

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

ATRIBUTOS QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E MICROMORFOLÓGICOS DE HORIZONTES COESOS DE LATOSSOLOS E ARGISSOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DE ALAGOAS⁽¹⁾

José de Almeida Lima Neto⁽²⁾, Mateus Rosas Ribeiro⁽³⁾, Marcelo Metri Corrêa⁽⁴⁾, Valdomiro Severino de Souza-Júnior⁽⁵⁾, José Coelho de Araújo Filho⁽⁶⁾ & José Fernando W.F. Lima⁽⁷⁾

RESUMO

O caráter coeso é um atributo característico de horizontes subsuperficiais que, quando secos, apresentam consistência muito dura e extremamente dura, passando a friável ou firme quando úmidos. A formação desses horizontes, entretanto, ainda é um assunto polêmico, não estando completamente esclarecida. O objetivo deste trabalho foi realizar uma caracterização química, mineralógica e micromorfológica de solos coesos, visando entender a sua gênese e definir características que possam complementar a definição do caráter coeso no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Quatro perfis de solos foram coletados na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas, envolvendo um Argissolo Amarelo, um Argissolo Acinzentado e dois Latossolos Amarelos. Os solos foram descritos morfológicamente, e as amostras dos horizontes coesos e não coesos foram coletadas para execução de análises químicas de Fe, Al e Si por extração com DCB, oxalato, CaCl₂ e água quente, análises mineralógicas por DRX e caracterização micromorfológica. Os solos apresentaram baixos teores de Fe, com domínio das formas de baixa cristalinidade e predominância de caulinitas com moderado a alto

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência de Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Projeto financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em abril de 2009 e aprovado em janeiro de 2010.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Av. Farquar 3305, Bairro Pedrinhas, CEP 7890-460 Porto Velho (RO). E-mail: jdealmeida22@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Agronomia, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. Bom Pastor s/n, Boa Vista, CEP 55296-901 Garanhuns (PE). Bolsista do CNPq. E-mail: mateus.rosas@pq.cnpq.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Garanhuns, UFRPE. E-mail: marcelometri@yahoo.com

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Agronomia, UFRPE. E-mail: vsouzajr@yahoo.com

⁽⁶⁾ 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

⁽⁷⁾ Engenheiro-Agrônomo do Departamento de Agronomia, UFRPE. E-mail: zecasolos@yahoo.com.br

grau de desordem estrutural em todos os horizontes. Não foi observada, nos horizontes coesos, tendência de aumento dos teores de Al e Si extraídos com DCB e oxalato, indicando que a sua gênese não se deve à presença de agentes cimentantes. Os resultados das análises mineralógicas e micromorfológicas sugerem que a gênese do caráter coeso apresenta duas fases distintas, sendo formado inicialmente pelo entupimento dos poros decorrente da iluviação de argila fina, havendo posteriormente uma perda de Fe na parte superior, que colapsa a estrutura e provoca um ajuste face a face da caulinita.

Termos de indexação: caráter coeso, Latossolos, Argissolos, pedogênese, Tabuleiros Costeiros.

SUMMARY: *MINERALOGY AND MICROMORPHOLOGY OF COHESIVE HORIZONS IN OXISOLS AND ULTISOLS OF THE COASTAL TABLELANDS OF ALAGOAS, BRAZIL*

The cohesive character is a property of subsurface soil horizons with hard to extremely hard consistency when dry, and friable or firm when wet. Despite the agricultural importance, the formation of these horizons has not been fully explained. The objective of this study was a chemical, mineralogical and micromorphological characterization of cohesive soils of the Coastal Tablelands in Northeast Brazil, to understand their pedogenesis and identify properties for the definition of the cohesive character by the Brazilian System of Soil Classification. The following four soil profiles were morphologically characterized: a Yellow Argisol (Ultisol), a Gray Argisol (Ultisol) and two Yellow Latosols (Oxisols). Samples from cohesive and non-cohesive horizons were taken for chemical analysis of Fe, Al and Si extracted by DCD, oxalate, CaCl_2 and hot water, mineralogy by X ray diffraction, and micromorphological characterization. The Fe contents in the soils were low and kaolinite with a moderate to high degree of structural disorder predominated in all studied soil horizons. No increase in Al and Si extracted by DCB and oxalate was observed in the cohesive horizons, indicating the absence of cementation in its genesis. Results of the mineralogical and micromorphological characterization suggest two distinct phases in the genesis of the cohesive character. The first step was determined by clay illuviation, clogging the soil pores, and later iron loss, destroying the soil structure and resulting in a direct adjustment with kaolinite particles.

Index terms: Cohesive Character, Latossolos, Argissolos, Pedogenetic Process, Coastal Tablelands.

INTRODUÇÃO

Horizontes subsuperficiais adensados, comumente denominados de coesos, têm ocorrência significativa em solos do Nordeste do Brasil, principalmente nos Tabuleiros Costeiros Terciários da Formação Barreiras. O caráter coeso foi definido como um atributo diagnóstico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) para designar um estado de coesão, sem cimentação aparente, que se manifesta quando o solo está seco e desaparece ou torna-se bem menos expressivo quando o solo está úmido.

Nesses horizontes, o adensamento é caracterizado pelo aumento da densidade do solo e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes, apresentando-se muito duros ou até extremamente

duros, quando secos, e friáveis ou firmes, quando úmidos (Ribeiro, 1996; Jacomine, 2001). Nesses solos, essas características impõem dificuldades ao crescimento das raízes e à emergência das plântulas, restringem a movimentação da água e do ar e facilitam o surgimento de uma zona saturada, que limita a respiração radicular e altera a produtividade das culturas (Souza et al., 2008; Paiva et al., 2000).

Essa coesão é de origem pedogenética, sendo comum em horizontes subsuperficiais de Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados dos baixos platôs costeiros brasileiros, ocorrendo, em geral, na transição entre os horizontes A e B, podendo ocupar boa parte deste último (Fonseca, 1986).

Silva & Ribeiro (1998) afirmaram que as camadas endurecidas observadas em Latossolos Amarelos dos tabuleiros costeiros do Espírito Santo devem-se ao

acúmulo de partículas de argila oriundas dos horizontes superiores, as quais preencheriam poros (macro e microporos), aumentando a densidade do solo e tornando o horizonte muito coeso e adensado. Essa suposição foi posteriormente confirmada pelos estudos micromorfológicos desenvolvidos por Corrêa et al. (2008a).

Os baixos teores de óxidos de Fe (goethita) e de Al (gibbsita) e a presença de ciclos de umedecimento e secagem, tanto nos LA como nos PA, favorecem os ajustes face a face da caulinita, argilomineral predominante nesses solos, sendo esse processo o principal responsável pelo endurecimento (coesão) do solo quando seco (Resende, 1982; Moreau et al., 2006b).

Anjos (1985) sugeriu que os horizontes adensados dos horizontes AB e, ou, BA de LA e PA, de tabuleiros costeiros do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia, são herança do próprio sedimento que os originou. A razão do endurecimento seria a compressão causada pela camada superior.

Meiros & Ribeiro (1995) destacaram a participação decisiva de ácidos fúlvicos na degradação da estabilidade estrutural e, por consequência, nas propriedades hídricas do solo. Isso conduziria à presença de lençol de água suspenso, dando condições para atuação de reações, como ferrólise, que poderiam dar início à degradação do plasma argiloso, liberando Al, Fe e, principalmente, sílica amorfa – todos eles contribuindo de alguma forma na geração da camada coesa dos LA e PA do Recôncavo Baiano.

