

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

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⁽¹⁾

Marlete Bastos Santana⁽²⁾, Luciano da Silva Souza⁽³⁾, Laercio Duarte Souza⁽²⁾ & Luiz Eduardo Ferreira Fontes⁽⁴⁾

RESUMO

Em 2001, foram realizadas a caracterização física e a avaliação do sistema radicular de citros em dois solos típicos de Tabuleiros Costeiros (Latosolo Amarelo-LA e Argissolo Acinzentado-PAC) do Estado da Bahia, visando estabelecer atributos que melhor identifiquem horizontes coesos. Em cada um dos solos, foram coletadas amostras nos primeiros quatro horizontes, para determinar granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada. Também foram determinadas a resistência do solo à penetração e a umidade crítica de resistência à penetração. Amostras de raízes de citros foram coletadas nos mesmos horizontes. Foi brusca a diminuição da densidade de raízes de citros nos horizontes AB, Bw1, BA e Bt1, associada ao aspecto coeso, sendo um indicador direto de horizonte coeso; no entanto, pela dificuldade de medição, buscou-se identificar atributos do solo mais bem relacionados com a densidade de raízes. A resistência do solo à penetração foi o atributo que melhor identificou a presença de horizonte coeso, devendo ser avaliada em umidade abaixo daquela considerada crítica para expressar a coesão. A condutividade hidráulica saturada também se revelou adequada para identificar horizonte coeso, podendo ser substituída pela macroporosidade, atributo igualmente importante para tal finalidade e com

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada a Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Recebido para publicação em outubro de 2003 e aprovado em outubro de 2005.

⁽²⁾ Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: marletesantana@bol.com.br

⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Rua Embrapa, s/n, Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: lsouza@cnpmf.embrapa.br; laercio@cnpmf.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. E-mail: luizfontes@ufv.br

menor variabilidade e de mais fácil medição que aquele. A densidade do solo pode ser considerada um atributo para indicar a presença de horizontes coesos, tendo como principal limitação a interferência da granulometria na manifestação dos seus valores. Os indicadores recomendados permitem detectar a presença de horizontes coesos, orientando intervenções de manejo para superar os problemas de aprofundamento do sistema radicular que tais solos apresentam.

Termos de indexação: Latossolo Amarelo, Argissolo Acinzentado, densidade do solo, macroporosidade, condutividade hidráulica saturada, resistência do solo à penetração.

SUMMARY: *SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND CITRUS ROOT SYSTEM DISTRIBUTION AS INDICATORS OF COHESIVE LAYERS IN SOILS OF COASTAL TABLELANDS IN THE STATE OF BAHIA, BRAZIL*

The physical characterization of two typical Coastal Tableland soils (Yellow Latosol-YL and Gray Argisol-GL) of the State of Bahia, Brazil, was carried out in 2001 and the citrus root system in such soils was evaluated in order to determine attributes that best identify the cohesive layer. The first four horizons in each soil were sampled for analysis of particle size distribution, soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, and saturated hydraulic conductivity. Soil resistance to penetration and critical humidity of soil resistance to penetration were determined. Citrus root samples were collected in the same horizons and the results were expressed in cm cm^{-3} of soil. The citrus root system density reduced abruptly in the AB, Bw1, BA, and Bt1 horizons, and this was associated to soil cohesion. The best attribute to identify cohesion was soil resistance to penetration, which should be evaluated at soil humidity below the critical level to express cohesion. Saturated hydraulic conductivity was another attribute that proved appropriate to evaluate soil cohesion. It can be substituted by macroporosity, which is equally important to identify cohesion, with less variability besides being easier to measure than saturated hydraulic conductivity. Soil bulk density can be considered an attribute to evaluate the presence of cohesive horizons, but its use is limited mainly by the interference of particle size in its determination. The recommended indicators allow the detection of the presence of cohesive layers, orienting additional soil management practices to overcome the problems that such soils present for deep root growth.

Index terms: Yellow Latosol, Gray Argisol, soil bulk density, macroporosity, saturated hydraulic conductivity, soil resistance to penetration.

INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros, formações terciárias presentes desde o Amapá até o Rio de Janeiro, são planícies litorâneas com elevação média de 200 m acima do nível do mar, onde predominam Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos distróficos ou álicos (Jacomine, 1996). Esses solos têm como característica marcante a presença de horizontes subsuperficiais coesos, situados geralmente entre profundidades de 0,15-0,30 m e 0,80-0,90 m, que dificultam a dinâmica da água no perfil e o seu armazenamento no solo, além de diminuir o volume de exploração do solo pelas raízes. Isso provoca redução na absorção de nutrientes e, principalmente, de água pelas plantas,

o que, associado às freqüentes estiagens observadas na região de ocorrência de tais solos, faz com que as plantas experimentem estresses freqüentes, resultando em baixa produtividade e baixa longevidade dos pomares de citros (Rezende, 2000). Sobre o assunto, Paiva et al. (1998), Paiva & Souza (1998) e Souza et al. (2002) mostraram que a disponibilidade de água para a cultura de citros e o aprofundamento do sistema radicular são mais importantes que o suprimento de nutrientes.

A cultura dos citros tem importante papel econômico e social nos Tabuleiros Costeiros, sendo a Bahia o segundo e Sergipe o terceiro produtor de citros do Brasil, com pomares instalados nesse ecossistema, ocupando uma área de 113.000 ha

(IBGE, 2003). Quanto à influência negativa das camadas coesas, Rezende (2000) informa que, de maneira geral, os pomares cítricos instalados nos Tabuleiros Costeiros não atingem produtividade superior a uma caixa (200 frutos) por planta/ano e apresentam vida útil de aproximadamente 10 a 12 anos (os da região Sudeste atingem produtividade média de 2,2 caixas/planta/ano e chegam, em média, a 25 anos de vida útil). Essa informação apresentada pelo autor quanto à vida útil dos pomares cítricos nos Tabuleiros Costeiros carece de confirmação, uma vez que os próprios pomares amostrados neste trabalho a negam.

Nogueira (1996) relacionou várias demandas e propostas de pesquisa para solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, dentre as quais se pretende definir, com maior clareza, quais os atributos que melhor caracterizam os horizontes coesos e a sua localização no perfil.

O conceito de adensamento apresentado por Curi (1993) enfatiza a importância da medição do espaço poroso e da densidade do solo para a caracterização de horizontes adensados. Freitag (1971) definiu como principais atributos para caracterizar a presença de tais horizontes a porosidade, a distribuição do tamanho de poros e a estrutura do solo.

