

# **SIMILARIDADES ENTRE O CARÁTER COESO DOS SOLOS E O COMPORTAMENTO *HARDSETTING*: ESTUDO DE CASO<sup>(1)</sup>**

**N. F. B. GIAROLA<sup>(2)</sup>, A. P. SILVA<sup>(3)</sup>, C. TORMENA<sup>(4)</sup>,  
L. S. SOUZA<sup>(5)</sup> & L. P. RIBEIRO<sup>(6)</sup>**

## **RESUMO**

**O termo coeso é utilizado, no Brasil, para distinguir horizontes subsuperficiais de solos que apresentam consistência dura, muito dura ou extremamente dura, quando secos, e friável, quando úmidos. Solos australianos com características similares foram identificados como *hardsetting*. Muitos solos da África e de outras regiões semi-áridas podem ser caracterizados como *hardsetting*, segundo vários pesquisadores. O objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que os solos com caráter coeso, identificados sobre os sedimentos do Terciário, na região nordeste do Brasil, apresentam propriedades morfológicas e físicas similares aos solos *hardsetting*. O estudo foi realizado em um Latossolo Amarelo Coeso, localizado em Cruz das Almas (BA), sob floresta secundária. Durante o período de secamento do solo, foram caracterizadas as mudanças morfológicas ocorrentes no perfil e, ainda, realizadas medidas da resistência do solo à penetração em horizontes: não-coeso (A1) e coeso (AB1). Os resultados indicaram que os parâmetros morfológicos e físicos do horizonte coeso foram similares àqueles utilizados para definir o comportamento *hardsetting*.**

**Termos de indexação: solos coesos, solos *hardsetting*, parâmetros morfológicos, resistência do solo à penetração.**

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em agosto de 1999 e aprovado em outubro de 2000.

<sup>(2)</sup> Doutoranda no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Av. Pádua Dias 11, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: neydef@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. E-mail: apisilva@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Av. Colombo 5790, CEP 87030-121 Maringá (PR). E-mail: catormen@wnet.com.br

<sup>(5)</sup> Pesquisador da Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: lsouza@cnpmf.embrapa.br

<sup>(6)</sup> Professor do Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia - UFBA. CEP 44380-000 Salvador (BA). E-mail: luicedino@ufba.br

SUMMARY: *SIMILARITIES BETWEEN BRAZILIAN "COHESIVE" SOILS AND HARDSETTING SOILS: A CASE STUDY*

*The term "cohesive" has been used in Brazil to distinguish sub-surface soil horizons that have hard, very hard or extremely hard consistency when the soil is dry, and friable when the soil is wet. Australian soils with similar behavior were identified as hardsetting. Researchers have indicated that many soils in Africa and other semi-arid regions can also be characterized as hardsetting. Based on the definition and characteristics of the hardsetting soils, it is believed that "cohesive" soils of the Low Coastal Tablelands, the northeastern region of Brazil have similar behavior. The aim of this work was to test the hypothesis that "cohesive" soils have morphological and physical properties similar to the hardsetting soils. The study was carried out in a "cohesive" Yellow Latosol, located in Cruz das Almas (BA), under a secondary forest. During a soil-drying period, morphological analysis of the soil profile and measurements of the soil resistance to penetration were made in normal and cohesive horizons. The results indicated that both morphological and physical parameters of the cohesive soil were similar to those used to identify hardsetting soils.*

*Index terms: "cohesive" soils, hardsetting soils., morphological attributes, soil resistance to penetration.*

## INTRODUÇÃO

O termo coeso é empregado, no Brasil, para distinguir horizontes minerais subsuperficiais de solos que apresentam consistência dura, muito dura ou até extremamente dura, quando secos, e friável, quando úmidos (Ribeiro, 1991; EMBRAPA, 1995; Jacomine, 1996). Solos com essas características foram observados, pela primeira vez, na década de 50, no município de Campos (RJ), na faixa de domínio dos Tabuleiros Costeiros. Anos depois, foram identificados nos vales do Paraíba do Sul e do Tietê (SP) e em cobertura do Terciário em Minas Gerais (Jacomine, 1996). Diversos pesquisadores, dentre os quais se destacam Jacomine et al. (1975), Anjos (1985), Fonseca (1986), Silva (1989), EMBRAPA (1995) e Silva (1996), deram continuidade à identificação e caracterização de solos com caráter coeso em várias regiões do Brasil, sem, no entanto, estabelecerem critérios para a identificação desses solos.