Recentemente, Corrêa et al. (2008a) sugeriram que a gênese de horizontes coesos deve-se ao maior conteúdo de argila muito fina (< 0,2 µm), translocada entre os horizontes ou dentro do mesmo horizonte na forma de argila dispersa. Já Moreau (2006a) obteve as mesmas conclusões apresentadas por Corrêa et al. (2008a) para explicar a formação de horizontes coesos de Argissolos, localizados em platôs mais amplos e menos dissecados, não dando ênfase ao tamanho da argila.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou caracterizar e avaliar os possíveis mecanismos de formação de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, buscando entender sua gênese.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na zona do Litoral e Mata do Estado de Alagoas, na mesorregião Leste Alagoano (Mendes Júnior, 2002), sendo as coletas realizadas na usina Coruripe, município de Coruripe (PA, perfil 1), na usina Caeté, município de São Miguel dos Campos (LA1, perfil 2), na usina Marituba, município de Penedo (PAC, perfil 3), e na usina Cachoeira, município de Maceió (LA2, perfil 4) (Figura 1).

A área de coleta dos solos apresenta clima As', tropical chuvoso com verão seco, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluvial média anual nos municípios onde os solos foram coletados é de 1.400 mm em Coruripe, 1.650 mm em Penedo e São Miguel dos Campos e 1.850 mm em Maceió. A temperatura média anual da região está em torno de 25,5 °C. O relevo da região é predominantemente plano na superfície dos tabuleiros, que são entalhados por vales profundos. A vegetação primária da região é a floresta subperenifólia (Embrapa, 1975). Atualmente, grande parte da área é coberta pelo cultivo da cana-de-açúcar, e a vegetação primária concentra-se nas pequenas áreas restritas a encostas e pequenas áreas de preservação nos topos dos tabuleiros.

Foram descritos e coletados, conforme Santos et al. (2005), quatro perfis de solos com expressiva manifestação do caráter coeso: um Argissolo Amarelo distrocoeso fragipânico (PA, perfil 1), um Latossolo Amarelo distrocoeso típico (LA1, perfil 2), um Argissolo Acinzentado distrocoeso fragipânico (PAC, perfil 3) e um Latossolo Amarelo distrocoeso típico (LA2, perfil 4).

Os perfis PA e LA1 foram coletados sob vegetação nativa, e os perfis PAC e LA2, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A coleta foi realizada por horizontes e as amostras foram submetidas a análises químicas e mineralógicas e à caracterização micromorfológica. Visando dar mais detalhe às propriedades relacionadas com o caráter coeso, as amostras para as determinações de Fe, Al e Si foram coletadas de 10 em 10 cm, a partir do horizonte que

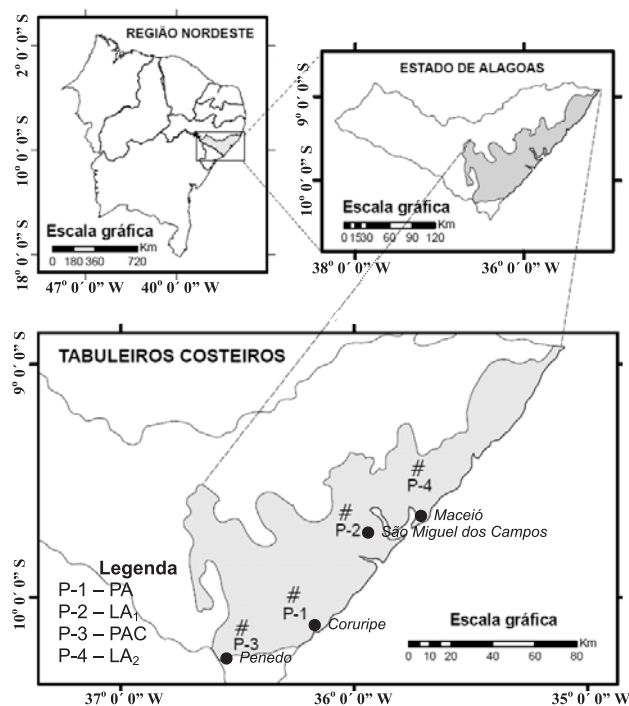


Figura 1. Localização dos perfis dos solos estudados.

precede os horizontes definidos morfológicamente como coesos, até o fim do horizonte subjacente aos coesos, exceto quando o horizonte coeso transitava de forma abrupta para um horizonte fragipã (Argissolos).

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, segundo procedimentos constantes em Embrapa (1997). Os elementos Al e Fe foram determinados em extratos de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960), e Si, Al e Fe, em extratos de oxalato ácido de amônio (McKeague & Day, 1966). A sílica também foi determinada por extração com cloreto de cálcio (Raij & Camargo, 1973) e com água quente (Jackson, 1969). O Fe também foi determinado após digestão sulfúrica (Embrapa, 1997).

A substituição isomórfica foi determinada por meio de relação molar dos conteúdos de Fe e Al determinado por DCB [$Al_d/(Al_d + Fe_d)$], descontados os respectivos conteúdos determinados por oxalato.

Quanto aos estudos mineralógicos, as amostras de solos foram submetidas a tratamentos para eliminação da matéria orgânica; posteriormente, a fração argila foi obtida após separação por peneiramento úmido, sendo o silte e a argila separados entre si por decantação (Jackson, 1969).

Os minerais da fração argila (sem tratamento e desferrificada) e dos concentrados de óxidos de Fe foram identificados por difratometria de raios X (DRX), utilizando-se uma radiação com tubo de Cu, velocidade de 20 min^{-1} e monocromador de grafite. As amostras foram previamente trituradas em almofariz de ágata. O conjunto foi montado em suporte de Al, após pressão suave da amostra sobre o papel não liso, de forma que minimizasse a orientação preferencial das partículas.

Os concentrados de óxidos de Fe foram obtidos por dissolução seletiva dos materiais silicatados em solução de NaOH 5 mol L^{-1} , de acordo com Kämpf & Schwertmann (1982). Para remover a sodalita formada [$Na_4Al_3Si_3O_{12}(OH)$], foram efetuadas duas lavagens do resíduo com 90 mL de HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, com tempo de contato de 10 min para cada lavagem.

A desordem estrutural da caulinita foi determinada por DRX em amostras em pó de argila desferrificada, montadas em suporte de Al após pressão suave do material sobre papel rugoso, de modo a minimizar a orientação preferencial das partículas. Foram promovidas irradiações de 5 a $45^\circ 2\theta$. O método utilizado para determinação do grau de desordem foi o de Hughes & Brown (1979).

Amostras indeformadas foram coletadas em caixas de Kubiena, secas em estufa com circulação forçada de ar a 35°C e impregnadas com resina de poliéster, para caracterização micromorfológica. Os cortes e a confecção das lâminas delgadas foram realizados no Laboratório de Micromorfologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. As feições micropedológicas foram analisadas de acordo com Bullock et al. (1985) e Fitzpatrick (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fe, Al e Si extraídos por DCB, oxalato, água quente e $CaCl_2$

De modo geral, os solos apresentaram baixos teores de Fe extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_d ; Quadro 1), devido aos baixos teores desse elemento no material de origem. Mesmo considerando o somatório de todas as extrações pelo DCB, são baixos os teores de óxidos de Fe nos solos estudados, sendo os maiores valores encontrados nos horizontes com fragipã. Segundo Corrêa et al. (2008a), os baixos teores de Fe sugerem tanto a pobreza desse elemento no material de origem, quanto um possível processo de desferrificação, promovido pelas condições climáticas (quente e úmida) e pedoclimáticas reinantes. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreau et al. (2006b).

Entre os perfis estudados, o PAC foi o que apresentou menores conteúdos de Fe_d (Quadro 1), sendo reflexo de sua pior condição de drenagem. No geral, os teores de Fe_d foram superiores aos de Fe_o , com exceção do perfil PAC. Não foi identificada uma variação expressiva do Fe cristalino nos horizontes coesos em relação aos não coesos. Por outro lado, os teores de Fe_o foram ligeiramente superiores nos horizontes coesos e nos fragipãs (Quadro 1).

