

Revisão / Review

CONCEITOS SOBRE SOLOS COESOS E *HARDSETTING*¹

Neyde Fabíola Balarezo Giarola^{2,4}; Alvaro Pires da Silva^{3*}

²Depto. de Agronomia - UNIOESTE - R. Pernambuco, 1777 - CEP: 85960-000 - Marechal Cândido Rondon, PR.

³Depto. de Solos e Nutrição de Plantas - USP/ESALQ, C.P 9 - CEP: 134128-900 - Piracicaba, SP.

⁴Bolsista CAPES.

*Autor correspondente <apisilva@esalq.usp.br>

RESUMO: Diferenças marcantes entre os graus de consistência do solo seco e úmido foram incorporadas ao sistema brasileiro de classificação de solos por meio da utilização do termo “coeso”, o qual caracteriza solos que, quando secos, apresentam um incremento acentuado de resistência à penetração, e uma sensível redução dessa resistência, quando úmidos. Esse comportamento foi observado, há muito tempo, em solos da Austrália, tendo sido originalmente incorporado ao sistema australiano de classificação como “*hardsetting*”. O objetivo deste trabalho foi mostrar as similaridades entre solos coesos e “*hardsetting*”, com o entendimento de que essa conexão será útil nas pesquisas com solos coesos no Brasil.

Palavras-chave: Tabuleiros Costeiros, atributos de solos, horizontes endurecidos, resistência do solo, consistência do solo

CONCEPTS ON “COESOS” AND *HARDSETTING* SOILS

ABSTRACT: Remarkable differences on soil consistence between dry and moist soils were incorporated to the Brazilian soil classification system identifying this behavior as “coeso” which characterizes soils that have an accentuated increment of resistance when dry and become soft when moist. This behavior has been recognized for longer time in Australia and was incorporated to the Australian soil classification system using the term *hardsetting*. The objective of this paper was to demonstrate the similarities between *hardsetting* and “coeso” soils with the understanding that this connection may help the research on “coeso” soils of Brazil.

Key words: Low Coastal Plateau, soils attributes, hard horizons, soil strength, soil consistence

INTRODUÇÃO

Diferenças marcantes entre os graus de consistência do solo seco e úmido, principalmente em termos de incremento do grau de consistência a seco (resistência), podem ser observadas em alguns horizontes de solos da faixa dos Tabuleiros Costeiros, nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1998; Giarola et al., 2001). Esse tipo de comportamento de solo foi incorporado ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por meio da criação e utilização do designativo “coeso” (Embrapa, 1999).

O termo “coeso” caracteriza materiais de solo que, quando secos, apresentam um incremento acentuado de resistência (a ponto de restringir o preparo do solo e o desenvolvimento das culturas), e se abrandam no momento em que são umedecidos (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1998; Embrapa, 1999; Ribeiro, 2001a). Devido à ocorrência de solos com esse comportamento em uma extensa área do território brasileiro (Jacomine, 1996; Rezende, 2000), o atributo coeso é incluído no sistema taxonômico nacional, aparecendo como característica diagnóstica da classe dos Latossolos Amarelos (Embrapa, 1999).

Na Austrália, essas diferenças em termos de consistência há muito foram incorporadas ao sistema de

classificação de solos, por intermédio do atributo *hardsetting* (Northcote et al., 1975; Harper & Gilkes, 1994). Esse atributo caracteriza solos com horizontes compactos, duros, de condição aparentemente apedal formada durante o secamento, mas que se abrandam durante o umedecimento (McDonald et al., 1990). Esses horizontes se endurecem significativamente, quando secos, dificultando ou mesmo impossibilitando o preparo para o cultivo, e cessam esse impedimento, no momento em que são umedecidos (Mullins et al., 1990; Mullins, 1999). Existem características comuns entre o comportamento *hardsetting* e outros tipos de comportamento de solo como, por exemplo, os fragipãs. No entanto, os horizontes *hardsetting* não devem ser confundidos com fragipãs, que também têm altos níveis de coesão, mas apresentam pedogênese diversa, ocorrem a maiores profundidades e têm diferentes implicações em relação ao manejo (Harlan et al., 1977; Smeck & Ciolkosz, 1989; Chartres & Fitzgerald, 1990).

A possibilidade de existirem solos com comportamento similar aos *hardsetting*, no Brasil, já havia sido aventada por Mullins et al. (1990), após percorrerem áreas de ocorrência de solos coesos, na região nordeste do país. O que para os australianos seriam solos *hardsetting*, no Brasil seriam os coesos. Essa hipótese foi comprovada por Giarola et al. (2001), após

¹Parte da Tese de Doutorado da primeira autora apresentada à USP/ESALQ - Piracicaba, SP.

encontrarem uma série de similaridades entre os parâmetros utilizados para definir o comportamento *hardsetting* e aqueles para determinar o caráter coeso em um Latossolo Amarelo do nordeste brasileiro.

