

Comissão 1.2 - Levantamento e classificação do solo

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO NA ENCOSTA NA MANIFESTAÇÃO DO CARÁTER COESO EM SOLOS DA FORMAÇÃO MACACU, NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO⁽¹⁾

Michele Ribeiro Ramos⁽²⁾, Gustavo Ribas Curcio⁽³⁾, Renato Antonio Dedecek⁽⁴⁾, Vander de Freitas Melo⁽⁵⁾ & Alexandre Uhlmann⁽³⁾

RESUMO

A coesão de alguns horizontes de certos solos interfere diretamente no crescimento de plantas, provocando redução da profundidade efetiva, do volume de raízes e da emergência de plântulas, em decorrência da redução da disponibilidade de água e ar no solo. Neste estudo, objetivou-se caracterizar, por meio dos atributos físicos, a coesão de horizontes de solos, em razão das posições dos perfis em duas topossequências em área de sedimentos Terciários da Formação Macacu, no município de Itaboraí, RJ. As encostas das topossequências possuíam Argissolo Amarelo distrocoeso típico, no segmento superior, e Latossolo Amarelo distrocoeso típico, no segmento inferior. Os horizontes subsuperficiais coesos apresentaram valores máximos de densidade próximos de $1,78 \text{ Mg m}^{-3}$. Evidenciou-se a forte tendência da manifestação do caráter coeso, em que as variações foram abruptas nos parâmetros físicos entre o horizonte A e os horizontes inferiores BA e Bw dos perfis. Os solos do segmento inferior da vertente apresentaram maior umidade de campo, condutividade hidráulica e água disponível. A manifestação do caráter coeso foi mais significativa nos solos dos segmentos superiores. Os atributos que melhor segregaram as amostras por causa da posição na vertente foram a densidade e macroporosidade, para o segmento superior, e água disponível e porosidade total, para o segmento inferior da vertente. Os solos posicionados no final da vertente apresentaram maiores teores de água; essa maior umidade deve ter sido responsável por amenizar a coesão. Este estudo

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em 2 de agosto de 2012 e aprovado em 23 de maio de 2013.

⁽²⁾ Engenheira agrônoma Dra. Consultora do Projeto Biomas - Embrapa - CNPF. Estrada da Ribeira, km 111. CEP 82640-220 Colombo (PR). E-mail: micheleribeiroramos@gmail.com

⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111. CEP 82640-220 Colombo (PR). E-mail: gustavo.curcio@embrapa.br; alexandre.uhlmann@embrapa.br

⁽⁴⁾ Pesquisador aposentado, Consultor do Projeto Biomas - Embrapa - CNPF. E-mail: dedeck@terra.com.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP 80035-050 Curitiba (PR). Bolsista CNPq. E-mail: vanderfm@ufpr.br

ressaltou a importância das investigações sobre as variações do grau de coesão dos horizontes no perfil e dos solos, ao longo das vertentes, relacionando-o aos seus fluxos hídricos.

Termos de indexação: topossequência, porosidade, condutividade hidráulica, umidade, densidade do solo.

SUMMARY: INFLUENCE OF THE LANDSCAPE POSITION ON THE OCCURRENCE OF A COHESIVE CHARACTER OF SOILS OF THE MACACU FORMATION IN RIO DE JANEIRO

The cohesive nature of horizons of certain soils interferes directly with plant growth, by reducing the effective soil depth, plant root volume and seedling emergence, due to the decreased availability of water and air in the soil. This paper aimed to use soil physical characteristics to describe the cohesive character and the influence of the soil landscape position on two slopes of soils developed from sediments of the Macacu Formation in Itaboraí, RJ, Brazil. The soils of both slopes were classified as Argissolo Amarelo distrocoeso típico (Ultisol) in the upper position and as Latossolo Amarelo distrocoeso típico (Oxisol) at the foot slope. The soil bulk density of the cohesive subsurface horizons reached 1.78 Mg m^{-3} . Another evidence of the trend to show cohesive character was the great difference between soil physical properties of the A horizon and the subsurface layers (BA and BW). In the soils at the foot slope position the moisture content, hydraulic conductivity, and available water content were higher. The expression of the cohesive character was stronger at the upper position of the landscape. The physical properties that best distinguished the soil samples in terms of landscape positions were bulk density and macroporosity for soils at the summits, and available water and total porosity for the foot slope. The soils at the bottom of the slope had higher water contents, which must have minimized the expression of the cohesive character. This study indicates the importance of developing more studies on different aspects of the degree of cohesion existing along a landscape, controlled primarily by water flows down the slope.

Index terms: soil topossequence, soil porosity, hydraulic conductivity, soil moisture, soil bulk density.