Em outras partes do mundo, também tem sido reconhecida uma forma particular de comportamento de solo em que este se torna duro, quando seco, a ponto de dificultar ou mesmo impossibilitar o desenvolvimento das culturas, e cessa esse impedimento no momento em que se torna úmido novamente. Esse comportamento, na Austrália, foi identificado, mapeado e denominado "*hardsetting*" (Northcote et al., 1975).

O termo *hardsetting* vem sendo utilizado para caracterizar um tipo de comportamento de solo (intrínseco ou adquirido por uso e manejo), bem como para tipificar horizontes e solos. Solos com esse comportamento são aqueles que, quando submetidos a um regime de saturação hídrica plena, esboroam-

se subitamente e, quando secos, apresentam uma massa sem estrutura e endurecida, que se renova naturalmente mesmo depois de o solo ter sido preparado para o cultivo (Mullins, 1999).

Embora muitos solos apresentem essa característica, somente aqueles que se tornam duros o suficiente para dificultar ou mesmo impossibilitar o cultivo foram classificados como *hardsetting*. No Brasil, o termo coeso vem sendo empregado para solos e, ou, horizontes duros e muito duros, formados a partir de sedimentos do Formação Barreiras, sem considerar qualquer restrição ao uso dos solos, imposta pela resistência oferecida pelos horizontes.

Os solos com comportamento *hardsetting* são de ocorrência comum sob climas que apresentam alternância entre períodos secos e úmidos (Chartres et al., 1990; Mullins et al., 1990; Young, 1992). Esse caráter é observado em horizontes superficiais (cultivados e não cultivados) e subsuperficiais (não cultivados) (Franzmeier, 1996). Os limites de textura variam de areia a argila-arenosa e a mineralogia da fração argila é dominada por caulinitas ou micas hidratadas (ilitas) (Norwisch & Pickering, 1983). É predominantemente observado em solos com baixos teores de matéria orgânica, normalmente inferiores a 2% (Mullins et al., 1990).

A ocorrência dos solos com caráter coeso está associada, predominantemente, a regiões de climas que apresentam estações secas e úmidas definidas (Jacomine, 1996). De acordo com Fonseca (1986) e EMBRAPA (1999), o caráter coeso ocorre na altura dos horizontes AB e, ou, BA, e até parte do Bw. Estes solos apresentam baixa saturação por bases, teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pelo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) menores que 8% e índice Ki de 1,7 ou maior, isto é, são de mineralogia caulinitica (EMBRAPA, 1999).

Para o reconhecimento e identificação de horizontes com caráter *hardsetting*, Mullins (1997) admite serem as observações de campo em perfis secos uma etapa fundamental. Além dessas observações, esse autor apregoa que uma identificação segura desses horizontes só pode ser obtida, quando se consideram medidas de resistência do solo, pois os valores de resistência constantes na definição de *hardsetting* são arbitrários e baseados na experiência de campo do pesquisador, além do fato de que, quando úmidos, esses horizontes não apresentam endurecimento.

Estudos anteriores já haviam demonstrado que a resistência do solo à penetração era uma medida útil para a caracterização e análise desse caráter de solo (Mullins et al., 1992; Ley & Laryea, 1994).

Alguns pesquisadores afirmam que muitos solos da África e de outras regiões semi-áridas também podem apresentar comportamento *hardsetting* (Mullins et al., 1987). Mullins et al. (1990) comentam que Dregne em seu trabalho "*Soils of Arid Regions*", realizado em 1976, fez referência a Alfisols da África e da região nordeste do Brasil que, provavelmente, apresentariam esse atributo. Com base nessas informações, estabeleceu-se a hipótese de o caráter coeso observado e descrito em solos formados sobre os sedimentos da Formação Barreiras (Terciário), na região dos Tabuleiros Costeiros, ser similar ao comportamento *hardsetting*.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar, por meio de parâmetros morfológicos e físicos de um Latossolo Amarelo Coeso, possíveis similaridades entre o caráter coeso definido no Brasil e o *hardsetting* identificado e mapeado na Austrália.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Solo e local de amostragem

O estudo foi realizado em perfil de Latossolo Amarelo Coeso argissólico álico, sob floresta secundária, tido como representativo da classe e formado a partir de sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras (Terciário), município de Cruz das Almas (BA). A região apresenta clima subúmido, segundo a classificação de *Thorntwaite*, com tendência a semi-árido. A escolha de perfil sob floresta estacional semidecidual teve o intuito de eliminar a variável uso do solo.

### Critérios adotados para a análise das similaridades

Os atributos utilizados para avaliar as similaridades entre o caráter coeso e o comportamento *hardsetting* foram os seguintes:

Parâmetros morfológicos:

- consistência dura ou extremamente dura, quando secos, apresentando-se sem estrutura definida (Weaich et al., 1992; Mullins, 1997).