De maneira geral, os valores da relação Fe_o/Fe_d sugerem predomínio de formas de Fe de pior cristalinidade em todos os perfis (Quadro 1). Provavelmente, a deficiência de aeração conferida pela presença de horizontes coesos e, ou, fragipãs favorece a redução do Fe, incrementando as formas menos cristalinas (Resende, 1976; Curi & Franzmeier, 1984; Filizola et al., 2001). Seus valores foram ligeiramente superiores nos horizontes com caráter coeso e fragipãs. No caso dos coesos, um processo de desferrificação poderia contribuir para um colapso da estrutura e adensamento dos horizontes. A maior relação Fe_o/Fe_d na superfície indica influência da matéria orgânica na inibição da cristalização dos óxidos de Fe (Schwertmann, 1966). Essa relação foi maior na superfície dos perfis sob mata, em relação aos cultivados com cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2008a) e Moreau et al. (2006a) para Argissolos e Latossolos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia.

Em todos os perfis estudados, os valores do Al_o foram maiores que os do Al_d (Quadro 1). Os teores de Al_d e Al_o são maiores nos horizontes fragipãs dos perfis PA e PAC. Esses resultados sugerem participação de formas de Al extraíveis por oxalato na gênese desses horizontes, corroborando as discussões de outros trabalhos (Anderson & White, 1958; Nettleton et al., 1968; Duncan & Franzmeier, 1999; Araújo Filho, 2003; Moreau et al., 2006b), que apresentaram resultados semelhantes. Tais autores descreveram o material cimentante nos fragipãs e horizontes dúricos

Quadro 1. Teores de Fe, Si e Al na terra fina seca ao ar (TFSA) por extrações sucessivas de ditionito-citrato-bicarbonato, extração única de oxalato de amônio, água quente e cloreto de cálcio⁽¹⁾

Hor./Cam	Extração										Si ⁽⁴⁾		
	DCB (Fe _d) ⁽²⁾		Σ	Fe _o /Fe _d	DCB (Al _d) ⁽³⁾		Σ	Al _o /Al _d	Oxalato			H ₂ O x 10 ⁻⁴	CaCl ₂ x 10 ⁻³
	1 ^a	2 ^a - 4/5 ^a			1 ^a	2 ^a - 4/5 ^a			Fe _o ⁽²⁾	Al _o ⁽³⁾	Si _o ⁽⁴⁾		
Argissolo Amarelo distrocoeso fragipânico													
cm													
A	0,4	0,1	0,5	0,38	0,3	0,1	0,5	1,82	0,2	0,8	0,2	51	40
30-40	0,9	0,1	1,0	0,48	0,6	0,1	0,7	1,63	0,5	1,2	0,3	47	40
40-50	1,2	0,4	1,6	0,48	0,7	0,2	0,9	1,81	0,8	1,7	0,4	59	41
50-60	1,7	0,5	2,2	0,45	0,7	0,3	1,0	2,22	1,0	2,2	0,5	89	43
60-70	1,7	0,5	2,2	0,57	0,7	0,4	1,1	2,42	1,2	2,7	0,6	116	47
70-80	1,7	0,6	2,4	0,53	0,8	0,4	1,2	2,58	1,2	3,2	0,6	122	48
Btx	2,7	2,3	5,0	0,46	1,9	1,7	3,6	1,68	2,3	6,0	0,7	69	38
Latossolo Amarelo distrocoeso típico													
A	1,7	0,7	2,4	0,45	1,2	0,4	1,6	1,15	1,1	1,9	0,3	88	44
18-28	2,1	0,6	2,7	0,44	1,5	0,4	1,9	1,16	1,2	2,2	0,4	78	43
28-38	2,4	0,7	3,1	0,42	1,5	0,5	2,1	1,13	1,3	2,4	0,5	85	43
38-48	2,4	0,9	3,4	0,49	1,4	0,5	2,0	1,57	1,6	3,1	0,5	85	42
48-58	2,1	0,9	3,0	0,43	1,3	0,6	1,9	1,59	1,3	3,0	0,6	77	40
58-68	2,1	0,8	2,9	0,43	1,3	0,7	2,0	1,56	1,2	3,1	0,6	78	42
68-78	1,6	0,9	2,5	0,44	1,1	0,7	1,8	1,90	1,1	3,4	0,6	86	41
78-88	1,5	0,8	2,3	0,51	1,1	0,7	1,8	1,92	1,2	3,5	0,6	85	41
88-98	1,6	0,8	2,4	0,46	1,2	0,6	1,8	1,82	1,1	3,2	0,6	82	41
Bw ₂	1,4	1,1	2,6	0,42	1,1	0,6	1,7	1,93	1,1	3,3	0,6	62	37
Bw ₃	1,4	1,1	2,6	0,43	0,9	0,6	1,6	2,04	1,1	3,2	0,6	67	38
Argissolo Acinzentado distrocoeso fragipânico													
Ap ₁	0,5	0,1	0,6	1,02	0,4	0,1	0,5	2,62	0,6	1,4	0,4	215	56
15-25	0,5	0,1	0,6	1,01	0,6	0,1	0,7	2,13	0,6	1,5	0,4	90	43
25-35	0,5	0,1	0,6	0,90	0,9	0,1	1,0	1,87	0,5	2,0	0,4	67	40
35-45	0,6	0,0	0,7	0,81	0,9	0,1	1,0	1,87	0,6	1,9	0,4	68	40
45-55	0,6	0,0	0,6	0,95	0,8	0,1	0,9	2,05	0,6	1,9	0,4	64	40
55-65	0,5	0,0	0,5	1,05	0,7	0,2	0,9	2,79	0,6	2,6	0,4	67	40
65-75	0,6	0,1	0,7	1,03	0,8	0,2	1,0	2,83	0,7	2,9	0,5	61	40
75-85	0,6	0,1	0,7	0,93	0,9	0,3	1,2	2,63	0,6	3,1	0,5	61	41
Bt/Btx ₁	2,7	2,1	2,8	1,46	2,8	2,0	4,8	1,64	4,1	7,9	0,8	57	38
Bt/Btx ₂	1,1	0,8	3,2	0,63	1,4	0,8	2,1	2,21	2,0	4,7	0,6	47	-
Latossolo Amarelo distrocoeso típico													
Ap	2,3	1,5	3,8	0,61	0,8	0,7	1,5	1,63	2,3	2,4	0,9	93	42
22-32	2,4	1,3	3,8	0,62	0,9	1,0	1,9	1,52	2,3	3,0	0,6	28	17
32-42	2,6	1,3	3,9	0,61	1,3	1,0	2,2	1,45	2,3	3,2	0,5	16	14
42-52	2,6	1,4	4,1	0,58	1,3	1,1	2,4	1,40	2,4	3,4	0,4	16	22
52-62	2,4	1,1	3,5	0,59	1,2	1,1	2,4	1,39	2,1	3,3	0,4	18	24
62-72	2,2	1,0	3,2	0,51	1,3	1,1	2,3	1,44	1,6	3,4	0,4	35	31
72-82	2,0	1,0	3,0	0,46	1,3	1,0	2,3	1,47	1,3	3,4	0,4	53	37
82-92	2,0	0,8	2,8	0,42	1,3	0,9	2,3	1,44	1,2	3,2	0,4	60	36
98-102	1,6	0,9	2,6	0,38	1,2	0,9	2,1	1,49	1,0	3,1	0,4	59	37
102-112	1,4	0,6	2,0	0,39	1,1	0,9	2,0	1,51	0,8	3,0	0,4	54	36
Bw ₃	1,3	0,5	1,8	0,27	1,0	0,8	1,8	1,56	0,5	2,9	0,4	51	34

⁽¹⁾ Os resultados em negrito correspondem aos horizontes identificados como coesos na descrição morfológica. ⁽²⁾ Valores em g kg⁻¹ de Fe₂O₃. ⁽³⁾ Valores em g kg⁻¹ de Al₂O₃. ⁽⁴⁾ Valores em g kg⁻¹ de SiO₂.

como constituído por amorfos de hidróxi-Al e, ou, aluminossilicato solúvel em oxalato.