INTRODUÇÃO

A coesão é um atributo do solo descrito como o estado de não cimentação aparente, que se manifesta apenas quando o solo está seco, com consistência muito ou extremamente dura, e desaparece quando os índices de umidade aumentam (Embrapa, 2006). É caracterizada pelo aumento de densidade e resistência à penetração e redução da porosidade total, aeração e absorção de nutrientes, em relação aos horizontes não coesos adjacentes do mesmo solo (Giarola et al., 2001; Santana et al., 2006). Podem ser destacados como efeitos negativos do caráter coeso: redução da profundidade efetiva, do volume de raízes no perfil e da emergência de plântulas (Santana et al., 2006; Moreau et al., 2006).

Muitos estudos sobre o caráter coeso vêm sendo realizados em solos dos Tabuleiros Costeiros, desenvolvidos de sedimentos Terciários do Grupo Barreiras (Lima et al., 2004; Santana et al., 2006; Giarola et al., 2009; Lima Neto et al., 2009). Os sedimentos do Grupo Barreiras ocupam a faixa litorânea e parte da sublitorânea de quase toda a Costa Oriental e Setentrional do Brasil, desde o Rio de Janeiro, estendendo-se para oeste, até a Bacia Amazônica (Bigarella, 1975). São sedimentos com pouco ferro

“livre”, maduros, caulíníficos, com esqueleto quartzoso mal-selecionado, o que favorece, sobremaneira, o empacotamento dos minerais de solo deles originados (Arcanjo, 1990). A Formação Macacu, também pertencente às Bacias Continentais Terciárias e de onde foram coletadas as amostras de solo do estudo, apresenta contexto evolutivo dos seus sedimentos relacionado ao do Grupo Barreiras (Bigarella & Andrade, 1964). Essa associação com o Grupo Barreiras foi revista, e dados estratigráficos e estruturais (Silva & Ferrari, 1997) permitiram separar evolutivamente os sedimentos Macacu e considerá-los como parte de uma bacia tafrogênica relacionada ao Sistema de Riftes Continentais do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A origem da Formação Macacu está relacionada ao período Eoceno/Oligoceno, ou seja, mais antiga que o Grupo Barreiras (Lima et al., 1996). A Bacia do Macacu aflora a nordeste da Baía de Guanabara, estendendo-se na direção ENE por aproximadamente 25 km, com 15 km de largura, nas imediações das cidades de Itaboraí, Magé e da Ilha do Governador. A espessura conhecida da Bacia é de aproximadamente 200 m e foi preenchida por um pacote sedimentar eocênico-oligocênico, depositado em ambiente de leques aluviais, intercalado com fácies de natureza, provavelmente, lacustre (Silva & Ferrari, 1997).

Lima Neto et al. (2009) relacionaram o caráter coeso como exclusivo de solos dos tabuleiros costeiros desenvolvidos de sedimentos do Grupo Barreiras. Segundo Giarola et al. (2009), os horizontes coesos do Grupo Barreiras apresentaram a fração argila dominada por caulinitas, com grau de ordenamento estrutural elevado e baixos teores de óxidos cristalinos e pouco cristalinos. Contudo, alguns autores também identificaram o caráter coeso em solos de outras formações geológicas, como em Argissolos Vermelhos, desenvolvidos de granito-gnaiss no sul da Bahia e norte do Espírito Santo (Corrêa et al., 2008), e em Nitossolos, sob floresta em região de rochas efusivas básicas (Silva et al., 2009). No Rio Grande do Sul, município de Pinheiro Machado, Curcio et al. (2000) também constataram forte coesão (horizonte BA extremamente duro) em Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa, utilizado para pastagem e desenvolvido de sedimentos alterados de migmatito. Os autores destacaram que as características mineralógicas da fração argila foram semelhantes aos solos coesos do Grupo Barreiras.

Além dos poucos trabalhos sobre coesão em solos pertencentes à Formação Macacu, não se têm relatos na literatura de estudos relacionados ao efeito da posição dos perfis de solos nas encostas, na manifestação do caráter coeso dos horizontes subsuperficiais. Já para os solos não coesos existe abrangente acervo de dados sobre o efeito da posição na vertente (segmentos superior e inferior) sobre as características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas dos solos (Ghidin et al., 2006). Moniz & Buol (1982) estudaram vertentes (transição de Argissolo-Latossolo) em São Paulo e verificaram que a parte inferior da topossequência é mais úmida que a superior; também, identificaram variações nos atributos físicos e morfológicos nos solos, em decorrência de processos de formação influenciados pelo posicionamento na encosta.

Este estudo teve como objetivo verificar por meio dos atributos físicos a manifestação do caráter coeso, em razão da posição dos solos em uma vertente convexa-divergente, em área de sedimentos terciários da Formação Macacu.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Itaboraí, RJ, com clima tropical, quente e úmido, com um a dois meses secos, com temperatura média acima de 18 °C em todos os meses do ano. No verão, o calor e a umidade são muito expressivos, com elevada precipitação pluvial. No inverno, há redução significativa da umidade, temperatura e pluviosidade, especialmente entre os meses de junho a agosto (Gonçalves, 2012). O mesmo autor enquadrou o clima da região como "Aw", segundo a classificação de Köppen.