Características físicas:

- variação da textura argilo-arenosa a franco-argilo-arenosa (Mullins et al., 1990; Mullins, 1997);
  - incremento acentuado da resistência do horizonte, numa faixa estreita de teor de água - comportamento da curva de resistência do solo (Mullins et al., 1987).
- Parâmetros complementares:
- maior resistência oferecida pelo horizonte ao exercer uma pressão com o dedo indicador (Mullins et al., 1990);
  - presença de fendas longitudinais ocasionais, espaçadas de pelo menos 10 cm (Mullins, 1997);
  - pouca quantidade de argilas expansivas (Young, 1992);
  - conteúdo de matéria orgânica inferior a 2% (Mullins, 1997).

### Método de análise

#### Morfologia do perfil

As descrições morfológicas foram realizadas uma vez ao dia, durante cinco dias, e, apenas no primeiro dia, o solo foi umedecido com pulverizador costal, até que adquirisse consistência friável. Tal procedimento permitiu avaliar as mudanças estruturais e as diferenças na consistência dos horizontes do perfil, quando este passou do estado úmido para o seco. Na descrição morfológica e determinação dos horizontes com caráter coeso, adotaram-se, respectivamente, as normas e definições constantes em Lemos & Santos (1996), Jacomine (1996) e Ribeiro (1991).

#### Elaboração das curvas de resistência do solo

Dentre os testes sugeridos por Mullins (1997) para caracterizar o comportamento *hardsetting*, selecionou-se a resistência à penetração (RP) em diferentes umidades, por se tratar de medida de fácil obtenção no campo. As medidas de resistência foram obtidas da seguinte forma: o perfil do solo foi homogeneamente umedecido com o auxílio de pulverizador costal, de forma que os dois horizontes selecionados (A1 e AB1) adquirissem consistência friável. Cada um dos horizontes foi, então, subdividido em dez partes. Em cada uma das partes, foram realizadas 20 leituras de resistência à penetração (RP). Cada parte desses horizontes foi analisada a cada meio período do dia (manhã e tarde), durante cinco dias, e, simultaneamente, coletou-se uma amostra composta para a determinação da umidade gravimétrica (U).

A partir das medidas de RP em diferentes umidades, foram geradas as curvas de resistência do solo (CRS) dos dois horizontes (não-coeso e coeso). As leituras de RP foram realizadas com um penetrômetro cônico, modelo Solotest S-310, com cone de aço inox de 30°, diâmetro de base de 4,8 mm

e haste com 2,5 cm de comprimento. As CRS dos horizontes foram ajustadas em relação à umidade gravimétrica (U), utilizando o modelo proposto por Busscher (1997):

$$RP = a U^b \quad (1)$$

Na equação (1), RP é a resistência à penetração (MPa), U é a umidade do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ). Os coeficientes *a* e *b* são os parâmetros do modelo obtidos por meio de ajuste não-linear, utilizando o método de Gauss-Newton (SAS, 1991).

### Análises complementares

Em cada horizonte do perfil do solo, foram coletadas amostras de cerca de 500 g para realização de análises físicas e químicas complementares.

A análise granulométrica foi realizada pelo método de Bouyoucos (EMBRAPA, 1979), sendo as areias separadas por tamisação em cinco frações. Para determinar a argila dispersa em água, utilizou-se o mesmo método da análise granulométrica, porém sem a adição do dispersante químico. A densidade do solo ( $D_s$ ) foi obtida pelo método descrito por Blake & Hartge (1986).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1N, segundo Vettori

(1969) e EMBRAPA (1979). A extração de fósforo, potássio e sódio foi realizada com solução que continha  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N + HCl 0,05N. A extração de  $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$  foi feita com solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0. O pH foi determinado potenciométricamente, usando a relação 1:2,5 de solo:água; solo:KCl 1N e  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  0,01 M. O carbono orgânico foi determinado, segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1979). Os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram determinados após digestão com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1, conforme Vettori (1969) e EMBRAPA (1979).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil estudado apresentava seqüência de horizontes Oo, A1, A2, AB1, AB2, BA, Bw1 e Bw2, sendo muito profundo e, eventualmente, com mais subdivisões no Bw. Como se tratava de perfil sob floresta, constatou-se um horizonte orgânico (O) de 2 cm de espessura, constituído por restos vegetais pouco decompostos (Quadro 1).