Assim, maiores informações sobre os horizontes coesos não só contribuiriam para o entendimento dos fatores e processos relacionados com sua formação, mas também permitiriam estabelecer métodos e práticas de manejo adequadas ou adaptadas a esses tipos de solos, minimizando os efeitos negativos da presença desses horizontes.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi promover a caracterização física em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia e avaliar o sistema radicular de citros em tais solos, buscando estabelecer atributos que melhor identifiquem horizontes coesos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 2001, em dois pomares de citros estabelecidos em solos representativos dos Tabuleiros Costeiros, nos municípios de Cruz das Almas (Latossolo Amarelo-LA, textura variando de franco-arenosa a argiloarenosa, localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical) e de Rio Real (Argissolo Acinzentado-PAC, textura variando de areia a franco-argilo-arenosa, localizado na Citrocultura do Nordeste Ltda.), ambos no Estado da Bahia. O clima de Cruz das Almas, de acordo com a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Af, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18 °C e o mais seco com precipitação igual ou superior a 60 mm; a

pluviosidade média anual é de 1.200 mm, sendo os meses de março a julho os mais chuvosos e outubro e janeiro os mais secos, com temperatura média anual de 24,2 °C. Já o clima de Rio Real é do tipo As, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18 °C, o mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm e verão seco; a pluviosidade média anual é de 1.000 mm, correspondendo os meses de maio a julho ao período mais chuvoso e os meses de outubro a dezembro ao período mais seco, e a temperatura média anual é de 24 °C.

No LA, o pomar de laranja 'Bahia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), enxertada sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), foi plantado em 1987 – portanto, com 14 anos no momento da amostragem –, no espaçamento de 6 x 4 m, com produtividade média de 14 t ha⁻¹ e longevidade estimada em 20 anos. Já no PAC, o pomar de laranja 'Pêra' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), enxertada sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), foi plantado em 1985 – portanto com 16 anos no momento da amostragem –, no espaçamento de 6 x 4 m, com produtividade média de 17 t ha⁻¹ e longevidade estimada em 20 anos.

Em cada um dos solos, foram abertos três perfis de 3,00 x 2,00 x 1,20 m (LA) e 3,00 x 2,00 x 0,85 m (PAC), amostrando-se o solo nos primeiros quatro horizontes, em cinco posições no perfil, sendo duas em relação à linha e três em relação à entrelinha do pomar (Figura 1). Foram efetuadas as análises da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada (Embrapa, 1997). Também foi determinada a resistência do solo à penetração de acordo com a umidade do solo, usando-se penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf et al., 1983) e efetuadas as medições em cada uma das três trincheiras abertas em cada solo, em diferentes épocas, registrando-se a umidade gravimétrica correspondente a cada medição. Foram realizadas as medições necessárias para cobrir ampla faixa de umidade no solo. Os dados de resistência à penetração foram expressos em MPa. Com os valores obtidos, foram construídos gráficos de resistência à penetração x umidade gravimétrica do solo e ajustadas equações de regressão aos mesmos. Com base nas equações, foi estimada a umidade correspondente à resistência crítica de 2,0 MPa, sendo chamada de umidade crítica de resistência à penetração (UCRP).

Como informação complementar, as amostras de solo coletadas foram analisadas quimicamente (pH em água, P, K, Ca, Mg, Al, CTC, V e MO), segundo métodos descritos em Embrapa (1997).

As amostras de raízes foram coletadas em dois planos perpendiculares, com a planta no seu ponto de intersecção, de maneira semelhante a um sistema de eixos cartesianos, em que a planta está no ponto

zero (Figura 1). Partindo deste ponto, o primeiro ponto de amostragem localizou-se a 0,50 m do tronco, seguindo de 0,50 em 0,50 m até à distância média da próxima planta, ou seja, como os pomares foram instalados no espaçamento de 6 x 4 m, foram amostrados seis pontos no sentido da entrelinha (3 m) e quatro pontos no sentido da linha (2 m).

Para coletar as amostras, utilizou-se um cilindro de aço de 1,20 m de comprimento por 0,085 m de diâmetro, o qual foi introduzido verticalmente no solo com a umidade próxima à capacidade de campo. Esse cilindro amostrador dispunha de uma estria lateral que permitia a retirada do solo do seu interior, separando-o de acordo com as profundidades dos horizontes avaliados. As raízes foram separadas do solo em peneira de malha de 2 mm, lavadas e colocadas em sacos plásticos, previamente identificados de acordo com os pontos de amostragem e horizontes, que continham solução de álcool a 50 %; em seguida, foram acondicionadas em câmaras frigoríficas para posterior avaliação. Posteriormente, as raízes foram distribuídas uniformemente, com o auxílio de uma pinça, em transparências utilizadas em retroprojetores, para serem digitalizadas por meio de um scanner.

As imagens digitalizadas das raízes obtidas em scanner foram processadas no aplicativo de computador GSRoot (Guddanti & Chambers, 1993), obtendo-se o comprimento total. Os dados finais foram expressos em densidade de raízes no solo.

Para compatibilizar os pontos amostrais de raízes (10) com os de solo (5), foram calculadas as médias

dos dados obtidos nos dois pontos de raízes mais próximos de cada ponto de solo.

Inicialmente, os resultados foram submetidos à análise de variância. Dada a impossibilidade de casualização dos fatores avaliados no trabalho, a análise estatística foi feita no esquema de parcelas subsubsubdivididas no espaço, avaliando-se os fatores isolados classes de solo (2), horizontes (4) e posições de amostragem no perfil (5), e as interações entre eles; os perfis (3) foram considerados como repetição.

Na avaliação da pertinência de cada atributo físico para a identificação dos horizontes coesos, utilizou-se a estatística descritiva para medidas de dispersão, como a média, o mínimo e o máximo.

Também foi avaliada a variabilidade das variáveis do solo e da densidade de raízes entre os horizontes, por meio do coeficiente de variação, que foi classificado como baixo (< 10 %), médio (10–20 %), alto (20–30 %) e muito alto (> 30 %), de acordo com Gomes (1984).

Em seguida, foi feita a análise de correlação entre as variáveis do solo, visando explorar as associações e as possíveis complementaridades entre elas, para a finalidade em questão.

Todas as análises até aqui mencionadas foram feitas por meio do aplicativo SAS, versão 6.11 (SAS, 1989).

Foram também ajustadas equações de regressão da densidade de raízes de citros com as variáveis do solo consideradas no trabalho, usando-se o aplicativo Excel.