A área foi selecionada dentro do Complexo Petroquímico COMPERJ/Petrobrás, inserida na região sedimentar da Baía da Guanabara, que, juntamente com outras bacias, constitui o Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004). A estratigrafia da Bacia é formada por sedimentos da Formação Macacu do período Eoceno/Oligoceno (Lima et al., 1996), com geoformas convexa-divergentes, de acordo com a classificação de Huggett (1975), em razão dos processos erosivos.

Foram estudadas duas pedossequências em uma encosta (50 m de distância entre elas), ambas com Argissolo Amarelo distrocoeso típico, no segmento superior, e Latossolo Amarelo distrocoeso típico, no segmento inferior (Figura 1). Nas observações de campo, constatou-se que o segmento inferior é mais úmido por causa da proximidade da planície e por receber fluxo lateral de água das partes mais elevadas, além da menor declividade do terreno nessa porção da encosta (declividade média de 3 % nas áreas de Latossolos) (Figura 1). Essas características resultam em menor velocidade e maior volume dos fluxos hídricos subsuperficiais no final da vertente. De acordo com Gerrard (1981), a porção inferior da vertente apresenta fluxo de água via percolação profunda e o fluxo subsuperficial é saturado. Já no segmento superior (declividade média de 8 % - áreas de Argissolos), a umidade é perdida mais facilmente por se tratar de uma zona de transição para a posição de topo, segmento em que não foram tomadas amostras de solo.

Para caracterização e classificação dos perfis, foram feitas descrições morfológicas, análises químicas e granulométricas dos horizontes A, BA, B1 e B2, conforme métodos descritos em Santos et al. (2005) e Embrapa (1997). Os dados morfológicos dos perfis da topossequência 1 são apresentados no quadro 1.

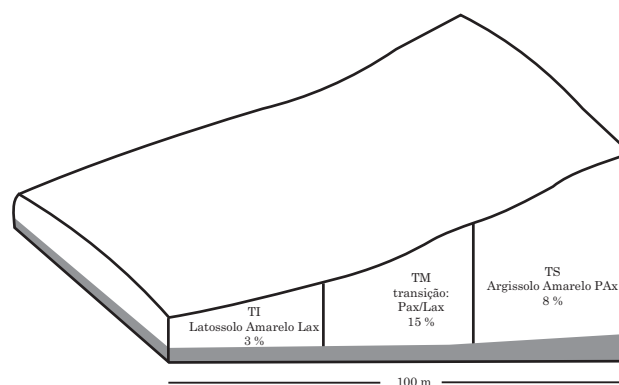


Figura 1. Distribuição dos Argissolos (TS - parte superior) e Latossolos (TI - parte inferior), com suas respectivas declividades, desenvolvidos de sedimentos da Formação Macacu em vertente convexa-divergente no município de Itaboraí, RJ. Os valores percentuais abaixo de cada classe de solo referem-se às declividades médias do terreno em cada segmento da encosta.

Quadro 1. Análise morfológica dos perfis de solos da topossequência 1 desenvolvidos de sedimentos da Formação Macacu no município de Itaboraí, RJ

Perfil	Altitude	Posição vertente	Classe	Horiz.	Prof.	Cor	Descrição
1	29	Superior	Argissolo Amarelo distrocoeso típico	Ap	0-0,18	(10YR 3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-arenoso; moderada/fraca pequena granular; macia, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana
				B _{Ax}	0,18-0,32	(10YR 4/5) bruno- amarelo escuro	franco-argiloarenoso; fraca/moderada média e grandes blocos subangulares que se desfazem em moderada fraca e pequena e muito pequena granular; extremamente dura, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana
				B _{t₁x}	0,32-0,61	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argiloarenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfazem em moderado pequena muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
				B _{t₂x}	0,61-0,75 ⁺	(9YR 5/8) bruno-amarelado	argiloarenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
2	19	Inferior	Latossolo Amarelo distrocoeso típico	Ap	0-0,22	(10YR 3/2) bruno-acinzentado muito escuro	franco-argiloarenoso; moderada pequena média blocos subangulares que se desfazem em moderada fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável/firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada
				B _{Ax}	0,22-0,36	(10YR 4/5) bruno-amarelado escuro	franco-argiloarenoso; fraca/moderada grandes blocos subangulares que se desfazem em moderada fraca pequena muito pequena(o) granular; extremamente dura, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana
				B _{w₁x}	0,36-0,74	(10YR 5/7) bruno-amarelado	franco-argilo arenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfazem em moderada muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana
				B _{w₂x}	0,74-1,02 ⁺	(10YR 5/8) bruno-amarelado	franco-argiloarenoso; fraca grandes blocos subangulares que se desfazem em moderada muito pequena granular; muito dura, firme, plástico e pegajoso.