O horizonte superficial A1 apresentou coloração bruno-escura ou bruno-acinzentada muito escura (10 YR 3,5/2), quando úmido, passando a bruno-amarelado-escura (10 YR 4/4), quando seco. Os demais horizontes até os 130 cm de profundidade

Quadro 1. Características morfológicas do Latossolo Amarelo Coeso em diferentes umidades

Horizonte	Cor do solo		Classe textural	Estrutura <sup>(1)</sup>		Consistência <sup>(2)</sup>		
	Símb.	Prof.		Úmido	Seco		Úmido	Seco
Oo		cm						
		2-0	--	-	Serapilheira	--	--	
A1		0-7	10 YR 3,5/2	10 YR 4/4	Franco-argilo-arenoso	fr. a mod. peq. a méd. gran. e grãos simp.	mod. peq. a méd. bl. ang. e grãos simp.	lig. duro; m.fr; lpl; lpg
A2		7-21	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Franco-argilo-arenoso	fr. a mod. peq. e méd. gran.	mod. coesa c/ poucas fr. a méd. bl. ang.	lig. duro/duro; m.fr; lpl; lpg
AB1		21-38	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Franco-argilo-arenoso	fr. peq. e méd. blo. sub.	maciça coesa	duro; m.fr; lpl; lpg
AB2		38-56	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Franco-argilo-arenoso	fr. peq. e méd. blo. sub.	maciça coesa	duro; m.fr; lpl; lpg
BA		56-85	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Argilo-arenoso	fr. peq. e méd. blo. sub.	maciça coesa	duro; m.fr; pl; pg
Bw1		85-130	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Argilo-arenoso	fr. peq. e méd. blo. sub.	mod. coesa c/ poucas fr. a méd. bl. ang.	lig. duro/duro; m.fr; pl; pg
Bw2		130-220	10 YR 5/8	-	Argilo-arenoso	fr. peq. e méd. blo. sub.	maciça porosa c/ poucas fr. peq. bl. ang.	lig. duro; m.fr; pl; pg

<sup>(1)</sup> fr. = fraca; mod. = moderada; peq. = pequena; méd. = média; gran. = granular; bl. = blocos; ang. = angulares; sub. = subangulares; simp. = simples. <sup>(2)</sup> lig. = ligeiramente; m.fr. = muito friável; lpl = ligeiramente plástico; lpg = ligeiramente pegajoso; pl. = plástico; pg = pegajoso.

tinham coloração bruno-amarelada (10 YR 5/4), quando seco, e bruno-amarelado-escura (10 YR 4/4), quando úmido. O horizonte Bw2 tinha cor úmida bruno-amarelada (10 YR 5/8).

Foram observadas diferenças marcantes de consistência do solo, quais sejam: consistência muito friável e friável, quando úmido, e dura, quando seco, principalmente nos horizontes AB1, AB2 e BA, definindo o caráter coeso desses solos (Ribeiro, 1991; Jacomine, 1996). As mesmas diferenças de consistência observadas no solo estudado vêm sendo utilizadas para definir o caráter *hardsetting* (Mullins, 1997), indicando uma primeira similaridade morfológica entre eles.

A análise morfológica realizada em diferentes estados de umidade evidenciou que o maior grau de coesão apresentado pela massa do solo dos 21 aos 85 cm de profundidade somente foi observado quando o solo se encontrava seco (quarto dia de observação), sendo expresso pela estrutura maciça coesa (Quadro 1). A ocorrência desse tipo de estrutura dominando a maior parte do perfil vem sendo utilizada por Ribeiro (1991) como critério distintivo auxiliar na definição de volumes coesos e como característica morfológica associada aos horizontes *hardsetting* (McDonald et al., 1990; Mullins, 1997).

No caso do perfil estudado, o uso da estrutura como critério distintivo de apoio é questionável, tendo em vista a modificação ocorrida com a variação da umidade do solo, comprovada pelos resultados apresentados no quadro 1. Essa natureza ambígua da estrutura, utilizada também para definir o caráter *hardsetting*, já havia sido levantada por Harper & Gilken (1994). Segundo estes autores, o termo *hardsetting* teria um valor limitado para os sistemas de classificação, pois um dos objetivos desses sistemas seria classificar com base em observações, e não em inferências (Butler, 1980).

A profundidade do adensamento, que expressa morfológicamente o caráter coeso (Quadro 1), ocorreu na mesma altura indicada nas descrições de Latossolos Amarelos coesos e outros solos não cultivados das áreas de Tabuleiro, realizadas por Fonseca (1986) e CEPLAC (1998). Em áreas de cultivo contínuo com cana-de-açúcar, o maior grau de coesão, comprovado pelo aumento da densidade do solo, foi constatado mais próximo à superfície, conforme as alterações promovidas pelo uso e manejo (Silva & Ribeiro, 1992).