As correlações significativas entre os valores de Fe_o e Al_o (r = 0,78; p ≤ 0,05), Al_o e Si_o (r = 0,63; p ≤ 0,05) sugerem a presença nos solos de outras formas de alumínio, como óxidos ou hidróxidos de Al amorfos, óxidos de Fe de baixa cristalinidade, contendo Al em sua estrutura, e aluminossilicatos amorfos. A presença deste último poderia explicar, em parte, a possibilidade

de coexistência de caulinitas monoclinicas e triclinicas nos solos dos Tabuleiros Costeiros, conforme preconizado por Corrêa et al. (2008b).

A presença de óxidos ou hidróxidos de Al amorfos, óxidos de Fe de baixa cristalinidade, contendo Al em sua estrutura, e aluminossilicatos amorfos pode também ser inferida pelos altos valores de substituição isomórfica de Fe por Al (SI) nas goethitas, obtidas com os resultados de Fe_d e Al_d. O valor médio de SI,

0,62 mol mol⁻¹, obtido no presente trabalho é superior a 0,33 mol mol⁻¹, descrito como limite superior das goethitas (Schwertmann & Taylor, 1989).

A participação do Al₀ na gênese dos horizontes coesos, como sugerido nos fragipãs, não foi confirmada no presente estudo. Esse fato pode ser observado pela homogeneidade de seus conteúdos nos Latossolos, com diferença máxima de 0,5 g kg⁻¹ entre os horizontes coesos e não coesos (LA1).

Os teores de Si₀ variaram de 0,2 a 0,9 g kg⁻¹, não sendo observada variação expressiva entre os horizontes coesos e não coesos. Seu valor mostra-se ligeiramente superior nos fragipãs, não justificando, contudo, seu papel como agente cimentante nesses horizontes. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Araújo Filho (2003), que concluiu que o agente cimentante dos fragipãs nos Tabuleiros Costeiros são os compostos amorfos aluminosos.

Os valores de Si extraídos em cloreto de cálcio (Si_{CaCl₂}) e em água (Si_{H₂O}) (Quadro 1) tenderam a diminuir com a profundidade, sugerindo a não participação de Si na forma de H₄SiO₄ (em solução) na gênese dos coesos e fragipãs. O aumento nos teores de Si_{H₂O} nos horizontes superficiais, principalmente nos perfis PAC e LA2, indica possível participação da vegetação no aporte desse elemento na solução do solo, proveniente, possivelmente, da reciclagem biológica dos restos culturais da cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreau et al. (2006b).

Análises mineralógicas

Os espectros de difratometria de raios X (DRX) sugerem grande homogeneidade na assembleia mineralógica da fração argila, predominando caulinita (Ct) em todos os horizontes (Figuras 2 e 3). Esse resultado está em conformidade com os de outros autores (Lima et al., 2004; Moreau et al., 2006b; Corrêa et al., 2008a,b; Giarola et al., 2009).

A predominância da caulinita na fração argila dos solos dos Tabuleiros Costeiros pode contribuir para sua coesão. A forma laminar das partículas de caulinita possibilita seu ajuste face a face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica e maior número de ciclos de umedecimento e secagem (Resende, 1982). Essa hipótese é reforçada com os estudos de Moreau et al. (2006b) em solos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. Todavia, estudos recentes não têm corroborado essa afirmação (Corrêa et al., 2008a; Giarola et al., 2009). O trabalho de Corrêa et al. (2008a) demonstra que, a despeito da importância da natureza caulinitica desses solos, os maiores teores de argila fina podem ser um fator preponderante na gênese dos horizontes coesos.

A gibbsita (Gb) foi identificada em pequena proporção nos Argissolos, inferida pela baixa intensidade do pico referente ao plano (002) (d = 0,480 nm) (Figuras 2 e 3). A identificação de Gb nos perfis PA e PAC deu-se

nos horizontes coesos, não coesos e fragipãs. Logo, os resultados da mineralogia da fração argila indicam que esse mineral não constitui fator de diferenciação do grau de coesão desses horizontes. Inferência semelhante foi realizada por Corrêa et al. (2008a). Esses resultados diferem daqueles apresentados por Moreau et al. (2006b), os quais não identificam gibbsita nos horizontes coesos, e reforçaram a hipótese do ajuste face a face das caulinitas como um importante fator na gênese dos horizontes coesos.

A análise de difratometria de raios X dos concentrados de óxidos (Figura 4) confirma a presença de goethita como óxido de Fe predominante e de anatásio e rutilo como óxidos de Ti. A presença de caulinita nas amostras tratadas para concentração de óxidos (Figura 4) deve-se, provavelmente, ao pouco tempo de digestão alcalina a que as amostras foram submetidas. Apesar da baixa presença de goethita, inferida pelos baixos teores de Fe_d, os solos apresentam expressiva coloração amarelada, indicando a ausência de hematita.

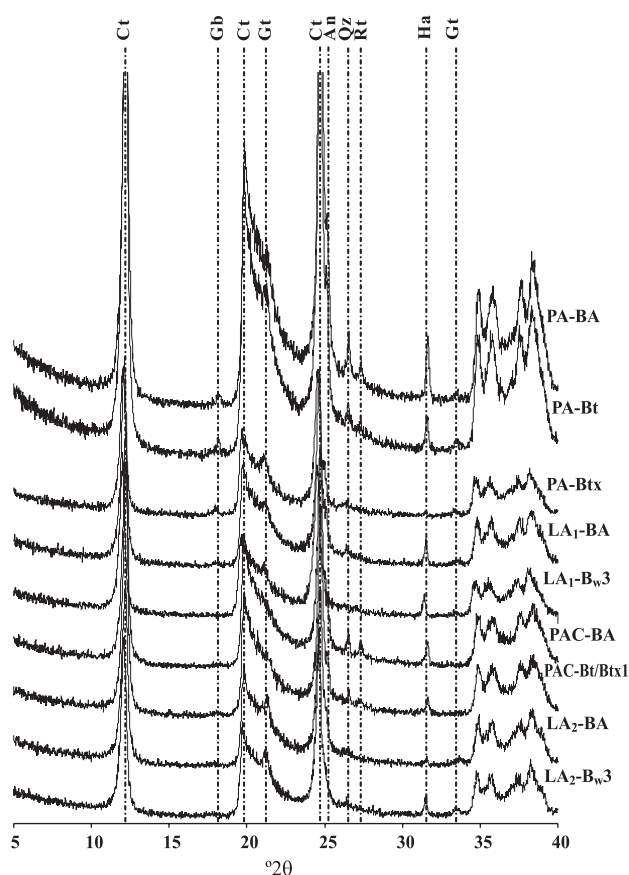


Figura 2. Difratogramas de raios X das argilas sem tratamento químico na forma de pó não orientado. Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; An: anatásio; Qz: quartzo; Rt: rutilo; Ha: halita.