Foram coletadas três amostras indeformadas em anéis com aproximadamente 65 cm³ em cada horizonte (quatro perfis descritos x quatro horizontes x três repetições = 48 amostras), para determinar os seguintes parâmetros físicos (Embrapa, 1997): umidade de campo, densidade do solo, macroporosidade (umidade na tensão de 6 kPa), porosidade total (massa saturada - massa seca a 105 °C), capacidade de campo (umidade na tensão de -10 kPa), porosidade de aeração (porosidade total - umidade na capacidade de campo), água disponível (umidade na tensão de -10 kPa - umidade na tensão de -1.500 kPa) e condutividade hidráulica saturada.

Após a caracterização física inicial, foram selecionados apenas os horizontes coesos (BAX) de cada posição na encosta. Esses horizontes apresentaram maior resistência à penetração do anel em que foram coletadas as amostras, coerente com sua consistência extremamente dura no estado seco (Quadro 1). A maior coesão nos horizontes transicionais AB e BA já foi divulgada por Lima et al. (2004), Embrapa (2006), Moreau et al. (2006) e Santana et al. (2006). Ao lado dos perfis da topossequência 1, foram abertas pequenas trincheiras até o horizonte BA, de onde foram coletados nove anéis (repetições) em cada porção da encosta (segmentos superior e inferior), totalizando 18 amostras.

O conjunto de dados do horizonte BAX foi analisado pelos testes T (Student) e Mann-Whitney (teste U) (Gotelli & Ellison, 2011). Os dados também foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), para eliminação das variáveis colineares. Como resultado, apenas os atributos água disponível, porosidade total, macroporosidade e densidade do solo foram considerados nos demais procedimentos estatísticos. Também foi feito a padronização dos dados [$Z = (X - \mu) / \sigma$] para diminuir a amplitude de variação das variáveis selecionadas.

Foi criada uma nova matriz dos dados padronizados das variáveis selecionadas para aplicação da análise discriminatória de Fisher ou discriminante Canônica. O objetivo dessa análise foi segregar grupos de dados (segmento superior e inferior), usando funções lineares que permitem exibir sua máxima separação, considerando as variáveis previamente selecionadas pela PCA. Para validar a significância estatística dos resultados do teste de Fisher, as associações entre os atributos selecionados nas duas posições da vertente (expressas pelo coeficiente de correlação canônica) foram testadas por meio de permutações de Monte Carlo. A segregação das posições também foi testada por meio do lambda de Wilks. Todos os conceitos, funções e aplicações desses testes estatísticos podem ser obtidos em Gotelli & Ellison (2011). As análises foram feitas, utilizando os algoritmos dos programas *Canoco for Windows 4.5* (TerrBraak & Smilauer, 2002; JMP/SAS, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambos os perfis do segmento superior (1 e 3), os valores de condutividade hidráulica (CH) dos horizontes subsuperficiais (caráter coeso) foram muito inferiores aos dos perfis correspondentes nas posições mais baixas da encosta (2 e 4), com exceção do horizonte BAX do perfil 4 (Quadro 2). Santana et al. (2006), na Bahia, e Lima Neto et al. (2009), em Alagoas, encontraram drástica redução na CH nos horizontes coesos, principalmente nos de transição AB e BA de solos dos tabuleiros costeiros. Os primeiros autores consideraram a CH um atributo importante no diagnóstico de camadas coesas dos solos e obtiveram correlações positivas e significativas entre CH e densidade de raízes de citros.

Excluindo os horizontes Ap do perfil 1 e Bw₂x do perfil 4, o valor do coeficiente de correlação entre CH e densidade do solo (Ds) foi negativo e significativo ($r = -0,78$, $p < 0,05$, $n = 10$). Os valores de Ds atingiram 1,78 Mg m⁻³ nos horizontes subsuperficiais do perfil 1 e foram superiores aos valores máximos observados por outros autores, em horizontes coesos de solos do Grupo Barreiras: Giarola et al. (2001) - 1,57 Mg m⁻³; e Santana et al. (2006) - 1,71 Mg m⁻³. Lima et al. (2004) e Moreau et al. (2006) relataram valores de Ds superiores a 1,8 Mg m⁻³. De acordo com Araújo Filho et al. (2001), os horizontes coesos dos solos não apresentam organização estrutural nítida da massa do solo, com graus variáveis de coesão (moderadamente coesos a coesos) e Ds média na faixa de 1,5 a 1,8 Mg m⁻³.