Silva et al. (1998) relacionaram esse aumento da coesão com a destruição dos agregados (pedes e poros de empacotamento) e com a redução dos teores de matéria orgânica, promovendo não só uma drástica queda da porosidade total e da condutividade hidráulica, mas também um aumento da densidade do solo dos horizontes superficiais. Essas modificações estabelecem, então, o caráter coeso adquirido por uso e manejo e não geneticamente

herdado, como no caso dos horizontes subsuperficiais adensados sob floresta. Analogamente, o caráter *hardsetting* utilizado nas descrições dos solos australianos é tido como aquele herdado e o que pode ser adquirido e potencializado pela interferência do homem (Mullins et al., 1987).

Outra indicação de similaridade entre os horizontes coesos e os *hardsetting* foi obtida a partir da avaliação da resistência do solo no campo (Mullins et al., 1990). No perfil estudado, a face do horizonte coeso (AB1), quando seco, ofereceu resistência à deformação, quando submetida à pressão exercida pelo dedo indicador.

Fendas longitudinais ocasionais (espaçadas de pelo menos 10 cm), outra característica associada a *hardsetting*, não foram observadas no perfil estudado durante o período de realização do trabalho, mas eram visíveis em perfis do mesmo solo, mais secos, cultivados com mandioca e citros. A formação de fendas nesses solos cauliniticos, tidos como não-expansivos, pode estar relacionada com a atividade de caulinitas de alto grau de desordem estrutural presentes na fração argila (Almeida et al., 1992). A relação molecular Ki (Quadro 2) e os resultados da análise de difração de raios X (não apresentados) confirmam o predomínio de caulinita na fração argila. Essa mesma mineralogia também é associada ao solos com caráter *hardsetting* (Norwisch & Pickering, 1983; Young, 1992).

Os resultados da análise granulométrica demonstram um aumento dos teores de argila total em profundidade, culminando com a formação de um horizonte Bw argiloso aos 85 cm (mais de 40% de argila). Contrariamente, os teores de areia foram maiores nos horizontes superficiais (76 e 74%, em A1 e A2, respectivamente), diminuindo à medida que aumentava a profundidade. Os limites de textura encontrados no solo estudado coincidem com os mencionados para os solos com caráter *hardsetting*, que variam de areia a argila-arenosa (Mullins et al., 1990; Mullins, 1997).

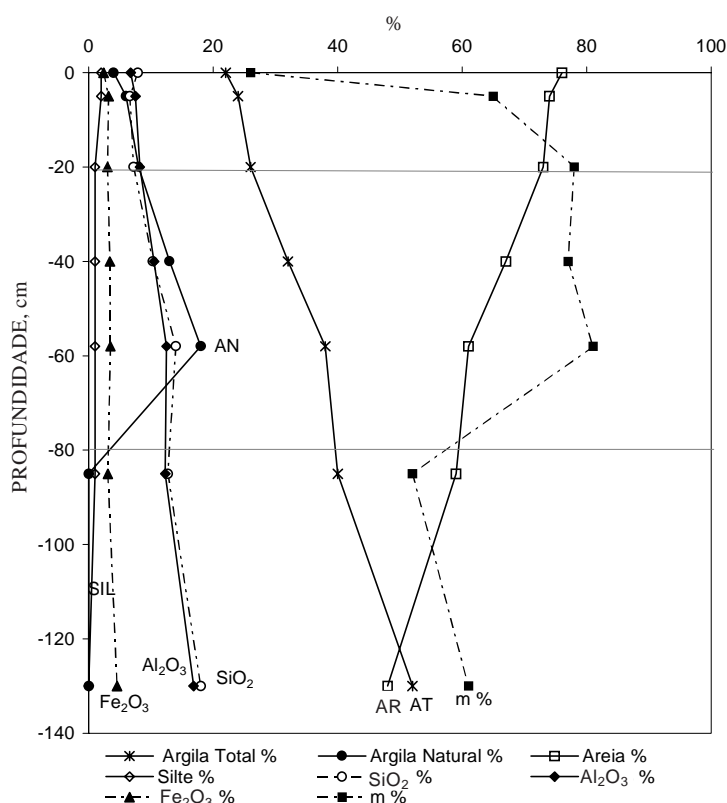
Pela composição granulométrica, verifica-se a predominância da fração areia na maior parte do perfil, exceto nos horizontes Bw1 e Bw2 (Figura 1). Uma matriz dominada por grãos de areia, em que a argila e o silte (material fino) podem funcionar como pontes de conexão dos grãos adjacentes ou mesmo como material ligado à superfície dos grãos individuais, é citada por Mullins et al. (1987) como uma das condições básicas para o aparecimento de horizontes com caráter *hardsetting*. Segundo o mesmo autor, a resistência do material fino (resultante das finas pontes entre as partículas) e o potencial mátrico do solo teriam um efeito direto na resistência daqueles horizontes, definindo esse comportamento.