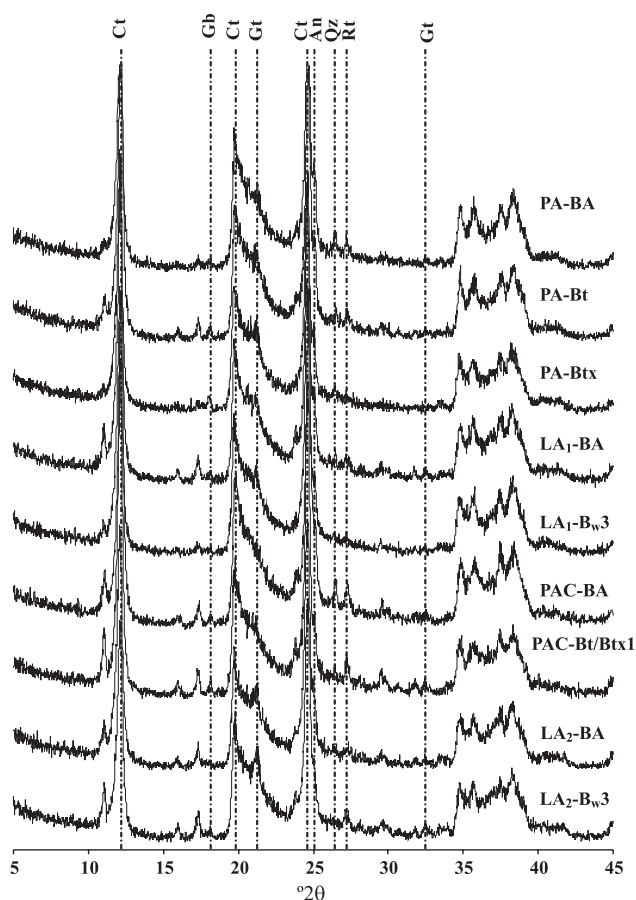


Figura 3. Difratogramas de raios X de argilas desferificadas na forma de pó não orientado. Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Na: anatásio; Qz: quartzo; Rt: rutilo.

A cor amarelada da maioria dos solos ratifica a presença da Gt em todos os perfis estudados. A Gt só não foi identificada no horizonte coeso (BA) do Argissolo Acinzentado, corroborando os dados de Corrêa (2008a), que também não identificou goethita em Argissolo Acinzentado do município de Teixeira de Freitas - BA.

As cinco extrações com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, a que as amostras foram submetidas, não foram suficientes para eliminar totalmente a Gt nos solos, principalmente no LA2. Destaca-se que o LA2 foi o solo que apresentou os maiores teores de Fe total entre os solos estudados.

Grau de cristalinidade das caulinitas

Em geral, os índices de cristalinidade (IC) obtidos neste trabalho, entre 7,76 e 9,65 (Quadro 2), sugerem a presença dominante de caulinitas com moderado a alto grau de desordem estrutural. Os valores foram coerentes com os encontrados por Hughes & Brown (1979) para regiões tropicais úmidas (2,0 a 7,8). Esses valores de índice de cristalinidade foram muito inferiores aos determinados para caulinitas de alta

cristalinidade (Corrêa et al., 2008b); esses autores encontraram um valor de 60,31 para o IC de um padrão de caulinitas da Geórgia.

As caulinitas de solos são normalmente de pior cristalinidade que aquelas de depósitos geológicos (Hughes & Brown, 1979; Cases et al., 1982). Várias

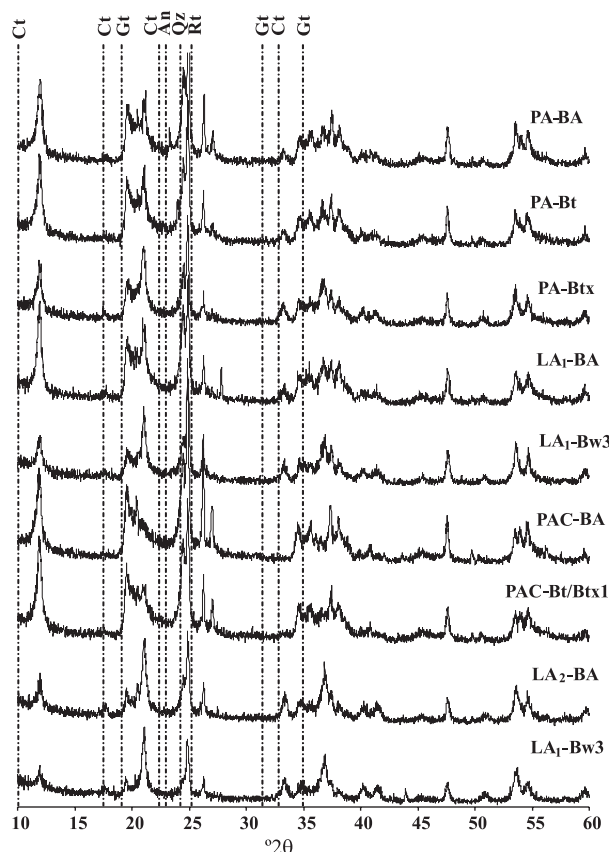


Figura 4. Difratogramas de raios X dos concentrados de óxidos na forma de pó não orientado. Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Na: anatásio; Qz: quartzo; Rt: rutilo.

Quadro 2. Valores do Índice de Cristalinidade (IC) de caulinitas, densidade do solo (Ds) e óxido de ferro total dos Latossolos e Argissolos estudados, de acordo com Hughes & Brown (1979)

Solo	Horizonte	IC	Ds	Fe ₂ O ₃ #
PA	BA	9,65	1,52	6,6
	Bt	8,20	1,54	9,8
	Btx	8,27	1,55	19,4
LA ₁	BA	8,96	1,58	9,7
	Bw ₃	8,68	1,39	13,7
PAC	BA	8,13	1,68	4,3
	Bt/Btx ₁	8,36	1,56	10,0
LA ₂	BA	8,44	1,60	17,5
	Bw ₃	7,76	1,23	18,9

razões têm sido apontadas para isso, entre elas: material de origem, interferência de Fe e drenagem. Entretanto, a substituição do Al por Fe nas posições octaédricas, causando desorganização estrutural da caulinita, tem sido a mais citada na literatura.

Observou-se pequena tendência de aumento do grau de desordem das caulinitas (diminuindo o índice de cristalinidade) com o aumento nos teores de óxido de Fe total dos solos estudados, com exceção do Argissolo Acinzentado. Alguns estudos têm mostrado relação inversa entre o teor de Fe e o índice de cristalinidade das caulinitas (Plaçon & Tchoubar, 1977; Mestdagh et al., 1980). Em solos brasileiros, Moniz (1967) e Resende (1976) destacaram a ocorrência de caulinitas mais desordenadas naqueles desenvolvidos de rochas máficas.

Os Latossolos apresentaram pequeno aumento do índice de cristalinidade nos horizontes coesos, assim como o Argissolo Amarelo (horizonte BA), que apresentou o maior índice de cristalinidade deste estudo (9,65). Esses dados reforçam a hipótese apresentada por Resende (1982) para a gênese de horizontes coesos. Segundo essa hipótese, a cristalinidade mais elevada das caulinitas favorece os ajustes face a face desses minerais, contribuindo, assim, para o endurecimento (coesão) do solo quando seco.

Caracterização micromorfológica

A análise micromorfológica foi realizada em horizontes coesos e não coesos, a fim de avaliar possíveis aspectos diferenciais nas feições desses horizontes (Quadro 3 e Figura 5).

O material grosso é constituído por quartzo, com grãos subarredondados, mal selecionados em tamanho, com exceção do perfil PAC, onde se apresenta arredondado e moderadamente selecionado, não sendo observada presença de minerais alteráveis. O tamanho dos grãos de quartzo varia de 0,24 mm, no PA, a 0,92, no PAC. No material grosso, também foi possível a identificação de fragmentos de carvão, exceto no horizonte Ap do Argissolo Acinzentado. Há predominância de material grosso nos horizontes mais superficiais, que se inverte nos horizontes subsuperficiais, onde ocorre maior proporção de materiais finos.