Os valores de macroporosidade (macro) dos horizontes coesos foram baixos, variação entre 0,01 e 0,06 m³ m⁻³ (Quadro 2) e inferiores aos observados por Santana et al. (2006), para o horizonte de maior expressão do caráter coeso (horizonte AB) de perfis de Latossolo Amarelo: média 0,06 m³ m⁻³, máximo 0,12 m³ m⁻³ e mínimo 0,03 m³ m⁻³. De acordo com esses autores, a macroporosidade pode ser considerada uma integração de vários atributos envolvidos na coesão do solo: granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação. Em solos adensados, os poros originalmente grandes são comprimidos, resultando em redução no volume total de poros e na macroporosidade (Lima et al., 2004).

A porosidade de aeração (Ae) teve redução consistente do horizonte Ap para os horizontes subsuperficiais, principalmente do segmento superior (Quadro 2). Essas variações abruptas nos parâmetros físicos entre o horizonte A e os horizontes inferiores são características de solos coesos (Cintra & Libardi, 1998; Curcio et al., 2000; Corrêa et al., 2008). No perfil 1, a CH decresceu de 37,7 cm h⁻¹ no horizonte Ap para 0,8 cm h⁻¹ no horizonte BAX. Já as variações da porosidade total (PT) ao longo dos perfis foram maiores no segmento superior, mantendo-se mais estáveis no

Quadro 2. Atributos físicos e teores de carbono orgânico de solos coesos de duas topossequências no município de Itaboraí, RJ

Hor.	Prof.	Ds	CH	Porosidade				AD	Granulometria			CO
				Total	Macro	Micro	Ae		Areia	Silte	Argila	
		m	Mg m ⁻³	cm h ⁻¹	m ³ m ⁻³				g kg ⁻¹			
Topossequência 1												
Perfil 1 – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – segmento superior												
Ap	0-0,18	1,28	37,70	0,54	0,22	0,32	0,23	0,04	691	109	200	20,2
B _{Ax}	0,18-0,32	1,78	0,82	0,40	0,06	0,34	0,09	0,08	600	174	225	11,5
B _{t1x}	0,32-0,61	1,78	0,48	0,39	0,05	0,34	0,07	0,07	559	116	325	5,10
B _{t2x}	0,61-0,75 ⁺	1,77	0,64	0,40	0,03	0,37	0,06	0,06	519	30,5	450	2,40
Perfil 2 – Latossolo Amarelo distrocoeso típico – segmento inferior												
Ap	0-0,22	1,52	5,66	0,49	0,07	0,42	0,13	0,05	513	211	275	12,4
B _{Ax}	0,22-0,36	1,58	2,35	0,42	0,01	0,40	0,11	0,05	529	120	350	12,4
B _{w1x}	0,36-0,74	1,57	2,62	0,41	0,01	0,40	0,11	0,06	585	89	325	2,4
B _{w2x}	0,74-1,02 ⁺	1,52	1,66	0,47	0,02	0,44	0,15	0,07	555	95	350	3,3
Topossequência 2												
Perfil 3 – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – segmento superior												
Ap	0-0,24	1,51	5,77	0,54	0,01	0,52	0,14	0,06	638	111	250	11,5
B _{Ax}	0,24-0,46	1,70	0,79	0,38	0,01	0,37	0,07	0,05	579	121	300	8,7
B _{t1x}	0,46-0,81	1,68	0,56	0,39	0,02	0,37	0,07	0,05	562	113	325	6,0
B _{t2x}	0,81-0,93	1,72	0,65	0,43	0,01	0,42	0,08	0,05	530	44	425	2,4
Perfil 4 – Latossolo Amarelo distrocoeso típico – segmento inferior												
Ap	0-0,32	1,64	1,41	0,46	0,01	0,45	0,08	0,04	566	158	275	15,3
B _{Ax}	0,32-0,50	1,64	0,55	0,39	0,01	0,38	0,07	0,05	540	135	325	8,7
B _{w1x}	0,50-0,81	1,66	1,41	0,42	0,01	0,41	0,10	0,06	515	134	350	6,9
B _{w2x}	0,81-0,92	1,72	8,62	0,42	0,01	0,41	0,07	0,04	507	143	350	6,0

Hor.: horizonte. Valores médios de três repetições. Ds: densidade do solo; CH: condutividade hidráulica; macro: macroporosidade; micro: microporosidade; Ae: porosidade de aeração; AD: água disponível; e CO: carbono orgânico.

segmento inferior. Mesmo o caráter coeso não se manifestando apenas nos horizontes Ap de todos os perfis (consistência macia e ligeiramente dura no estado seco) (Quadro 1), não houve correlação significativa entre os teores de carbono orgânico (CO) e os atributos físicos dos solos (dados não apresentados).

De maneira geral, os solos do segmento inferior da vertente apresentaram melhores condições físicas para o uso agrícola que os localizados no segmento superior da vertente. No campo, nas avaliações morfológicas, percebeu-se que o caráter coeso foi fortemente influenciado pela umidade do solo, conforme já observado por outros autores (Moniz & Buol, 1982; Ribeiro, 2001; Araújo Filho et al., 2001; Embrapa, 2006). Verificou-se que a expressão da coesão é influenciada pelo teor de umidade do material, ou seja, se o solo permanecer úmido por períodos mais longos que outro, ele terá menor chance de expressar essa característica, mesmo tendo potencial para tal.