Na figura 1, observa-se o incremento dos teores de argila natural (ou dispersa em água) no horizonte com maior coesão (AB1). Essa maior proporção de

**Quadro 2. Composição granulométrica do Latossolo Amarelo Coeso**

Horizonte		Ds	Argila		Areia <sup>(2)</sup>					Areia total	Silte	
Símbolo	Profundidade		Total <sup>(1)</sup>	Natural	AMG	AG	AM	AF	AMF			
cm		g cm <sup>-3</sup>	%									
A1	0-7	1,39	22	4	2	22	29	19	4	76	2	
A2	7-21	-	24	6	3	21	25	21	4	74	2	
AB1	21-38	1,57	26	8	3	19	23	23	5	73	1	
AB2	38-56	-	32	13	3	18	20	20	6	67	1	
BA	56-85	-	38	18	2	17	19	17	5	61	1	
Bw1	85-130	1,53	40	0	2	15	20	17	5	59	1	
Bw2	130 - +	-	52	0	2	11	16	14	5	48	0	

<sup>(1)</sup> RT (Relação Textural) = 1,6. <sup>(2)</sup> AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; AM = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina.



**Figura 1. Distribuição em profundidade dos percentuais das frações granulométricas, argila natural, óxidos totais e saturação por alumínio em Latossolo Amarelo Coeso.**

argila mobilizada durante o umedecimento do solo no horizonte coeso (AB1) pode ser suficiente para manter as pontes interpartículas ou interagregados, determinando o maior grau de resistência desse horizonte, quando comparado com o horizonte não-coeso (A1). Sinclair (1985) encontrou uma relação linear significativa entre o teor de argila dispersa em água e resistência tênsil em vários solos *hardsetting*.

A distribuição dos teores de matéria orgânica presentes no solo estudado pode ser visualizada no quadro 3. Nota-se que, apenas no horizonte A1, os teores foram superiores a 2%, provavelmente mantidos pela cobertura florestal presente na área. Nos demais horizontes, os níveis de matéria orgânica foram inferiores e atenderam à exigência de teores menores que 2% estabelecida para o comportamento *hardsetting* (Mullins, 1997).

**Quadro 3. Propriedades químicas do Latossolo Amarelo Coeso**

Horizonte		pH			M.O.	P	SB	T	V	m
Símbolo	Profundidade	H <sub>2</sub> O	KCl	Cl <sub>2</sub> Ca						
	cm				g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	— mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> —		— % —	
A1	0-5	4,5	3,9	4,1	29	7	20,0	65,0	31	26
A2	5-20	4,1	3,7	3,7	19	6	5,3	45,3	12	65
AB1	20-40	4,0	3,6	3,6	12	4	2,9	31,9	9	78
AB2	40-58	3,8	3,5	3,5	9	2	3,2	36,2	9	77
BA	58-85	3,7	3,4	3,3	12	2	3,5	42,5	8	81
Bw1	85-130	3,7	3,7	3,6	5	3	12,0	38,0	32	52
Bw2	130 - +	3,8	3,6	3,4	8	2	7,0	33,0	21	61

Analisando os teores de óxidos totais, observa-se a reduzida quantidade de óxidos de ferro decorrente do material parental, originalmente pobre nesses elementos (Ribeiro, 1998). Um pequeno incremento somente foi observado à medida que a profundidade aumentava e os teores de argila também eram incrementados (Quadro 4 e Figura 1).

Percebeu-se um aumento significativo nos teores de óxidos de alumínio e de silício, provavelmente em decorrência do incremento de argila, bem como um incremento pronunciado na zona de maior coesão (Figura 1). Chartres et al. (1990) já haviam chamado a atenção para agentes cimentantes temporários, como sílica amorfa e aluminossilicatos, que, em conjunção com os mecanismos sugeridos por Mullins et al. (1987), contribuiriam para o desenvolvimento da resistência durante o secamento dos horizontes *hardsetting*. Ribeiro (1998) comprovou a presença de sílica amorfa em poros e canais de materiais de solos com caráter coeso da Formação Barreiras, demonstrando, mais uma vez, a similitude entre os dois atributos discutidos.