As médias das variáveis envolvidas no trabalho foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (Scott & Knott, 1974), a 5 %, pelo aplicativo estatístico SISVAR, desenvolvido por Ferreira (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características químicas dos solos

A caracterização química dos solos (Quadro 1), mostrou os horizontes superficiais Ap e Ap1 com valores mais elevados de pH, P, K, Ca, Mg, CTC, V e M.O., bem como menores valores de Al, quando comparados com os demais horizontes.

Densidade de raízes

Nos dois solos a densidade de raízes foi estatisticamente diferente entre os horizontes, basicamente entre o Ap e os demais subjacentes (Figura 2), com maior concentração de raízes nos horizontes superficiais Ap (0,75 cm de raízes cm⁻³ de solo), Ap1 e Ap2 (0,30 e 0,26 cm cm⁻³), com

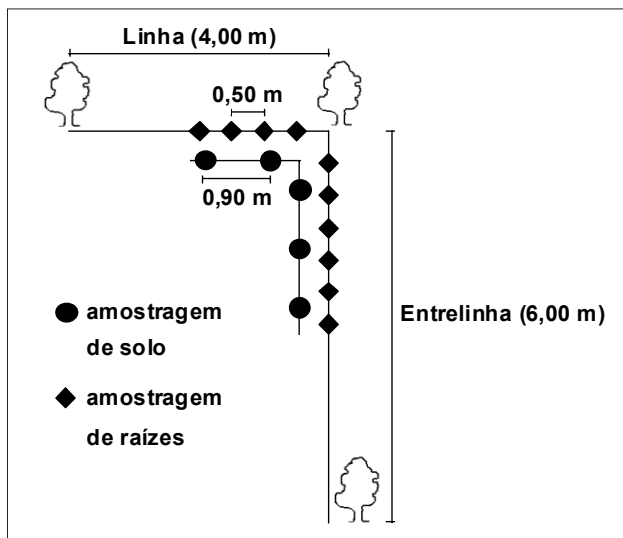


Figura 1. Esquema de amostragem de solo e de raízes em pomares de citros estabelecidos em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

Quadro 1. Características químicas de Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia

Horizonte	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CTC ⁽¹⁾	V	MO
m	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			%	g kg ⁻¹	
Latossolo Amarelo									
Ap (0-0,09 m)	5,96	23,63	58,60	2,09	0,90	0,00	4,61	68,19	13,3
AB (0,09-0,38 m)	5,62	5,53	52,40	1,10	0,69	0,18	4,18	45,94	8,6
Bw1 (0,38-0,72 m)	4,87	1,66	27,67	0,77	0,34	0,61	4,18	28,29	6,7
Bw2 (0,72-1,20 m)	4,61	0,52	23,80	0,68	0,27	0,75	3,85	25,83	6,0
Argissolo Acinzentado									
Ap1 (0-0,10 m)	5,71	29,99	34,53	2,36	0,77	0,00	4,37	74,46	15,3
Ap2 (0,10-0,20 m)	5,67	15,63	17,80	1,54	0,37	0,10	3,31	58,43	10,2
BA (0,20-0,41 m)	5,53	19,12	12,40	0,96	0,26	0,26	3,09	43,40	7,7
Bt1 (0,41-0,85 m)	4,74	4,87	10,60	0,50	0,12	0,72	2,88	24,13	6,6

⁽¹⁾ CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; e MO = matéria orgânica.

redução em profundidade. Isso concorda com o observado por Cintra & Libardi (1998) e Rezende (2000) e indica que os horizontes coesos dificultam o aprofundamento do sistema radicular, sendo este um indicador direto de horizonte coeso; no entanto, pela dificuldade de medição, buscou-se identificar atributos do solo que melhor se relacionassem com a densidade de raízes de citros.

Observações de campo em solos de Tabuleiros Costeiros têm demonstrado que o sistema radicular de várias culturas restringe-se quase que totalmente aos horizontes do solo acima dos coesos (Souza, 1996). A maior concentração de raízes nos horizontes mais superficiais está associada também à maior atividade biológica e à disponibilidade de água e nutrientes nos horizontes próximos à superfície do solo. Já o decréscimo na densidade de raízes em profundidade deve estar relacionado com o aspecto coeso e com o conseqüente aumento da densidade e da resistência do solo à penetração, aliados ao maior teor de argila, aumento da microporosidade e diminuições da matéria orgânica, da porosidade total e da macroporosidade, observados nos horizontes subsuperficiais.

É possível que a menor percentagem de saturação por bases (V) nos horizontes inferiores tenha influenciado o decréscimo da densidade de raízes nesse mesmo sentido; no entanto, acredita-se que tal influência tenha sido bem menor que a da presença da coesão, visto que Souza et al. (2002) observaram a presença e o aprofundamento de raízes de citros bem maiores em um solo quimicamente mais pobre, porém sem coesão, em comparação com dois outros solos quimicamente mais ricos, mas com coesão, permitindo inferir que, no caso, o aspecto coeso sobrepujou as condições químicas do solo.

As raízes das plantas cítricas, quando cultivadas em solos arenosos e profundos, atingem 4 a 5 m de profundidade (Rodríguez, 1980). O crescimento das raízes, entretanto, é seriamente prejudicado nos solos com camadas adensadas, tal como ocorre em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, onde se observa uma tendência de superficialização das raízes, graças aos valores elevados de densidade e de resistência do solo à penetração, redução da macroporosidade e, conseqüentemente, da aeração (Rezende, 2000).

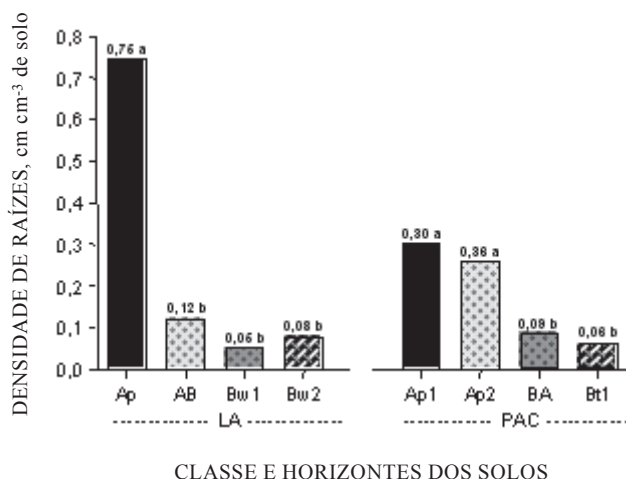


Figura 2. Densidade de raízes de citros em Latossolo Amarelo (LA) e Argissolo Acinzentado (PAC) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. Médias seguidas pela mesma letra, para o mesmo solo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

Trabalho desenvolvido por Cintra (1997) com citros, em Argissolo Acinzentado de tabuleiro em Umbaúba (SE), mostrou que 90 % das raízes concentraram-se nos primeiros 0,4 m do solo e 61 % na camada de 0–0,2 m. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho (1999), em Latossolos Amarelo de tabuleiro localizados em Conceição do Almeida (BA) e Lagarto (SE).