As observações microscópicas das lâminas delgadas revelaram redução na porosidade dos horizontes coesos e diferenciações na geometria do espaço poroso. Os horizontes coesos apresentaram menor porosidade do que os não coesos, confirmando as determinações físicas. De acordo com Cintra et al. (1999), uma das principais consequências negativas dos horizontes coesos é a diminuição no volume total de poros, já que a alteração na porosidade altera a atividade biológica, o movimento e a capacidade de retenção de água, bem como a sua disponibilidade para as plantas.

Os tipos de poros dos solos estudados são interagregados do tipo empilhamento complexo, cavidades arredondadas ou subarredondadas, interagregados do tipo fissuras, fissuras intra-agregadas, canais, fissuras e cavidades, não sendo observada distinção entre os horizontes coesos e os não coesos com relação aos tipos de poros.

O Argissolo Amarelo apresentou plasma constituído por material isotóico, com pedalidade bem desenvolvida nos horizontes AB e BA, sendo moderada no Bt. A estrutura forte nos horizontes AB e no BA coeso (Figura 5a,b) é bem nítida, sendo possível distinguir bem os agregados, enquanto o horizonte coeso Bt (Figura 5c) apresenta pedalidade moderada, não se conseguindo distinguir bem os agregados, concordando com a morfologia, em que o horizonte Bt foi descrito como maciço moderadamente coeso. Foi possível visualizar, no mesmo perfil, a presença de argilãs no horizonte coeso Bt (Figura 5c), que apresentou, por sua vez, densidade do solo mais elevada do que a dos horizontes AB e BA (coesos). O arranjo da argila no Bt ajudou a entender o aumento na densidade deste horizonte coeso em relação ao antecedente, que apresenta distribuição enáulica, ou seja, com o material fino e grosso sem preencher os espaços intersticiais completamente. É importante citar a presença de pelotas fecais, as quais indicam atividade microbiana, que deve ocorrer com maior intensidade em períodos de maior umidade do solo.

A trama birrefringente é outra propriedade que se encontra bem relacionada com os resultados citados anteriormente. Essa trama é indiferenciada nos horizontes AB e BA, mostrando que a argila está orientada ao acaso, ocorrendo o inverso no horizonte Bt, onde há maior organização das argilas, resultante da iluviação ocorrida no respectivo horizonte.

Os resultados descritos sugerem que a formação dos horizontes coesos pode ocorrer de maneira distinta entre os solos, ou até no mesmo solo. Inicialmente, poderia haver o aumento da densidade pela iluviação das argilas dispersas, entupindo os poros. A dispersão das argilas, inicialmente, poderia ser promovida por ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Visser & Caillier, 1988; Benites & Mendonça, 1998; Tombácz et al., 2004; Corrêa et al., 2008a). Posteriormente, a redução da permeabilidade aumentaria as condições de redução, provocando, conseqüentemente, a perda de Fe e um colapso na estrutura da camada que fica logo acima, formando assim um horizonte coeso, em decorrência de dois processos distintos de formação.

O colapso é resultado da translocação lateral do Fe reduzido, possibilitando melhor ajustamento entre as partículas do solo predominantemente caulinitico, diminuindo assim o seu volume e aumentando a sua densidade. Estudos desenvolvidos por Mullins & Panayiotopoulos (1984) mostraram que misturas artificiais de areia com pequenas quantidades de argila (caulinita), em torno de 2 %, são suficientes para que o solo apresente comportamento coeso.

Em estudo desenvolvido em Latossolo Bruno ácido, Ghidin et al. (2006) constataram que a melhoria das condições de drenagem (aumento da macroporosidade, porosidade total e redução na densidade do solo) foi consistentemente acompanhada pelo aumento nos teores de óxidos de Fe total e óxidos de Fe-DCB.

Ferreira et al. (1999), estudando Latossolos Amarelos do Espírito Santo, observaram a distribuição

dos grãos em relação ao plasma na forma porfirogrânica, o que, segundo esses autores, deve-se ao ajuste face a face das lâminas de caulinitas. A textura do tipo porfírica também foi observada por Araújo Filho et al. (2001) e Giarola et al. (2001) em solos coesos no Brasil.

No Argissolo Acinzentado, os horizontes Ap e BA (coeso) (Figura 5d,e) apresentaram pedalidade

Quadro 3. Principais características micromorfológicas dos solos

Argissolo Amarelo distrocoeso fragipânico (PA-Perfil 1)			
	AB 18-40cm (850)	BA 40-59 cm (851)	Bt 59-60 (852)
Fundo matricial	mat. gros.: 50 % mat. fino: 20 % porosidade: 30 %	mat. gros.: 50 % mat. fino: 20 % porosidade: 30 %	mat. gros.: 40 % mat. fino: 50 % porosidade: 10 %
Material grosseiro	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,38 mm, subarredondado e mal selecionados. Ocorrência de fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,24 mm, subarredondado mal selecionados. Alguns fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,32 mm, subarredondado e mal selecionados. Alguns fragmentos de carvão.
Material fino	Material isóptico de cor Bruno muito escuro, apresentando pedalidade bem desenvolvida.	Material isóptico de cor Bruno muito escuro, apresentando pedalidade bem desenvolvida.	Material isóptico de cor Bruno escuro, apresentando pedalidade moderada.
Poros	Poros interagregados do tipo empilhamento complexo (80 %) e cavidades subarredondadas com tamanho médio de 1,14 mm	Poros interagregados do tipo empilhamento complexo (60 %) e cavidades subarredondadas com tamanho médio de 0,76 mm	Poros interagregados do tipo fissuras (65 %) e cavidades arredondadas (30 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).
Microestrutura	Granular	Granular	Blocos subangulares e ocorrência de microagregados entre grãos.
Distribuição relativa	Enáulica	Enáulica	Porfírica
Fábrica birrefringente	Indiferenciada	indiferenciada	Estriada e salpicada do tipo granida.
Feições pedológicas	Presença de ortotúbulos e pelotas fecais.	Presença de ortotúbulos e nódulos criptocristalinos.	Textural (Iluminação de argila com microlaminação preenchendo os poros). Presença de ortotúbulos e nódulos criptocristalinos.
Material orgânico básico		Fragmentos de raízes	
Latossolo Amarelo distrocoeso típico (LA ₁ - Perfil 2)			
	AB 18-35 cm (853)	BA 35-55 cm (854)	Bw2 100-145 cm (855)
Fundo matricial	mat. gros.: 40 % mat. fino: 30 % porosidade: 30 %	mat. gros.: 30 % mat. fino: 50 % porosidade: 20 %	mat. gros.: 20 % mat. fino: 50 % porosidade: 30 %
Material grosseiro	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,46 mm, subarredondados e mal selecionados. Várias ocorrências de fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,42 mm, subarredondados e mal selecionados. Várias ocorrências de fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,68 mm, subarredondados e mal selecionados. Várias ocorrências de fragmentos de carvão.
Material fino	Material isóptico de cor Bruno escuro, apresentando pedalidade moderada.	Material isóptico de cor Bruno escuro, apresentando pedalidade moderada.	Material isóptico de cor Bruno, apresentando pedalidade moderada.
Poros	Poros interagregados do tipo empilhamento complexo (60 %) e cavidades arredondadas (40 %).	Poros interagregados do tipo cavidades arredondadas (20 %); Canais (10 %) e fissuras (70 %)	Poros interagregados do empilhamento complexo (20 %); canais (30 %) e cavidades arredondadas (45 %). Presença de fissuras intragregados (5 %).
Microestrutura	Granular e granular adensada	Blocos subangular	Composta por blocos subangulares e microagregados entre grãos.
Distribuição relativa	Enáulica A zona inferior da lâmina apresenta distribuição enáulica-porfírica.	Porfírica	Porfírica-enáulica, sendo mais densa na parte inferior da lâmina.
Fábrica birrefringente	Indiferenciada	Indiferenciada	Indiferenciada
Feições pedológicas	Presença de ortotúbulos e nódulos criptocristalinos.	Textural (Iluminação de argila); Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.	Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.