Esta revisão de literatura teve como objetivo levantar e contrapor os conceitos até então estabelecidos para o atributo "*hardsetting*", oriundo do sistema australiano de classificação de solos, e para o designativo "coeso", utilizado no sistema taxonômico brasileiro.

Definição e ocorrência de solos coesos

O termo coeso tem sido empregado, no Brasil, para distinguir horizontes minerais superficiais e subsuperficiais de solo que apresentam consistência dura, muito dura ou até extremamente dura quando secos, e friável, quando úmidos (Jacomine, 1996). Ribeiro (1991) definiu os horizontes que apresentavam o caráter coeso da seguinte forma: "são horizontes muito duros e firmes, que não apresentam uma organização estrutural visível (são maciços), motivo pelo qual os grandes torrões se quebram em fragmentos de tamanhos menores e angulosos; apresentam uma macroporosidade geralmente ligada à atividade biológica (biovazios), sendo difícil a observação dos poros finos; no seu interior são raras as raízes observadas, mesmo assim, a grande maioria das que conseguiram penetrar nesses horizontes encontram-se mortas; em alguns pontos pode-se observar uma organização estrutural fragmentar, com a presença de estrutura do tipo blocos subangulares, geralmente associados a pequenas concentrações de material orgânico originado da decomposição de raízes ou atividade biológica (crotovinas e ninhos); em muitos casos é possível observar, ainda que com alto grau de dificuldade, e com uso de lupa, a existência de uma microestrutura soldada, como uma colmeia de abelhas".

O atual sistema taxonômico brasileiro (Embrapa, 1999) estabelece que os Latossolos Amarelos Coesos são "solos com um ou mais horizontes com espessura mínima de 30 cm, que não satisfaz os critérios para fragipã ou duripã, compreendendo o horizonte AB e/ou BA, e/ou parte do Bw, os quais, quando secos, são muito resistentes à penetração do martelo pedológico ou trado e que não apresentam uma organização estrutural visível (são maciços) e que se desfaz em agregados com consistência a seco, no mínimo, dura, sendo normalmente muito dura, e às vezes, extremamente dura. A consistência úmida varia de friável a firme; a densidade do solo deste horizonte é mais elevada que os horizontes subjacentes; a saturação por bases é baixa ($V < 50\%$), e o teor de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) é menor que 8 g kg^{-1} e o Ki é 1,7 ou maior, isto é, são caulíníficos".

A ocorrência do caráter coeso, no Brasil, vem sendo relacionada aos antigos Latossolos e Podzólicos Amarelos desenvolvidos dos sedimentos do Grupo Barreiras (Fonseca, 1986; Jacomine, 1996; Rezende, 2000), que ocupam, preferencialmente, os aplainados

dos topos dos tabuleiros e estão restritos à zona úmida costeira do litoral oriental das regiões Nordeste e Sudeste, sob climas de estações secas e úmidas bem definidas (Jacomine, 1996; Ribeiro, 1998; Jacomine, 2001). Abrange, aproximadamente, dez milhões de hectares, apenas no Nordeste brasileiro (Rezende, 2000).

O caráter "coeso" é uma característica pedogenética (adensamento) de solos, típica de horizontes subsuperficiais (BA e/ou parte do Bw ou Bt), de textura média, argilosa ou muito argilosa, encontrados normalmente entre 30 e 70 m de profundidade (Jacomine, 1996; Rezende, 2000; Jacomine, 2001; Ribeiro, 2001a), mas se estende para os horizontes superficiais A e AB em solos cultivados (Ribeiro, 2001a).

Embora o atual sistema taxonômico brasileiro considere o uso do termo apenas para os Latossolos Amarelos desenvolvidos dos sedimentos do Grupo Barreiras, os levantamentos pedológicos realizados naquela região já haviam comprovado a existência do mesmo em Argissolos Amarelos latossólicos ou não, Argissolos Acinzentados, Argissolos Amarelos fragipânicos e Plintossolos (Anjos, 1985; Fonseca, 1986; Jacomine, 1996; Nascimento, 2001; Jacomine, 2001; Ribeiro, 2001a). Alguns pedólogos brasileiros acreditam que esse caráter não está restrito apenas aos solos do Grupo Barreiras e que, em outras regiões daquele país, também se desenvolvem solos com o mesmo comportamento.