Os resultados apresentados por Souza et al. (2002) confirmam a influência negativa da coesão do solo no crescimento e aprofundamento do sistema radicular de citros em solos de Tabuleiros Costeiros da Bahia. A densidade de raízes no Argissolo Acinzentado-PAC, não-coeso (terço inferior da toposequência), foi de 3,1 a 4,2 vezes maior do que no Latossolo Amarelo argissólico-LAp (terço superior) e no Argissolo Amarelo-PA (terço médio), ambos coesos. Um ponto a ressaltar é que as densidades de raízes nos horizontes superficiais do LAp (0–0,18 m) e do PAX (0–0,20 m) foram bastante aproximadas daquela observada no horizonte mais profundo avaliado no PAC (0,87–1,05 m), minimizando a possibilidade de interferência genética na superficialização das raízes de citros normalmente observada nos tabuleiros.

Espera-se que, em solos dos Tabuleiros Costeiros, onde o horizonte coeso apresenta elevada densidade do solo e baixa macroporosidade, o aumento da resistência do solo à penetração de raízes e a redução do espaço poroso tenham efeito marcante na distribuição das raízes das plantas cultivadas.

Caracterização física dos solos

Confrontando as proposições de Curi (1993) e de Freitag (1971) com os resultados obtidos para dois solos de tabuleiro representativos e bem contrastantes, como o Latossolo Amarelo (LA) e o Argissolo Acinzentado (PAC), pode-se concordar com a indicação da densidade do solo como um atributo importante para avaliar a presença de coesão, já que este atributo aumentou nos horizontes coesos AB do LA e BA do PAC, em relação aos não-coesos (Ap no LA e Ap1 e Ap2 no PAC, Quadro 2). Tais aumentos foram maiores nesses horizontes (19,6 e 11,8 %, respectivamente), do que no Bw1 e Bt1 (Quadro 3). A densidade do solo apresentou regressões "negativas" (diminuição da variável dependente com aumento da variável independente) com a densidade de raízes de citros (Figuras 3a e b), o que constitui ponto a favor da sua utilização para identificar horizontes coesos.

Nos dois solos, a densidade do solo apresentou coeficientes de variação baixos (< 10 %) nos horizontes coesos, embora a amplitude de variação tenha sido de 1,57 a 1,81 kg dm⁻³ (Quadros 4 e 5), o que representa uma dificuldade na utilização desse atributo para identificar a coesão. Outra dificuldade seria a relação existente entre a densidade do solo e a granulometria, da qual podem resultar valores elevados de densidade do solo que, se utilizados de forma isolada, podem levar a interpretações enganosas da presença de coesão. Como exemplo, no PAC, foram obtidos valores máximos de

Quadro 2. Granulometria, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica saturada e umidade crítica de resistência à penetração, em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia, na avaliação de atributos físicos do solo como indicadores de horizontes coesos

Horizonte	AT ⁽¹⁾	Silte	Argila	Ds	PT	Mp	mp	K ₀	UCRP
m	g kg ⁻¹			kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³			cm h ⁻¹	kg kg ⁻¹
Latossolo Amarelo									
Ap (0-0,09)	795 a ⁽²⁾	78 a	127 c	1,43 d	0,4222 a	0,1458 a	0,2760 a	17,30 a	0,11 a
AB (0,09-0,38)	640 b	76 a	284 b	1,71 a	0,3203 c	0,0623 b	0,2579 b	0,05 c	0,15 b
Bw1 (0,38-0,72)	539 c	83 a	378 a	1,56 c	0,3682 b	0,0916 b	0,2765 a	0,47 c	0,17 a
Bw2 (0,72-1,20)	521 c	94 a	385 a	1,65 a	0,3550 b	0,1025 b	0,2524 b	4,35 b	0,15 b
Argissolo Acinzentado									
Ap1 (0-0,10)	897 a	32 a	71 c	1,46 d	0,4200 a	0,2821 a	0,1390 b	102,89 a	0,02 c
Ap2 (0,10-0,20)	904 a	22 a	74 c	1,57 c	0,3854 b	0,2633 b	0,1187 c	68,31 b	0,05 b
BA (0,20-0,41)	856 b	28 a	116 b	1,69 a	0,3300 d	0,1812 c	0,1490 b	14,75 c	0,11 a
Bt1 (0,41-0,85)	746 c	38 a	216 a	1,62 b	0,3486 c	0,1641 d	0,1844 a	8,41 d	0,11 a

⁽¹⁾ AT – areia total; Ds – densidade do solo; PT – porosidade total; Mp – macroporosidade; mp – microporosidade; K₀ – condutividade hidráulica em meio saturado; e UCRP – umidade crítica de resistência à penetração. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

Quadro 3. Variação percentual dos atributos físicos avaliados e de raízes de citros, nos horizontes coesos em relação aos não-coesos, em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia, na avaliação de atributos físicos do solo como indicadores de horizontes coesos

Atributo	Latossolo Amarelo		Argissolo Acinzentado		Dois solos em conjunto
	AB	Bw1	BA	Bt1	AB, Bw1, BA e Bt1
	Variação percentual em relação a Ap		Variação percentual em relação a Ap1 e Ap2		Variação percentual em relação a Ap, Ap1 e Ap2
Ds ⁽¹⁾	+19,6	+9,7	+11,8	+6,7	+10,8
PT	-24,1	-12,7	-18,1	-13,5	-16,5
Mp	-57,3	-37,1	-33,9	-40,2	-46,1
mp	-6,6	+0,2	+15,6	+43,1	+22,0
K ₀	-99,7	-97,3	-82,8	-90,2	-90,6
UCRP	+36,4	+54,5	+220,0	+240,0	+18,0
DR	-83,7	-93,0	-68,2	-77,1	-75,0

⁽¹⁾ Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); PT = porosidade total (m³ m⁻³); Mp = macroporosidade (m³ m⁻³); mp = microporosidade (m³ m⁻³); K₀ = condutividade hidráulica saturada (cm h⁻¹); UCRP = umidade crítica de resistência à penetração (kg kg⁻¹); e DR = densidade de raízes (cm de raízes cm⁻³ de solo).