A umidade média de campo das amostras coletadas no horizonte B_{Ax} no segmento inferior foi

maior que a umidade do mesmo horizonte no segmento superior da vertente, mesmo não sendo verificada diferença significativa estatisticamente (Quadro 3). Contudo, não se pode creditar o desenvolvimento do caráter coeso apenas a variações de umidade, devendo-se considerar também as características químicas e mineralógicas dos solos. Segundo Giarola et al. (2009), os horizontes coesos do Grupo Barreiras apresentaram a fração argila dominada por caulinitas com grau de ordenamento estrutural elevado e baixos teores de óxidos cristalinos e pouco cristalinos.

Os solos coletados por esses autores apresentavam-se na mesma posição da encosta e regimes hídricos semelhantes. Corrêa (2005) usou diversas técnicas químicas, físicas e mineralógicas para estudar solos dos tabuleiros costeiros, apresentando as seguintes conclusões sobre a gênese do caráter coeso: a gênese dos horizontes coesos não se deve à presença de agentes cimentantes, mas, sim, ao maior conteúdo de argilas muito finas, principalmente menores que 0,2 μm, translocadas entre horizonte ou dentro do mesmo horizonte, como argila dispersa.

Após a descrição inicial dos perfis das duas topossequências, tomaram-se amostras apenas do horizonte B_{Ax} para confirmar o efeito da posição na vertente das características físicas e na expressão do caráter coeso dos solos (Quadro 3, Figuras 2 e 3). De acordo com Moreau et al. (2006), o fato de a coesão não se apresentar em todo o perfil do solo, concentrando-se nos horizontes transicionais AB e BA, justifica-se pela presença da matéria orgânica nos horizontes superficiais e, talvez, pelo umedecimento mais pronunciado em profundidade.

Os valores de D_s e Ae apresentaram diferenças significativas entre as posições na vertente estudada (Quadro 3), evidenciando a maior coesão dos solos no segmento superior da vertente. Moreau et al. (2006) trabalharam com duas topossequências de Argissolos Amarelos desenvolvidos de sedimentos argiloarenosos do Grupo Barreiras no sul da Bahia

e observaram maiores valores médios de D_s para os horizontes subsuperficiais dos solos no segmento superior da vertente (D_s = 1,55 Mg m⁻³), em relação aos solos das posições mais baixas e mais dissecadas (D_s = 1,43 Mg m⁻³). Os dados médios, o erro-padrão e o desvio-padrão das variáveis D_s, PT, macroporosidade (Mp), capacidade de campo (CC) e Ae são apresentados na figura 2.

Após a aplicação dos testes U e T (Quadro 3), utilizou-se a análise de componentes principais para eliminar variáveis colineares; as variáveis selecionadas (D_s, macro, AD e PT) foram usadas na análise discriminante de Fischer, para segregar as amostras coletadas nas duas posições da vertente (Figura 3). O coeficiente de correlação canônico de 0,91 (significativo estatisticamente pelo teste de Monte Carlo, p = 0,012) indicou que as variáveis selecionadas foram adequadas para separação das amostras no segmento superior e inferior (Gotelli & Ellison, 2011). O valor calculado do lambda de Wilks (p = 0,00005) confirmou a precisão estatística da segregação das amostras em dois grupos, em razão das variáveis selecionadas. As variáveis de densidade, macroporosidade, porosidade total e água disponível foram importantes para segregar os dois grupos de solos (segmento superior e inferior), sendo correlações positivas observadas para porosidade total e água disponível, para os solos do segmento inferior; e correlações negativas, para macroporosidade e densidade do solo, para os do segmento superior. (Figura 3). O peso geral das variáveis na segregação dos grupos é identificado pela extensão das setas nos gráficos (Gotelli & Ellison, 2011), ou seja, entre os quatro atributos, a Macro e D_s tiveram maior importância na dispersão dos grupos.

No segmento superior, os maiores valores de Macro e D_s favoreceram a menor quantidade de AD nos horizontes B_{Ax}. Klein & Libardi (2002) definiram como macroporosidade a soma dos poros com diâmetro

Quadro 3. Atributos físicos dos horizontes B_{Ax} de solos coesos nos segmentos superior e inferior da vertente no município de Itaboraí, RJ

Parâmetro	Segmento	
	Superior	Inferior
Densidade do solo (D _s), Mg m ⁻³	1,411*	1,314*
Porosidade total (PT), m ³ m ⁻³	0,360	0,365
Macroporosidade (macro), m ³ m ⁻³	0,096	0,082
Capacidade de campo (CC), m ³ m ⁻³	0,241	0,252
Água disponível (AD), m ³ m ⁻³	0,056*	0,078*
Porosidade de aeração (Ae), m ³ m ⁻³	0,117**	0,112**
Umidade de campo (UC), m ³ m ⁻³	0,240	0,280

Valores médios de nove repetições para cada posição; * Indica diferença significativa pelo teste de Mann-Whitney ou teste U (p<0,05); e ** indica diferença significativa pelo teste T (p<0,05).