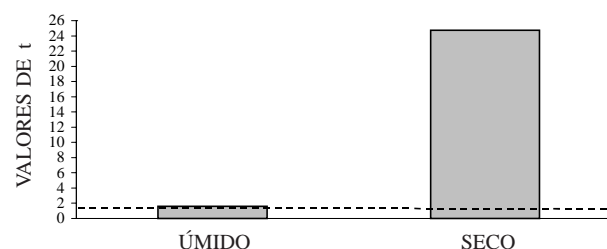
**Quadro 4. Teores em óxidos totais em Latossolo Amarelo Coeso**

Horizonte		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki
Símbolo	Profundidade				
	cm	%			
A1	0-7	7,90	6,73	2,40	2,00
A2	7-21	6,60	7,50	3,18	1,50
AB1	21-38	7,20	8,21	3,00	1,49
AB2	38-56	10,30	10,50	3,40	1,67
BA	56-85	14,00	12,49	3,50	1,91
Bw1	85-130	12,70	12,29	3,07	1,76
Bw2	130 - +	18,00	16,83	4,54	1,82

A resistência do solo à penetração (RP) permitiu diferenciar os distintos graus de coesão observados entre os dois horizontes analisados no perfil (não-coeso e coeso). A possibilidade de diferenciar os horizontes depende da umidade do solo. Quando o solo estava úmido, não houve diferença significativa entre as médias de resistência dos horizontes não-coeso (A1) e coeso (AB1); já com o solo mais seco, as diferenças foram altamente significativas. Na figura 2, são apresentados os valores de *t* quando da comparação das médias dos valores de resistência à penetração (horizonte coeso *menos* não-coeso), sob condições de solo úmido e seco.

Com o solo úmido, o  $\Delta RP = 0,22$  MPa (RP = 0,98 MPa no coeso; 0,76 no não-coeso). Sob condições de baixa umidade, o  $\Delta RP = 11,32$  MPa (RP = 12,76 MPa no coeso; 1,44 MPa no não-coeso). Os valores de RP atingidos pelos horizontes coesos são considerados altamente restritivos ao crescimento radicular.

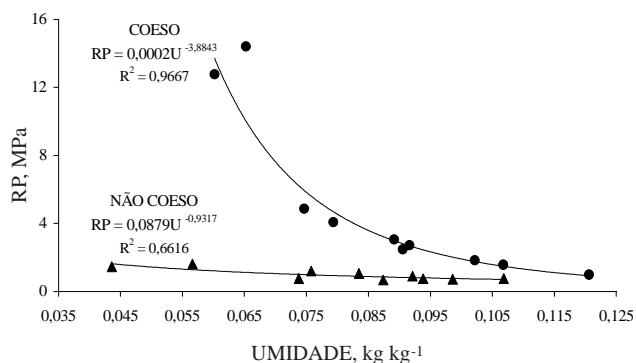
A relação funcional entre a RP e a U para os dois horizontes estudados é apresentada na figura 3. Nos



**Figura 2. Valores de *t* da comparação das médias dos valores de resistência à penetração (horizonte coeso *menos* não-coeso), em dois níveis de umidade. A linha tracejada representa o valor de *t* tabelado ( $p = 5\%$ ). Valores acima da linha tracejada indicam diferença significativa a 5%.**

dois horizontes, a RP aumentou com a redução da umidade do solo. Entretanto, o efeito da redução da umidade no aumento da RP foi drasticamente maior no horizonte coeso. O  $\delta RP/\delta U$  (coeficiente  $b$  da equação 3) foi significativamente maior no horizonte coeso ( $p < 0,001$ ).

A análise do intervalo de confiança das curvas ajustadas indicou que as linhas de resistência são estatisticamente diferentes na quase totalidade da amplitude de variação da umidade gravimétrica. As curvas não diferem estatisticamente para  $U \geq 0,1046$  ( $\text{kg kg}^{-1}$ ), que corresponde a valores próximos da capacidade de campo do solo estudado. Esse comportamento também foi observado por Mullins et al. (1987), quando compararam solos *hardsetting* com solos não *hardsetting* do Reino Unido.



**Figura 3. Curvas de resistência à penetração dos horizontes A1 (não-coeso) e AB1 (coeso). As curvas são estatisticamente diferentes (5%) em umidades inferiores à umidade limite (UL).**

## CONCLUSÕES

1. Os resultados obtidos, tanto pela análise morfológica quanto pelas curvas de resistência do solo à penetração, demonstraram que as propriedades físicas e morfológicas analisadas são similares entre os horizontes coesos e os horizontes *hardsetting*.

2. Pesquisas desenvolvidas com o objetivo de estudar os horizontes coesos deveriam considerar a literatura disponível sobre horizontes *hardsetting* como fonte imprescindível de consulta.

## LITERATURA CITADA

ALMEIDA, J.A.; KÄMPF, N. & KLAMT, E. Amidas e hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 16:169-175, 1992.