Definição e ocorrência de solos *hardsetting*

O termo *hardsetting* foi, inicialmente, utilizado por Northcote (1960) em solos de textura binária do Oeste da Austrália e, posteriormente, Northcote (1971) o associou a solos de zonas climáticas que apresentavam variação marcante entre períodos secos e úmidos. Foi somente identificado e mapeado em solos australianos (Northcote et al., 1975) mas, posteriormente, reconhecido e utilizado em outras regiões do mundo (Mulins et al., 1990).

O comportamento *hardsetting* foi definido por McDonald et al. (1984) como: "compacto, duro, condição aparentemente apedal, formada durante o secamento". Uma revisão dessa definição foi apresentada por McDonald et al., (1990): "compacto, duro, condição aparentemente apedal, formada durante o secamento, mas que se abranda durante o umedecimento. Quando seco, o material é duro ... e não é alterado ou não se deforma ao ser pressionado com o dedo indicador". A mais recente definição dada para *hardsetting* foi apresentada por Mullins (1997): "Um material de solo com comportamento *hardsetting* é aquele que se torna uma massa quase homogênea ao secar. Apresenta rachaduras ocasionais, normalmente a um espaçamento $\geq 0,1 \text{ m}$. É duro e quebradiço, e a face do perfil de solo que apresenta esse comportamento é indeformável ao ser pressionada com o dedo indicador. Tipicamente,

apresenta valores de resistência tênsil $\geq 0,09$ MPa. Solos que se encroscam não apresentam, necessariamente, comportamento *hardsetting*, pois os horizontes com esse caráter são mais espessos do que uma crosta. Em solos cultivados, a espessura do horizonte *hardsetting* é, freqüentemente, igual ou maior do que a da camada cultivada. Não são permanentemente cimentados e apresentam consistência friável, quando úmidos. Os agregados de um horizonte dessa natureza, que já foi submetido ao cultivo, são parcial ou totalmente desintegrados sob umedecimento. Se o solo foi suficientemente umedecido, se reverterá ao estado *hardset*, ao secamento. Isso pode acontecer depois de uma irrigação por inundação ou de um evento simples como uma chuva intensa”.

Na Austrália, o efeito *hardsetting* ocorre em horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (E, EB, BE e B) (Mullins et al., 1990; Chartres et al., 1990), com regimes de umidade xéricos e ústicos (Franzmeier et al., 1996). Os solos com horizontes *hardsetting* recobrem cerca de 23 % da superfície daquele país (Mullins et al., 1999) mas, provavelmente, mais solos podem apresentar propriedades *hardsetting* em superfície ou tornar-se *hardsetting* sob cultivo.

Em termos de distribuição mundial, os solos com comportamento *hardsetting* ocorrem nas regiões tropicais áridas, semi-áridas e mediterrâneas (Mullins, 1999). Trata-se de uma propriedade de solo comum sob condições climáticas de períodos secos e úmidos alternados (Chartres et al., 1990).

Estima-se que cerca de 12% dos solos da Zâmbia estão no grupo que tem sido identificado como *hardsetting* (Mullins et al., 1987). Alguns pesquisadores afirmam que muitos solos na África e outras regiões, também podem ser caracterizados como *hardsetting* (Mullins et al., 1987, 1990; Young, 1992). Mullins et al. (1990) comenta que Dregne em seu trabalho “*Soils of Arid Regions*” realizado em 1976, fez referência a solos da região Nordeste do Brasil que, provavelmente, teriam comportamento similar. Alfisols (Mullins, 1999), Luvisols, Planosols e Solonetz (Mullins et al., 1990) são classes de solos em que foram identificadas características *hardsetting*.

Os solos com comportamento *hardsetting* não eram descritos no campo com segurança, porque os levantamentos ocorriam em diferentes estações do ano e, no período em que o solo estava úmido, esse comportamento não era observado. Em função disto, o uso do termo *hardsetting* como atributo diagnóstico limitou-se ao sistema de classificação de solos da Austrália (Northcote, 1979). A natureza ambígua do comportamento indicou que o termo apresentava limitações para ser incorporado a outros sistemas taxonômicos (Butler, 1980; Harper & Gilkes, 1994) e não permitiu a ampliação do uso do mesmo. Por outro lado, o termo *hardsetting* é reconhecido internacionalmente e amplamente utilizado na descrição dos solos da Austrália e de outros países de clima tropical (Isbell, 1996).