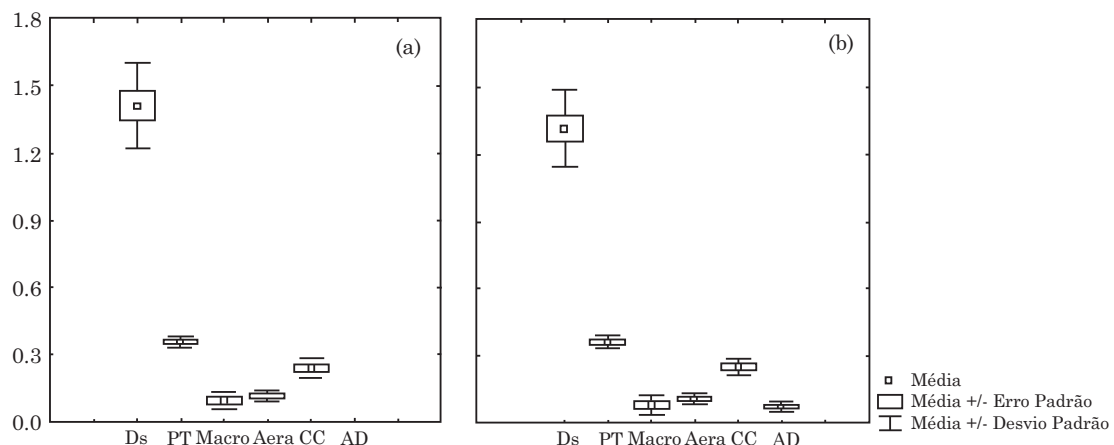


Figura 2. Box-plot indicando a média, o erro-padrão da média e o desvio-padrão (n = 9 em cada posição) dos parâmetros físicos dos horizontes B_{Ax} de solos coesos do segmento superior (A) e inferior (B) da topossequência no município de Itaboraí, RJ. D_s: densidade do solo, PT: porosidade total, Mp: macroporosidade, Ae: porosidade de aeração, CC: capacidade de campo e AD: água disponível.

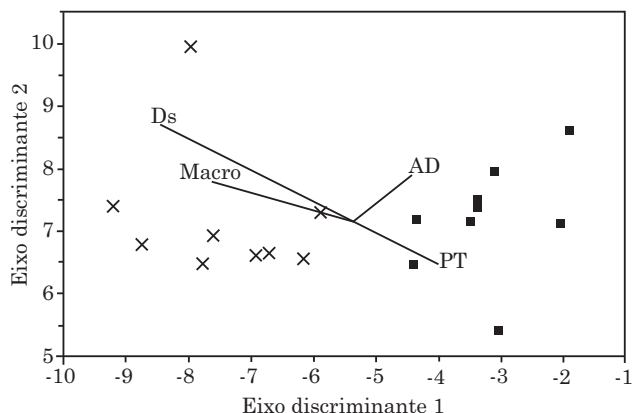


Figura 3. Análise discriminante de Fischer com base nos atributos físicos selecionados pela análise de componentes principais dos horizontes BAX de solos coesos do segmento superior (x) e inferior (■) (n = 9 em cada posição) de topossequência no município de Itaboraí, RJ. Ds: densidade do solo, AD: água disponível, PT: porosidade total e Macro: macroporosidade.

acima de 0,05 mm, sendo a água contida neles não contabilizada como água disponível, pois é facilmente perdida por drenagem. Já no segmento inferior, a maior PT (com maior influência da microporosidade - cerca de 77 % da PT) favoreceu a maior quantidade de AD no mesmo horizonte. A redução da macroporosidade no segmento inferior pode ser explicada pelo maior teor de argila dos horizontes BAX dos solos nessa posição (Quadro 2), aumentando, por consequência, a microporosidade e capacidade de retenção hídrica. A menor capacidade de armazenamento de água no segmento superior tornou a perda de umidade mais rápida no horizonte BAX e, possivelmente, a manifestação do caráter coeso; observou-se o menor teor médio de umidade de campo do horizonte BAX do solo do segmento superior, no momento da coleta das amostras (Quadro 3). Esses resultados indicaram que a dinâmica de água nos solos ao longo das estações do ano deve ser mais bem estudada como forma de elucidar a manifestação diferenciada do caráter coeso, nas diferentes posições nas vertentes da Formação Macacu. Devem ser gerados dados específicos para os solos coesos dessa região, evitando-se extrapolações de trabalhos de outras áreas dos tabuleiros costeiros, uma vez que a Formação Macacu tem estratigrafia diferenciada (Silva & Ferrari, 1997) e é considerada mais antiga que o Grupo Barreiras (Lima et al., 1996).

