria possível pelo período do ano, a presença do horizonte cimentado e a

posição abaciada na paisagem. Ou seja, embora estivesse no final do período chuvoso, a depressão não apresenta lençol freático suspenso).

4) Os locais em que aparecem raízes no horizonte cimentado estão escurecidos com matéria orgânica.

5) O horizonte Bm apresenta uma fina lâmina ferruginosa (de 2 - 4 mm) aproximadamente paralela à superfície e de formato irregular.

6) A transição entre os horizontes é, de forma geral, levemente sinuosa, mas não chega a ser ondulada, principalmente entre os horizontes Bh2 e Bm.

7) O horizonte O é constituído de folhas, raízes e um pouco de terra fina (areia). As folhas na parte superficial do horizonte ainda apresentam-se pouco decompostas. As folhas na parte inferior do horizonte estão mais decompostas e misturadas com raízes.

8) Foram coletados para micromorfologia 3 volumes (entre os horizontes BE e Bh1, entre os horizontes Bh1 e Bh2 e no horizonte Bm). O volume do horizonte Bm apresenta ao seu centro faixa com lamina ferruginosa.

9) Coletado material para Ds nos horizontes E, BE, Bh1 e Bh2 com anel de Kopec (2 anéis por saco) e no horizonte Bm foram coletados torrões (6 ao todo).

Perfil: NC

Data de coleta: 26/11/2007

Classificação: Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico

Localização: Fazenda Âncora, Platô de Neópolis. Coordenadas em UTM: 754.774 m N e 8.856.232 m E (24L). Precisão $\pm 10,4$ m.

Situação e declive: Topo de tabuleiro abaciado, com 0% de declive.

Altitude: 120 m (GPS)

Cronologia e litologia: Terciário, Barreiras (sedimento areno-quartzoso).

Pedregosidade e rochosidade: Ausentes

Relevo local: Plano

Relevo regional: Plano à suave ondulado

Erosão: Não aparente

Drenagem: Imperfeitamente drenado

Vegetação: Transição cerrado-floresta

Uso à época: Cultura de coqueiro com aproximadamente 10 anos (trincheira na entre-linha)

Descrição: João Bosco V. Gomes e Érica (braçais Manoel e João Batista)

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
Ap	0 - 25	Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2); areia; grãos simples; solta, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
E	25 - 150	Cinzentado-claro (10YR 7/2); areia; grãos simples; solta, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e plana.
Bh	150 - 170	Preto (10YR 2/1); areia franca; maciça; firme.
Bhx	170+	
Raízes		Muitas finas, médias e grossas no horizonte Ap, poucas médias e grossas no horizonte E e ausentes no horizonte Bh.

Observações:

- 1) Trincheira desbarrancou em função do material muito solto e da água do lençol freático suspenso ($\cong 1,3$ m) sob horizonte Bhx.
- 2) Raízes do horizonte E se concentram no seu terço superior.
- 3) Abaixo de 170 cm ficou impossível coletar amostras de solo (deformada ou indeformada), pois as paredes laterais simplesmente desmoronavam para o local da coleta.
- 4) Considerando que o período chuvoso já vai longe (temos pelo menos uns 50 dias sem chuva de forma sistemática), impressiona que a área ainda esteja com tanta água em subsuperfície. Sinal que o horizonte cimentado é basicamente contínuo.
- 5) A presença do horizonte Bhx foi inferida pela dureza do material abaixo do horizonte Bh (tradagem). A consistência do solo úmida foi inferida para o horizonte Bhx, pois o solo estava encharcado. A transição dos horizontes Bh e

Bhx parece ser difusa, sendo que o Bh está amaciado pela presença do lençol freático suspenso.

6) Por observações feitas na mesma paisagem, em locais onde o horizonte pã está exposto, é provável que abaixo do horizonte Bhx apareça outro horizonte cimentado do tipo Bm, de cores claras.

7) Raízes descritas são, em boa parte, de coqueiro.

Perfil: AE

Data de coleta: 26/02/07

Classificação: Neossolo Quartzarênico Órtico dúrico, espódico

Localização: Talhão 3, Lagoa do Bú, estrada Esplanada-Conde, distando aproximadamente 4 km da BR-101, entrada à direita. Coordenadas em UTM: 8.697.590 m N e 619.197 m E (24L) Precisão ± 22 m.

Situação e declive: Abaciado em encosta superior, com aproximadamente 1% de declividade.

Altitude: 134 m (GPS)

Cronologia e litologia: Barreiras, sedimentos arenosos do Terciário

Pedregosidade e rochosidade: Ausente

Relevo local: Plano

Relevo regional: Plano à suave ondulado

Erosão: Não aparente

Drenagem: Moderadamente a imperfeitamente drenado.