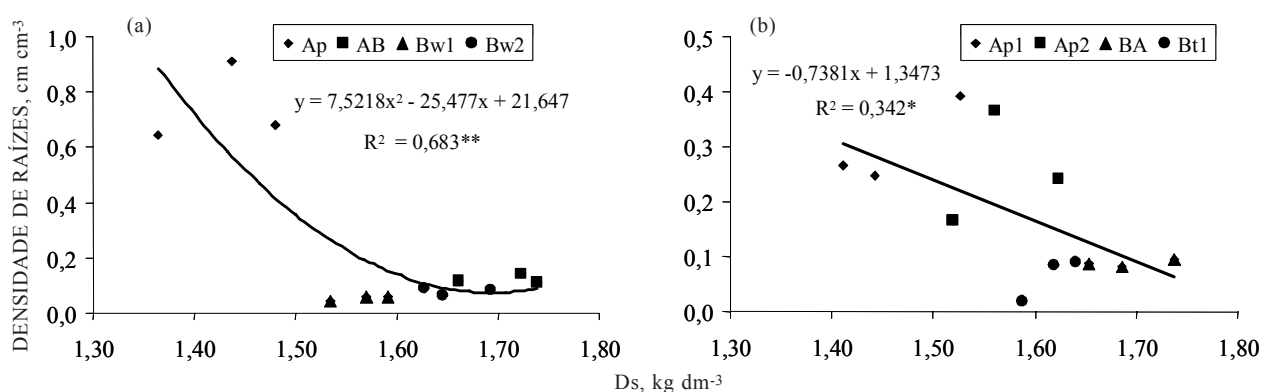


Figura 3. Relação entre densidade de raízes de citros e densidade do solo (Ds), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

densidade do solo de 1,65 e 1,81 kg dm⁻³, respectivamente, nos horizontes Ap1 e Ap2, não-coesos (Quadro 5), pelo fato de serem arenosos (Quadro 2), semelhantemente ao observado nos horizontes coesos BA e Bt1. Isto acarreta maior densidade das partículas sólidas e menor agregação. Em solos de tabuleiro, Paiva (1997) observou maiores valores de densidade do solo em um PAC, de textura areia franca a franco-arenosa e sem coesão, em comparação com um LA argissólico e um Argissolo Amarelo, ambos coesos e de textura média a argilosa.

A porosidade total, pelo fato de ter sido obtida por cálculo, utilizando a densidade do solo, mostrou aspectos semelhantes a este último atributo, com coeficientes de variação baixos (< 10 %), amplitude de 0,2815 a 0,4290 m³ m⁻³ (Quadros 4 e 5) e reduções percentuais médias de 16,5 %, nos horizontes coesos

para os dois solos em conjunto, de 24,1 %, no horizonte AB do LA, e de 18,1 %, no BA do PAC (Quadro 3). Como já era esperado, foram "positivas" as regressões (aumento da variável dependente com o aumento da variável independente) entre porosidade total e densidade de raízes de citros (Figuras 4a e b).

Ao avaliar a distribuição do tamanho dos poros, observou-se que a macroporosidade mostrou-se um atributo importante pela redução ocorrida nos horizontes coesos AB do Latossolo Amarelo e BA do Argissolo Acinzentado (Quadro 2), bem maior do que a observada para a porosidade total, sendo em média de 46,1 %, para os dois solos em conjunto, de 57,3 %, no horizonte AB do LA, e de 33,9 %, no BA do PAC (Quadro 3). Outro aspecto foram as regressões "positivas" com a densidade de raízes de citros (Figuras 5a e b). No entanto, apresentou coeficiente

Quadro 4. Medidas de dispersão para os atributos físicos avaliados em relação à identificação da coesão, em Latossolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro do Estado da Bahia

Atributo ⁽¹⁾	N ⁽²⁾	CV	Média	Mínimo	Máximo
Horizonte Ap					
AT (g kg ⁻¹)	15	3	795 a ⁽³⁾	748	827
Silte (g kg ⁻¹)	15	21	78 a	52	109
A (g kg ⁻¹)	15	20	127 c	80	181
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,43 d	1,32	1,51
PT (m ³ m ⁻³)	15	4	0,4222 a	0,3940	0,4637
Mp (m ³ m ⁻³)	15	21	0,1458 a	0,0764	0,2047
mp (m ³ m ⁻³)	15	6	0,2760 a	0,2631	0,3200
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	17	17,3 a	7,6	20,8
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	9	0,11 a	0,10	0,12
Horizonte AB					
AT (g kg ⁻¹)	15	9	640 b	540	726
Silte (g kg ⁻¹)	15	14	76 a	53	95
A (g kg ⁻¹)	15	20	284 b	201	385
Ds (kg dm ⁻³)	15	3	1,71 a	1,61	1,80
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3203 c	0,2815	0,3731
Mp (m ³ m ⁻³)	15	40	0,0623 b	0,0259	0,1181
mp (m ³ m ⁻³)	15	6	0,2579 b	0,2359	0,2844
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	44	0,05 c	0,02	0,09
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	7	0,15 b	0,14	0,16
Horizonte Bw1					
AT (g kg ⁻¹)	15	3	539 c	508	571
Silte (g kg ⁻¹)	15	15	83 a	58	109
A (g kg ⁻¹)	15	4	378 a	354	416
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,56 c	1,46	1,66
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3682 b	0,3231	0,4290
Mp (m ³ m ⁻³)	15	30	0,0916 b	0,0559	0,1567
mp (m ³ m ⁻³)	15	5	0,2765 a	0,2422	0,2968
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	10	0,5 c	0,4	0,5
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	6	0,17 a	0,16	0,18
Horizonte Bw2					
AT (g kg ⁻¹)	15	5	521c	471	560
Silte (g kg ⁻¹)	15	13	95 a	73	121
A (g kg ⁻¹)	15	8	384 a	354	456
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,65 a	1,52	1,77
PT (m ³ m ⁻³)	15	6	0,3550 b	0,3197	0,4005
Mp (m ³ m ⁻³)	15	31	0,1025 b	0,0438	0,1557
Mp (m ³ m ⁻³)	15	8	0,2524 b	0,2192	0,2760
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	17	4,3 b	3,2	6,0
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	10	0,15 b	0,14	0,17

⁽¹⁾ AT = areia total; A = argila; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica saturada; e UCRP = unidade crítica de resistência à penetração. ⁽²⁾ N expressa o número de dados para cada atributo, CV em percentagem e as demais medidas de dispersão expressas nas mesmas unidades dos atributos físicos. ⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, para o mesmo atributo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

de variação alto (20–30 %) no LA e médio (10–20 %) no PAC, bem como amplitudes de 0,0259 a 0,1181 m³ m⁻³ no LA e de 0,1239 a 0,2478 m³ m⁻³ no PAC (Quadros 4 e 5). Deve-se ressaltar que a macroporosidade pode ser considerada uma integração de granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação, todos atributos importantes envolvidos na coesão.