A manifestação do caráter coeso é diferente da presença do caráter, este último é inquestionável, pois em ambos os posicionamentos (superior e inferior) o solo quando seco apresentava a coesão em seus horizontes subsuperficiais; porém, a amenização da coesão foi observada nos perfis do final da encosta, que foi decorrente da maior umidade dos solos.

CONCLUSÕES

1. Os solos formados de sedimentos da Formação Macacu, planície litorânea do Estado do Rio de Janeiro, apresentaram forte tendência de expressão de caráter coeso em seus horizontes subsuperficiais.

2. A manifestação do caráter coeso foi mais significativa nos solos do segmento superior da vertente em face dos resultados físico-hídricos. Os solos do segmento inferior apresentaram características físicas indicadoras da amenização da coesão, como maior teor de água disponível e porosidade total.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. João Bosco Vasconcellos Gomes, pesquisador da Embrapa Floresta, unidade sediada no município de Colombo, PR, pela leitura e revisão desse manuscrito.

LITERATURA CITADA

- 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, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- ARCANJO, J.D. La formation barreiras dans la region de Vitoria, ES. Strasbourg, Université Louis Pasteur, 1990. 110p. (Tese de Doutorado)
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. An. Acad. Bras. Ci., 47:365-393, 1975.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Arq. Inst. Ci. Terra, 2:1-14, 1964.
- CORRÊA, M.M. Óxidos de ferro e tipificação de caulinitas na gênese de solos coesos do ambiente dos tabuleiros costeiros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 194p. (Tese de Doutorado)
- 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, 2008.
- CINTRA, F.L.D. & LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. Sci. Agríc., 55:367-378, 1998.

- CURCIO, G.R.; CARVALHO, A.P.; BOGNOLA, I.A.; GOMES, I.A.; ROSSI, M.; COELHO, M.R. & SANTOS, R.D. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVAMENTOS DE SOLOS, 6., Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Colombo, Embrapa Florestas/Rio de Janeiro, Embrapa Solos/Campinas. IAC, 2000. 222p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos e análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GERRARD, J. Soils and landforms: An integration of geomorphology and pedology. London, Allen & Un. Press Pub., 1981. 219p.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENE, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. R. Bras. Ci. Solo, 25:239247, 2001.
- GIAROLA, N.F.B.; LIMA, H.V.; ROMEROL, 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.
- GHIDIN, A.D.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. & LIMA, J.M.J.C. 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.
- GONÇALVES, A.O. Caracterização climática. In: RACHEL, B.; PRADO, R.B.; FIDALGO, E.C. & BONNET, A., eds. Monitoramento da revegetação do COMPERJ: Etapa inicial. Brasília, Embrapa, 2012. p.65-82.
- GOTELLI, N.J. & ELLISON, A.M. Princípios de estatística em ecologia. Tradução: Fabrício Beggiano Baccaro. Porto Alegre, Artmed, 2011. 683p.
- HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: A model of soil genesis. Geoderma, 13:1-22, 1975.
- JMP/SAS. Statistics and Graphics Guide, Version 5, Release 5.1.2. (computer program manual) Statistical Analysis System. Cary, 2005. Não paginado.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Ci. Rural, 32:945-953, 2002.
- LIMA, M.R.; CABRAL JÚNIOR, M. & STEFANI, F.L. Palinologia de sedimentos da formação Macacu - Rife da Guanabara, Terciário do estado do Rio de Janeiro, Brasil. An. Acad. Bras. Ci., 68: 531- 543, 1996.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E. & LIBARDI, P.L.L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. R. Bras. Ci. Solo, 28:467-476. 2004.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, J.F.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; LIMA, J.F.W.F. & FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 33:1001-1011, 2009.
- MOREAU, A.M.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, 2006.
- MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brazil: I Double-water flow model of soil development. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1228-1233, 1982.
- RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.93-121.
- RICCOMINI, C.; SANTANA, L.G. & FERRARI, A.L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO-NEVES, B.B., eds. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, 2004. p.383-405.
- SANTANA, M.B.; SILVA, 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. R. Bras. Ci. Solo, 30:1-12, 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, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SILVA, L.; EMER, A.A.; BORTOLINI, C.E. & ARRUDA, J.H. Estudo de um Nitossolo Vermelho com evidencia de caráter coeso da Região Sudoeste do Paraná. Syn. Scyent., 4:301-304, 2009.
- SILVA, C.G. & FERRARI, A.L. Neotectonismo no litoral nordeste do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5., Penedo, 1976. Anais... Penedo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1997. p.80-82.
- TERRBRAAK, C.J.F.; & SMILAUER, P. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for canonical community ordination (version 4.5). Ithaca, Microcomputer Power, 2002. 500p.