Continua...

Quadro 3. Continuação

Argissolo Acinzentado distrocoeso fragipânico (PAC - Perfil 3)			
	Ap 19-20 cm (856)	BA 40-50 cm (857)	Bt 68-78 cm (858)
Fundo matricial	mat. gros.: 30 % mat. fino: 20 % porosidade: 50 %	mat. gros.: 30 % mat. fino: 50 % porosidade: 20 %	mat. gros.: 20 % mat. fino: 50 % porosidade: 30 %
Material grosseiro	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,91 mm, arredondados e moderadamente selecionados.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,38mm, arredondado e moderadamente selecionados. Ocorrência de fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,32 mm, arredondados e moderadamente selecionados. Ocorrência de fragmentos de carvão.
Material fino	Material isóptico de cor bruno muito escuro, apresentando pedalidade moderada.	Material isóptico de cor bruno escuro, apresentando pedalidade moderada.	Material isóptico de cor bruno escuro, apresentando pedalidade fraca.
Poros	Poros interagregados do tipo empilhamento complexo (80 %) e cavidades arredondadas	Poros intra-agregados do tipo cavidades arredondadas (50 %) e fissuras (45 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).	Poros interagregados do tipo cavidades arredondadas (20 %); Canais (15 %) e fissuras (60 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).
Microestrutura	Composta por microagregados entre grãos e granular	Blocos subangulares	Blocos subangulares.
Distribuição relativa	Gefúrica-enáulica.	Porfírica	Porfírica.
Fábrica birrefringente	Indiferenciada	Indiferenciada	Ocorrências de algumas zonas com birrefringência do tipo salpicada granida
Feições pedológicas	Presença pelotas fecais; ortotúbulos e nódulos criptocristalinos.	Textural na parte superior da lâmina (Iluviação de argila); Feição de depleção (ferrãs); Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.	Textural (Iluviação de argila); Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.
Material orgânico básico	Fragmentos de raízes	Fragmentos de raízes	Fragmentos de raízes.
Latossolo Amarelo distrocoeso típico (LA ₂ - Perfil 4)			
	Ap 5-15 cm (859)	BA 28-38 cm (860)	Bw1 50-60 cm (861)
Fundo matricial	mat. gros.: 40 % mat. fino: 35 % porosidade: 25 %	mat. gros.: 30 % mat. fino: 50 % porosidade: 20 %	mat. gros.: 30 % mat. fino: 50 % porosidade: 20 %
Material grosseiro	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,65 mm, subarredondado e mal selecionados. Fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,61 mm, subarredondado e mal selecionados. Fragmentos de carvão.	Grãos de quartzo com tamanho médio de 0,53 mm, subarredondado e mal selecionados. Ocorrência de fragmentos de carvão.
Material fino	Material isóptico de cor bruno muito escuro, apresentando pedalidade fraca.	Material isóptico de cor bruno escuro, apresentando pedalidade moderada.	Material isóptico de cor bruno, apresentando pedalidade moderada.
Poros	Poros interagregados do tipo empilhamento complexo (15 %); e cavidades (5 %); arredondadas e fissuras (65 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).	Poros interagregados do tipo cavidades arredondadas (25 %) e fissuras (70 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).	Poros interagregados do tipo cavidades arredondadas (25 %) e fissuras (70 %). Presença de fissuras intra-agregados (5 %).
Microestrutura	Granular densa (coalescida)	Blocos subangulares	Blocos subangulares.
Distribuição relativa	Porfírica com algumas zonas porfírica-enáulica.	Porfírica	Porfírica.
Fábrica birrefringente	Indiferenciada	Manchada/estriada	Salpicada
Feições pedológicas	Presença pelotas fecais; ortotúbulos e nódulos criptocristalinos.	Textural forte e contínua (Iluviação de argila sem laminação); Feição de depleção (ferrãs); Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.	Presença de ortotúbulos; nódulos criptocristalinos e pelotas fecais.

moderada, enquanto o horizonte não coeso Bt mostrou pedalidade fraca (Figura 5f). O pouco desenvolvimento das microestruturas pode ser explicado pelo cultivo contínuo desse solo no horizonte Ap, estando em acordo com a estrutura maciça moderadamente coesa

descrita em campo. Por outro lado, a pouca estruturação no horizonte BA é consequência do caráter coeso desse horizonte, identificado em campo pela estrutura maciça coesa e consistência muito dura. Os horizontes coesos (BA) e não coeso (Bt) apresentam

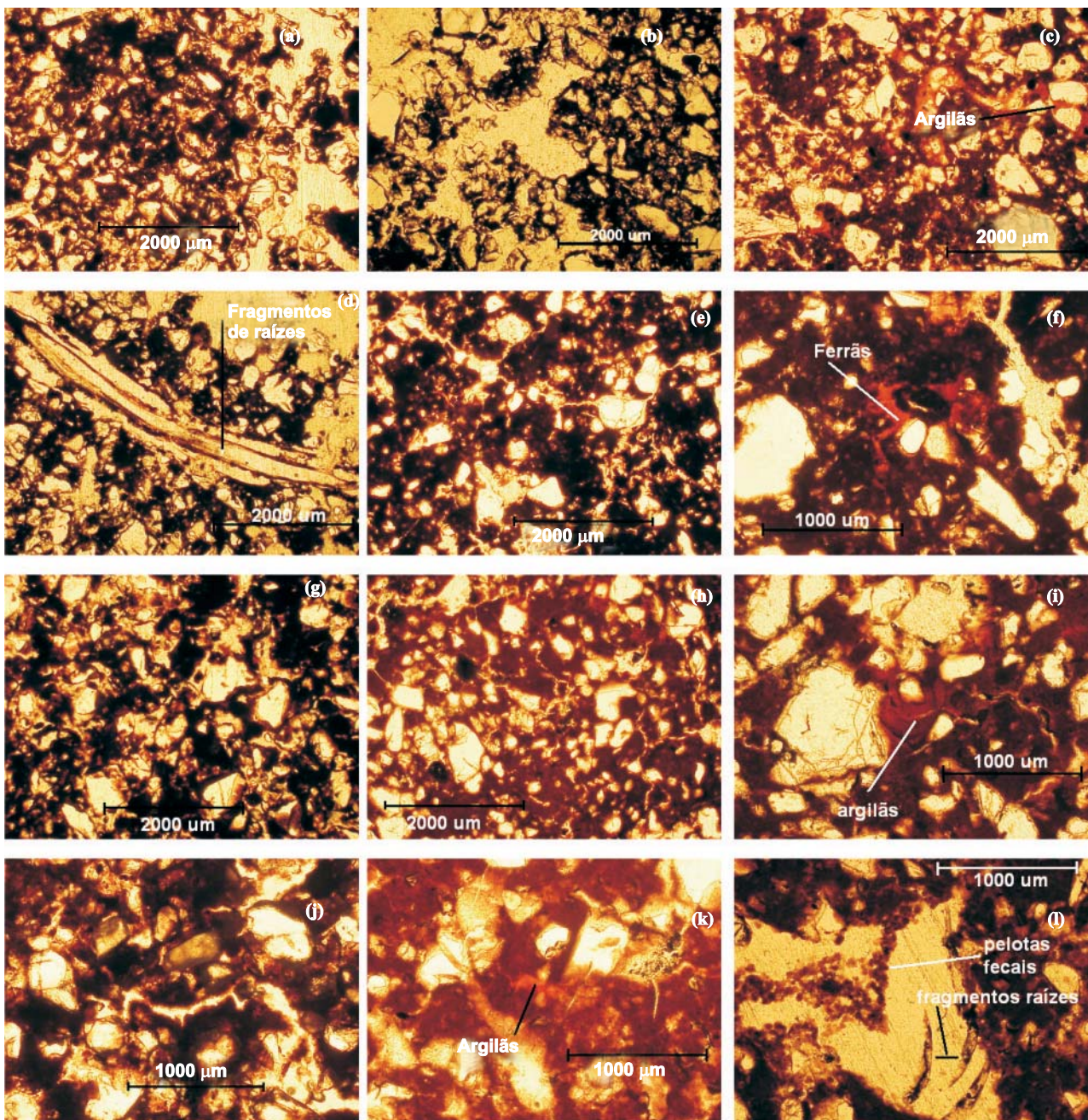


Figura 5. Micrografias obtidas com microscópio óptico dos horizontes: (a) horizonte AB do perfil PA; (b) horizonte BA do perfil PA; (c) horizonte Bt do perfil PA; (d) horizonte Ap do perfil PAC; (e) horizonte BA do perfil PAC; (f) horizonte BA do perfil PAC; (g) horizonte AB do perfil LA₁; (h) horizonte BA do perfil LA₁; (i) horizonte BA do perfil-LA₁; (j) horizonte AB do perfil LA₂; (k) horizonte BA do perfil LA₂; e (l) horizonte BA do perfil LA₂.