Já a microporosidade revelou-se um atributo menos indicativo para avaliar a presença de horizontes coesos, considerando o comportamento contrastante nos solos avaliados, a saber: a inesperada redução de 6,6 % no horizonte AB do LA e o aumento de 15,6 % no BA do PAC (Quadro 3), como também regressão "positiva" com a densidade de raízes de citros no primeiro solo (Figura 6a) e "negativa" no segundo (Figura 6b).

Quadro 5. Medidas de dispersão para os atributos físicos avaliados em relação à identificação da coesão, em Argissolo Acinzentado de Tabuleiro Costeiro do Estado da Bahia

Atributo ⁽¹⁾	N ⁽²⁾	CV	Média	Mínimo	Máximo
Horizonte Ap1					
AT (g kg ⁻¹)	15	2	897 a ⁽³⁾	845	929
Silte (g kg ⁻¹)	15	38	33 a	9	52
A (g kg ⁻¹)	15	37	70 c	30	13
Ds (kg dm ⁻³)	15	8	1,46 d	1,25	1,65
PT (m ³ m ⁻³)	15	10	0,4200 a	0,3455	0,5038
Mp (m ³ m ⁻³)	15	19	0,2821 a	0,1756	0,3566
mp (m ³ m ⁻³)	15	15	0,1390 b	0,1063	0,1799
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	4	102,9 a	97,4	112,5
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	0	0,02 c	0,02	0,02
Horizonte Ap2					
AT (g kg ⁻¹)	15	2	904 a	868	925
Silte (g kg ⁻¹)	15	70	21 a	1	51
A (g kg ⁻¹)	15	24	75 c	60	102
Ds (kg dm ⁻³)	15	7	1,57 c	1,43	1,81
PT (m ³ m ⁻³)	15	11	0,3854 b	0,3000	0,4518
Mp (m ³ m ⁻³)	15	16	0,2633 b	0,1716	0,3222
mp (m ³ m ⁻³)	15	24	0,1187 c	0,0366	0,1547
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	7	68,3 b	59,2	77,8
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	12	0,05 b	0,04	0,05
Horizonte BA					
AT (g kg ⁻¹)	15	2	856 b	824	884
Silte (g kg ⁻¹)	15	42	28 a	8	52
A (g kg ⁻¹)	15	19	116 b	81	165
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,69 a	1,57	1,81
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3300 d	0,2976	0,3669
Mp (m ³ m ⁻³)	15	20	0,1812 c	0,1239	0,2478
mp (m ³ m ⁻³)	15	11	0,1490 b	0,1191	0,1760
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	11	14,8 c	12,5	17,8
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	14	0,11 a	0,09	0,12
Horizonte Bt1					
AT (g kg ⁻¹)	15	6	746 c	704	896
Silte (g kg ⁻¹)	15	36	38 a	13	54
A (g kg ⁻¹)	15	19	216 a	91	272
Ds (kg dm ⁻³)	15	3	1,62 b	1,49	1,68
PT (m ³ m ⁻³)	15	6	0,3486 c	0,3221	0,3949
Mp (m ³ m ⁻³)	15	17	0,1641 d	0,1086	0,2247
mp (m ³ m ⁻³)	15	7	0,1844 a	0,1665	0,2136
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	7	8,4 d	7,5	9,6
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	5	0,11 a	0,11	0,12

⁽¹⁾ AT = areia total; A = argila; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica saturada; e UCRP = umidade crítica de resistência à penetração. ⁽²⁾ N expressa o números de dados para cada atributo, CV em porcentagem e as demais medidas de dispersão expressas nas mesmas unidades dos atributos físicos. ⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, para o mesmo atributo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

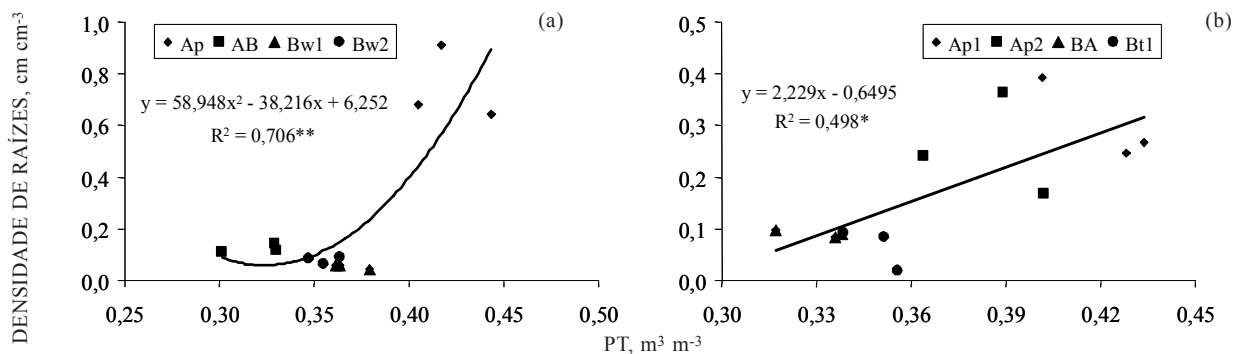


Figura 4. Relação entre densidade de raízes de citros e porosidade total (PT), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

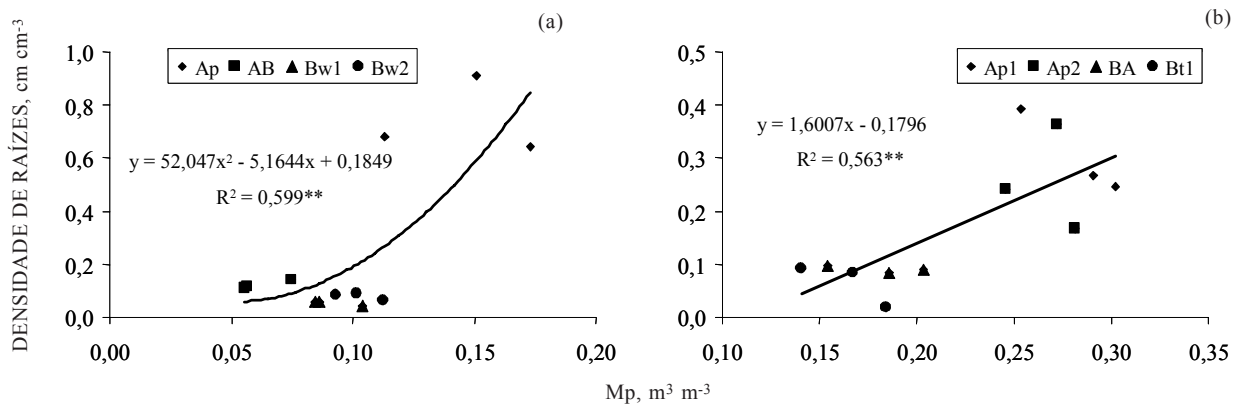


Figura 5. Relação entre densidade de raízes de citros e macroporosidade (Mp), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