ANJOS, L.H.C. Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do Terciário na região de Campos, RJ. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1985. 194p. (Tese de Mestrado)

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods. 2.ed. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

BUSSCHER, W.J. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Till. Res., 43:205-217, 1997.

BUTLER, B.E. Soil classification for soil survey. Oxford, Clarendon Press: 1980.

CHARTRES, C.J.; KIRBY, J.M. & RAUPACH, M. Poorly ordered silica and aluminosilicates as temporary cementing agents in hard-setting soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:1060-1067, 1990.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA - CEPLAC. Guia da excursão técnica: solos coesos de tabuleiros costeiros. Campinas, Fundação Cargill, 1998. 84p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamento de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Rio de Janeiro, 1995. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 157p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 257p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 247p.

FONSECA, O.O.M. Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do Terciário no litoral brasileiro. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 185p. (Tese de Mestrado)

FRANZMEIER, D.P.; CHARTRES, C.J. & WOOD, J.T. Hardsetting Soils in Southeast Australia: Landscape and Profile Processes. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1178-1187, 1996.

HARPER, R.J. & GILKES, R.J. Hardsetting in the surface horizons of sandy soils and its implications for soil classification and management. Aust. J. Soil Res., 32:603-619. 1994.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: NOGUEIRA, L.R.Q. & NOGUEIRA, L.C., eds. REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.13-26.

JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O. & RIBEIRO, M.R. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Sergipe. Recife, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1975. 506p. (EMBRAPA.CPP, Boletim Técnico, 36 – SUDENE/DRNN, Série Recursos de Solos, 6)



- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 3 ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 45p.
- LEY, G.J. & LARYEA, K.B. Spatial variability in penetration resistance of a hardsetting tropical alfisol. *Soil Till. Res.*, 29:367-381, 1994.
- McDONALD, R.C.; ISBELL, R.F.; SPEIGHT, J.G.; WALKER, J. & HOPKINS, M.S. Australian soil and land survey field handbook. 2ed. Mellbourn, Inkata Press, 1990.
- MULLINS, C.E. Hardsetting Soils. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of Soil Science*. Madison, CRC Press, 1999. p.665-687.
- MULLINS, C.E. Hardsetting. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A., eds. *Methods for assesment of soil degradation*. New York, Advance Soil Sci. CRC Press, 1997. p.109-128.
- MULLINS, C.E.; BLACKWELL, P.S. & TISDALL, J.M. Strength development during drying of a cultivated, flood-irrigated hardsetting soil. I. Comparison with a structurally stable soil. *Soil Till. Res.*, 25:113-128, 1992.
- MULLINS, C.E.; MacLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M. & YOUNG, I.M. Hardsetting soils: Behaviour, occurrence and management. *Adv. Soil Sci.*, 11:37-108, 1990.
- MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHOUGH, A.G. & LEY, G.J. Hardsetting soils. *Soil Use Managen.*, 3:79-83, 1987.
- NORRISH, K. & PICKERING, J.G. Clay minerals. In: *Soils: An Australian viewpoint*. Melbourne, CSIRO, 1983. p.281-308.
- NORTHCOTE, K.H.; HUBBLE, G.D.; ISBELL, R.F.; THOMPSON, C.F. & BETTANY, E. A description of Australian Soils. Melbourne, CSIRO, 1975.
- RIBEIRO, L.P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador, Secretaria de Planejamento e Tecnologia, 1998. 99p.
- RIBEIRO, L.P. Premiers resultas sur la genése des sols a horizons indures dans la region du Cruz das Almas, BA, Brésil. In: TABLE RONDE SUR L'ORGANIZATION ET DINAMIQUE INTERNE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE, Caen, 1991. Anais. Caen, National Center for Scientific Research, 1991.
- SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; MERMUT, A.R. & BENKE, M.B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos Coesos do estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:515-525, 1998.
- SILVA, M.S.L. & RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:397-402, 1992.
- SILVA, M.S.L. Caracterização de Latossolos Amarelos sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 1996. 133p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, M.S.L. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar em propriedades do solo de tabuleiro do estado de Alagoas. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 1989. 106p. (Tese de Mestrado)
- SINCLAIR, J. Crusting, soil strenght and seedling emergence in Botswana. Aberdeen University, UK. 1985. 223p. (Tese de Doutorado)
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5, SAS Inst. Cary, NC. 1991.
- VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WEAICH, K.; CAS, A. & BRISTOW, K.L. Use of a penetration resistance characteristic to predict soil strength development during drying. *Soil Till. Res.*, 25:149-166, 1992.
- YOUNG, I.M. Hardsetting soils in the UK. *Soil Till. Res.*, 25:187-193, 1992.