Vegetação: Floresta tropical subperenifólia

Uso à época: Eucalipto com 2-4 anos, trincheira na entre-linha

Descrição: José Coelho de Araújo Filho e João Bosco V. Gomes (colaboração de Aline, Chico e Manoel)

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
Ap	0-18	bruno (10YR 5/3); areia; grãos simples; solta, não plástica, não pegajosa; transição plana e gradual
EA1	18-60	bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3); areia; grãos simples; solta, não plástica, não pegajosa; transição plana e gradual
EA2	60-115 (108-125)	bruno (10YR 5/3); areia-franca; grãos simples; muito friável, não plástica, não pegajosa; transição ondulada e gradual
E	115 (108-125) – 150	cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2); areia franca; grãos simples; muito friável, não plástica, não pegajosa; transição clara e plana
BhE	150-180	bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); areia franca; maciça; muito friável, não plástica, não pegajosa; transição abrupta e plana
Bm	180-200+	cinzento-claro (10YR 7/2); areia franca; maciça; extremamente firme, não plástica, não pegajosa
Raízes		Comuns finas e raras médias no horizonte Ap; raras finas e médias no horizonte EA; raras finas nos horizontes E1, E2, Bh e Bmx

Observações:

- 1) Solo descrito úmido.
- 2) Horizontes EA1 e EA2 com mosqueado pouco médio e difuso 10YR 7/3 (bruno muito claro-acinzentado), o que corresponde as áreas lavadas.
- 3) Horizonte Bm com mosqueado comum, médio a grande e difuso 10YR 5/4 (bruno-amarelado). Ocorrência de bolsões isolados (materiais mais fortemente cimentados) com cores 7,5YR 4/6 (bruno-forte). Esses materiais ocorrem de forma generalizada nas outras paredes da trincheira, que não a usada para a descrição, reforçando o caráter cimentado do perfil.
- 4) Topo do horizonte Bm (cimentado) com penetrações dos horizontes sobrejacentes, denotando uma desestabilização da cimentação (?).
- 5) O horizonte BhE não é um espódico típico em termos de cor (valor alto). Teor de C orgânico é apenas razoável (= 0,52%). O SiBCS deixa a decisão em aberto.
- 6) Material do horizonte Bm após 8 horas de imersão em água, apenas 3% do material estava esborroado. Após 4 dias de imersão em HCl 1 mol L⁻¹, 22,5% do material estava esborroado. Teste definiu caráter dúrico.

7) O horizonte Bm, ao ser aprofundado, fica com predominância da cor 7,5YR 4/6 (bruno-forte).

8) Pelo SiBCS, a cimentação está fora de posição diagnóstica, o que é um absurdo.

Perfil: VE

Data de coleta: 28/02/2007

Classificação: Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico dúrico, fragipânico

Localização: Área da Arcel, AI 616, talhão 2, Nova Viçosa, BA.. Coordenadas em UTM: 8.025.568 m N e 428.514 m E (24K) Precisão ± 15 m.

Situação e declive: Área abaciada e plana

Altitude: 184,9 m (GPS)

Cronologia e litologia: Barreiras, sedimentos arenosos do Terciário

Pedregosidade e rochosidade: Ausente

Relevo local: Plano

Relevo regional: Plano

Erosão: Não aparente

Drenagem: Moderadamente a imperfeitamente drenado

Vegetação: Floresta tropical perenifólia a subperenifólia

Uso à época: Eucalipto com 6 anos

Descrição: José Coelho de Araújo Filho e João Bosco V. Gomes (colaboração de Silvio e Sebastião)

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
Ap	0 – 20	bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica, não pegajosa; transição clara e plana
E	20 - 48	cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica, não pegajosa; transição clara e plana
Bh	48 – 57 (54 – 60)	bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); areia; grãos simples e fraca pequena a média blocos subangulares; muito friável, não pegajosa, não plástica; transição abrupta e ondulada
Bhsx	57 (54 – 60) – 87 (80 -95)	bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); maciça; extremamente firme; transição abrupta e ondulada
Bsm	87 (80 -95) - 125	coloração variegada, amarelo (2,5Y 7/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido), amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmido); fraca grande a muito grande laminar com partes maciça; extremamente firme; clara e plana
C	125-180+	amarelo (10YR 7/6, úmido); maciça; muito firme
Raízes		Muitas finas, comuns médias, poucas grossas no horizonte Ap; raras finas nos horizontes E, Bh, Bhsx e Bsmx; raras finas e médias no horizonte C.

Observações:

- 1) Solo descrito úmido.
- 2) Transição do horizonte Bh para o subsequente, além de ondulada, é irregular, chegando a formar uma língua de aproximadamente 20 cm.
- 3) Horizonte Bh tem graduação de cores (claras e escuras). É quase um horizonte BhE.
- 4) Horizonte Bhsx também apresenta graduação de cores. O topo é mais escuro (7,5YR 3/2, bruno-escuro) e mais consolidado, chegando na base com cores mais claras e consistência mais branda.
- 5) Horizonte Bhsx com partes (pedaços) claras, do tipo de um horizonte Bm, sendo os pedaços de tamanho variado (média de 6 cm).
- 6) Horizonte Bsm apresenta outras cores mais acinzentadas ou avermelhadas mais escuras do que as descritas.
- 7) Horizonte C com mosqueado comum, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/6) e comum, grande e difuso cinzento-claro (10YR 7/2).

- 8) Considere-se a hipótese do perfil ser poligenético, com os horizontes Bhsx e Bsm tendo sido formados em períodos diferentes.
- 9) Amostras para Ds com anel de Kopec nos horizontes Ap, E e Bh.
- 10) Amostra de torrão para Ds do horizonte Bhsx.
- 11) Amostras para micromorfologia do horizonte Bhsx (retirado um torrão em forma de paralelepípedo).
- 12) Materiais dos horizontes Bhsx e Bsm após 8 horas de imersão em água, com apenas 7% e 3% de material esborroado, respectivamente. Após 4 dias de imersão em HCl 1 mol L⁻¹, 100% e 12,5% dos horizontes Bhsx e Bsm, respectivamente, estavam esborroados. Considerou-se caráter fragipânico no Bhsx e caráter dúrico no horizonte Bsm.