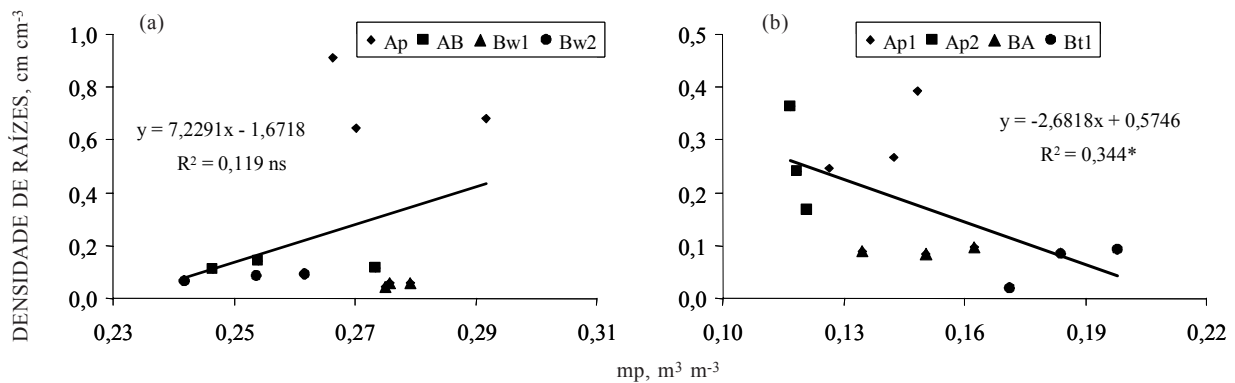


Figura 6. Relação entre densidade de raízes de citros e microporosidade (mp), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

Apesar da alta variabilidade normalmente inerente à condutividade hidráulica saturada (K_0), o que foi confirmado pelos coeficientes de variação e amplitudes observadas (Quadros 4 e 5), este atributo mostrou drástica redução nos horizontes coesos, em média de 90,6 %, para os dois solos em conjunto, de 99,7 %, no horizonte AB do LA, e de 82,8 %, no BA do PAC (Quadros 2 e 3). Isto conduz a indicá-lo como um atributo importante na avaliação da presença de camadas coesas. As regressões "positivas" com a densidade de raízes de citros (Figura 7a e b) resultaram basicamente das correlações positivas entre condutividade hidráulica saturada e macroporosidade, com coeficientes de correlação de 0,826**, para os dois solos em conjunto, de 0,847**, para o LA, e de 0,911**, para o PAC. Este fato e mais a dificuldade de se medir K_0 , mesmo em laboratório, reforçam a indicação da macroporosidade, mais fácil de ser medida, como um atributo importante para o fim em questão.

O atributo que melhor identificou a presença de horizontes coesos foi a resistência do solo à penetração, a qual, avaliada em diferentes umidades

do solo no campo (Figura 8a e b), identificou muito bem tais horizontes, que apresentaram valores mais elevados de resistência, tanto em condições mais úmidas como em baixa umidade. Um ponto importante é a definição da umidade crítica abaixo da qual a coesão se manifesta, ou seja, quando o solo passa de friável para coeso. Os dados de umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), definida no trabalho como sendo a umidade em que foi atingida a resistência de 2,0 MPa, apresentaram baixos coeficientes de variação e baixas amplitudes (Quadros 4 e 5) e aumentos de 36,4 e 220,0 %, respectivamente, nos horizontes AB do LA e BA do PAC (Quadro 3). Outro aspecto positivo foram as regressões "negativas" com a densidade de raízes de citros (Figura 9a e b).

Considerando a avaliação no trabalho de dois solos representativos de Tabuleiros Costeiros e bem contrastantes quanto às suas características físicas, os dados de UCRP ora obtidos constituem importante indicação da umidade do solo em que se deve avaliar a resistência à penetração para identificar a presença de horizonte coeso.

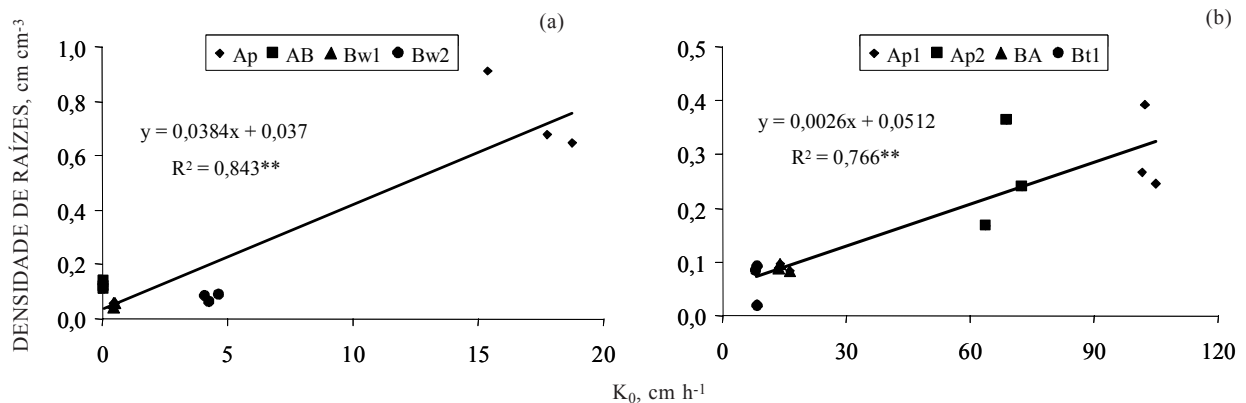


Figura 7. Relação entre densidade de raízes de citros e condutividade hidráulica saturada (K_0), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