distribuição relativa dos constituintes porfírica, relacionada com a iluviação de argila. Em todos os horizontes deste perfil observou-se a presença de raízes e pelotas fecais, mostrando a importância da manutenção da umidade no crescimento das raízes e da atividade microbiana, já que este perfil apresenta drenagem mais restrita em relação aos outros.

Também foi possível identificar feição de depleção (ferrãs), indicando um processo de redução do Fe, o que pode resultar na perda desse elemento do perfil. A perda do Fe possibilitaria aumento na organização das partículas do solo, pois, segundo Ferreira et al. (1999), a presença de óxidos de Fe tende a desorganizar as partículas do solo em escala microscópica.

O Latossolo Amarelo, perfil LA1, apresentou material fino com pedalidade moderada, mostrando no horizonte coeso uma trama porfírica, enquanto nos outros horizontes foram observadas partes eunálicas. Observou-se também a iluviação de argila no horizonte coeso, que se refletiu em maior densidade do solo e menor porosidade total, além de uma estrutura maciça moderadamente coesa, mostrando mais uma vez a importância da iluviação de argila na gênese do horizonte coeso.

No perfil LA2, Latossolo Amarelo, observou-se uma pedofecção forte e contínua, ou seja, com orientação forte das argilas, proveniente da iluviação do horizonte Ap. A presença de material fino com pedalidade fraca no horizonte Ap, diferindo dos demais, foi proveniente da pressão promovida pelas máquinas utilizadas no cultivo da cana-de-açúcar. A estrutura do respectivo horizonte, maciça moderadamente coesa, aliada à densidade do solo, de $1,63 \text{ t m}^{-3}$, confirma a análise micromorfológica do seu material fino.

Observou-se a presença de ortotúbulos nos horizontes coesos e não coesos analisados, o que indica que os espaços deixados pela atividade microbiana ou pelo crescimento das raízes estão sendo preenchidos continuamente pela movimentação das argilas no perfil. Quanto aos nódulos criptocristalinos, também observados na maioria dos horizontes, são compostos, provavelmente, pelos óxidos de Fe.

CONCLUSÕES

1. Não foi observada tendência de aumento dos teores de sílica e Al extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato nos horizontes coesos, sugerindo que sua gênese não se deve à presença de agentes cimentantes.

2. Os resultados das análises mineralógicas e micromorfológicas sugerem que a gênese do horizonte coeso apresenta duas fases distintas, sendo sua base formada inicialmente pela iluviação de argila fina, entupindo os poros do solo, com posterior perda de Fe na parte superior, colapsando a estrutura.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro e pela bolsa de mestrado. Às usinas Coruripe, Caeté, Marituba e Cachoeira, pelo apoio necessário à abertura de trincheiras e coleta de solos.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.V. & WHITE, J.L. A study of fragipans in some Southern Indiana soils. *Soil Sci. Soc. Am., Proc.*, 22:450-454, 1958.
- ANJOS, L.H.C. Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma sequência de solos do Terciário na região de Campos-RJ. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1985. 194p. (Tese de Mestrado)
- 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)
- ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A. & SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- BENITES, V.M. & MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:215-221, 1998.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. Woverhampton, Waine Research Publishers, 1985. 152p.
- CASES, J.M.; LIETARD, O.; YVON, J. & DELOM, J.F. Étude desproprités cristallochimiques, morphologiques, superficielles de kaolinites désordonnées. *Bull. Minéral.*, 105:439-455, 1982.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & JORGE, L.A.C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. *R. Bras. Frutic.*, 21: 313-317, 1999.
- 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, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1857-1872, 2008b.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisol from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.
- DUNCAN, M.M. & FRANZMEIER, D.P. Role of free silicon, aluminum, and iron in fragipan formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:923-929, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Sergipe. Recife, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36. Série Recursos de Solos, 6)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:507-514, 1999.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:947-964, 2001.
- FITZPATRICK, E.A. Soil microscopy and micromorphology. New York, Wiley, 1993.
- FONSECA, O.O.M. Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do terciário no litoral brasileiro. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 185p. (Tese de Mestrado)
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C & LIMA, J.M.J. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:307-319, 2006.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMESA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. Similaridade entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: Estudo de caso. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:239-247, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:33-40, 2009.
- HUGHES, J.C. & BROWN, G. A crystallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil nature. *J. Soil Sci.*, 30:557-563, 1979.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis: Advanced course. Madison, Prentice-Hall, 1969. 895p.
- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5 M NaOH concentrations treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 23:310-317, 1982.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.K.T.; ROMERO, R.E. & LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:467-476, 2004.
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate - extractable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MEHRA, J.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. *Clay Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.
- MEIRELES, M.C.S. & RIBEIRO, L.P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.1688-1689.
- MENDES JÚNIOR, B.O. Perfil econômico de Alagoas. Fortaleza, Banco do Nordeste, 2002. 58p.
- MESTDAGH, M.M.; VIELVOYE, L. & HERBILLON, A.J. Iron in kaolinite II: The relationship between kaolinite crystallinity and iron content. *Clay Miner.*, 15:1-13, 1980.
- MONIZ, A.C. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils derived from basic rocks and slate. Madison, University of Wisconsin, 1967. 74p. (Tese de Mestrado)
- MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M. & GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:1007-1019, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:1021-1030, 2006b.
- MULLINS, C.E. & PANAYIOTOPOULOS, K.P. The strength of unsaturated mixture of sand and kaolin and the concept of effective stress. *J. Soil Sci.*, 35:459-468, 1984.
- NETTLETON, W.D.; McCRAKEN, R.J. & DANIELS, R.B. Two North Carolina Coastal Plain catenas. II. Micromorphology, composition and fragipã genesis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:582-587, 1968.
- PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do Estado da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2295-2302, 2000.
- PLAÇON, A & TCHOUBAR, C. Determination of structural defects in phyllosilicates by x-ray powder diffraction: II: nature and proportion of defects in natural kaolinites. *Clays Clay Miner.*, 25:436-450, 1977.
- RAIJ, B.van & CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. *Bragantia*, 32:223-231, 1973.
- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado)
- RESENDE, M. Pedologia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 100p.
- RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. Anais. Aracaju, Embrapa-CPATC, 1996. p.27-35.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.379-438.
- SCHWERTMANN, U. Inibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxides. *Nature*, 212:645-646, 1966.
- SILVA, A.J.N. & RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:291-299, 1998.
- SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V. & RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:503-513, 2008.
- TOMBÁČZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A. & KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. *Org. Geogr.*, 35:257-267, 2004.
- VISSER, S.A. & CAILLIER, M. Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances: I. Dispersive effects of humic acids. *Geoderma*, 42:331-337, 1988.