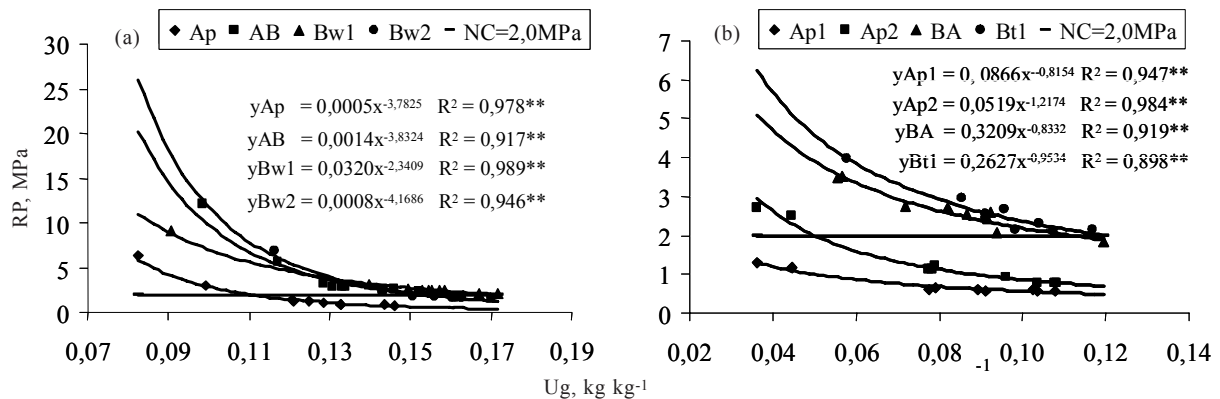


Figura 8. Curvas de resistência à penetração (RP) em relação à umidade do solo (U_g), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia.

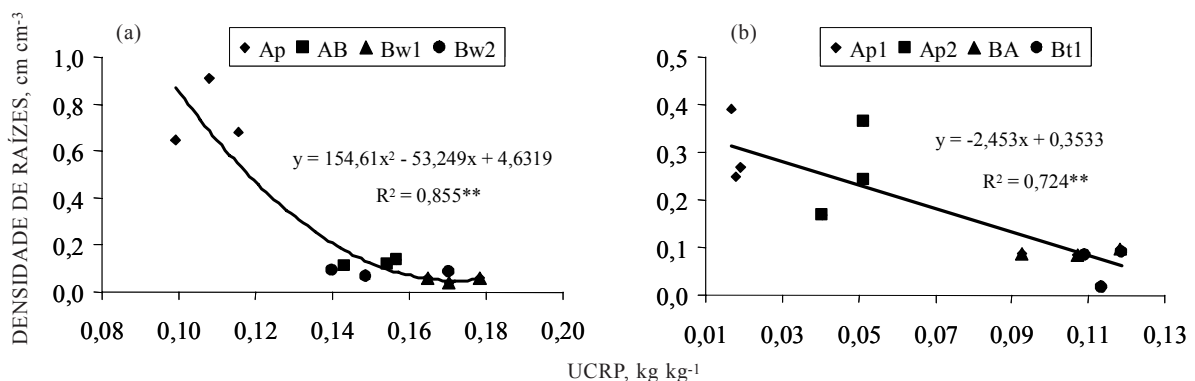


Figura 9. Relação entre densidade de raízes de citros e umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros da Bahia, na avaliação de indicadores de horizontes coesos.

CONCLUSÕES

1. A densidade de raízes foi o indicador direto de horizontes coesos, mas, pela dificuldade de medição, foram identificados atributos do solo mais bem relacionados com a densidade de raízes.

2. A resistência do solo à penetração foi o atributo que melhor identificou a presença de horizontes coesos, devendo ser avaliada em umidade abaixo daquela considerada crítica para expressar a coesão.

3. A condutividade hidráulica saturada também se revelou adequada para avaliar a presença de tais horizontes.

4. A macroporosidade mostrou-se um atributo importante para identificar horizontes coesos, podendo, inclusive, substituir a condutividade hidráulica saturada, por apresentar menor variabilidade e ser facilmente determinada.

5. A densidade do solo, também considerada um atributo para avaliar a presença de horizontes coesos, mostrou, como principal limitação, a interferência da granulometria na manifestação dos seus valores.

LITERATURA CITADA

- CARVALHO, J.E.B. Distribuição do sistema radicular dos citros manejando cobertura vegetais, em solo de tabuleiro. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E CASOS, Aracaju, 1999. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.131-138.
- CINTRA, F.L.D. Disponibilidade de água no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1997. 90p. (Tese de Doutorado)
- CINTRA, F.L.D. & LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. *Sci. Agrícola*, 55:367-378, 1998.
- CURI, N., coord. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, D.F. Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1988. 66p.
- FREITAG, D.R. Methods of measuring soil compaction. In: BARNES, K.K.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R. & van den BERG, G.E., orgs. *Compaction of agricultural soils*. Madison: American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.47-105.
- GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba, POTAFOS, 1984. 160p.
- GUDDANTI, S. & CHAMBERS, J.L. Gsroot automated root length measurement program, version 5.00; User's manual. Louisiana: Louisiana State University, 1993. 40p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE Sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro. Endereço na Internet: <http://www.sidra.ibge.gov.br>, consultado em janeiro de 2003.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.13-26.
- NOGUEIRA, L.R.Q. Demandas e propostas de pesquisa para os solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, SE: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.76-80.
- PAIVA, A.Q. Dinâmica da água em uma toposseqüência de solos de tabuleiros do Estado da Bahia e sua implicação no crescimento da laranjeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 74p. (Tese de Mestrado)
- PAIVA, A.Q. & SOUZA, L.S. Armazenamento e disponibilidade de água em solos de tabuleiro do Estado da Bahia, em dois anos de avaliação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza, 1998. Resumos expandidos. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal do Ceará, 1998. p.5-6.
- PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. Disponibilidade de água em uma toposseqüência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia e sua relação com indicadores do crescimento da laranjeira. *R. Bras. Ci. do Solo*, 22:367-377, 1998.
- REZENDE, J.O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI-SPA, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1)
- RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F. & POMPEU JÚNIOR, J., eds. *Citricultura brasileira*. Campinas, Fundação Cargill, 1980. v.2. p.385-428.
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide: version 6. 4.ed. Cary, 1990. v.2. 1686p.
- SCOTT, A.J. & KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30:507-512, 1974.
- SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.36-75.
- SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V. & RIBEIRO, L.S. Densidade de raízes de citros em pomar implantado em uma toposseqüência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. Resumos. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2002. p.53.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf. *Revista STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos*, 1:3-11, 1983.