Mecanismos relacionados à gênese dos solos com caráter coeso

A evolução dos solos dos tabuleiros foi associada a distintos processos de transformação de Latossolos, considerados os primeiros solos da cobertura pedológica (Ribeiro, 2001b). O primeiro modelo propõe que a cobertura pedológica foi entalhada, gerou vertentes onde se estabeleceram solos com horizonte B textural (ou apenas com gradiente textural como Argissolos amarelos e Acinzentados), e finaliza com os solos influenciados pela presença do lençol freático, nas partes baixas da paisagem. Quando os entalhamentos atingem o embasamento cristalino ocorrem outras classes como Cambissolos e solos com presença de sais solúveis. Outra forma de transformação desses Latossolos estaria ligada à presença de depressões fechadas na cobertura pedológica (Ucha, 2001; Carvalho, 2001). Essas depressões seriam formadas por processos de reativação de falhamentos (neotectônica) e diaclasamentos no embasamento cristalino, e apresentariam comportamento hidrodinâmico diferenciado, o que originaria um novo padrão de distribuição de solos. Da borda para o centro das depressões ocorreria a seqüência: Latossolo – Argissolo – Argissolo Acinzentado – Spodossolo (Ucha, 2001; Ribeiro, 2001b).

A gênese dos horizontes coesos ainda é um assunto polêmico, estando associada a vários processos, dentre os quais: à perda do plasma argiloso das camadas superficiais do solo para as camadas subjacentes, processo este denominado argiluviação; à presença de compostos orgânicos pouco polimerizados; à forte instabilidade estrutural; à presença de sílica secundária, ferro e argila dispersa nos microporos; e, ao adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (Ribeiro, 1986; Ponte & Ribeiro, 1990). Esta última hipótese se baseia no pressuposto de que, durante o período seco, os agentes cimentantes seriam desidratados e a matriz argilosa consolidada a ponto de promover o adensamento, e que, durante o período úmido, os agregados destruídos devido ao aumento da pressão de ar no seu interior. É provável, no entanto, que a maioria desses processos ocorra simultaneamente, e que a intensidade com que as camadas coesas sejam formadas esteja relacionada às variações climáticas e morfopedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os tabuleiros costeiros (Ribeiro, 1998).

Em estudo mais recente, Araújo Filho et al. (2001) também associaram a coesão dos solos a causas múltiplas e inter-relacionadas. Um delas seria a presença de sílica e outros aluminossilicatos, que poderiam atuar como agentes cimentantes temporários, no período de secamento do solo. Neste período ocorreria o processo de polimerização e precipitação da sílica e dos outros constituintes sílico-aluminosos amorfos, e a máxima expressão da coesão. No período úmido, por outro lado,

a despolimerização daqueles elementos seria responsável pela condição de friabilidade do material. A grande rigidez que os horizontes coesos atingem na época seca também poderia estar relacionada com a força de adesão das ligações covalentes estabelecidas entre a os elementos cimentantes com as superfícies dos minerais (grupos Si-OH, Al-OH). Um outro fator considerado seria o adensamento natural do material que constitui os horizontes coesos, originado do acúmulo de materiais finos e do arranjo massivo das partículas, que incrementaria a porosidade fina, restringiria a permeabilidade e favoreceria a precipitação dos agentes cimentantes temporários.

Mecanismos relacionados à gênese dos solos com comportamento *hardsetting*

Dois diferentes processos foram propostos para explicar o incremento de resistência em solos *hardsetting*, durante o secamento: i) devido ao incremento do estresse efetivo, que resulta de um incremento de potencial mátrico da água no solo, quando o solo seca; e ii) em função da precipitação de sais solúveis nas zonas de contato entre agregados e/ou partículas (Mullins & Panayiotopoulos, 1984; Mullins et al., 1987; Mullins, 1999). O primeiro processo ocorre em todos os solos, nas etapas iniciais do secamento, antes que a água entre as partículas ou agregados tenha sido substituída por ar. O segundo processo somente ocorre em solos que liberam alguns sais solúveis, durante o umedecimento. Desta maneira, o processo *hardsetting* resulta do processo (i) com uma contribuição do processo (ii) para alguns solos.

A dispersão das argilas, associada ou não à presença de sódio, também é um processo que determina o aparecimento do comportamento *hardsetting* em solos. Como a sodicidade leva a instabilidade estrutural, muitos solos sódicos são *hardsetting*. O tipo de mineral de argila, a distribuição granulométrica das partículas na fração argila e a geometria da superfície e características das cargas determinam o comportamento físico da fração argila e também influenciam a dispersibilidade de um solo (Mullins, 1999).

Chartres et al. (1990) argumentam que o desenvolvimento de resistência não é um fenômeno puramente físico (Mullins et al., 1987) e que a cimentação química teria um papel fundamental nesse processo.

Nos solos *hardsetting*, os efeitos de agentes químicos cimentantes temporários somam-se aos efeitos do potencial mátrico ("estresse efetivo"), aumentando a resistência por ocasião do secamento (Franzmeier et al., 1996). Quando a cimentação química complementa os mecanismos físicos como parte do processo *hardsetting*, a sílica pode ser precipitada ou imobilizada de várias maneiras: i) pela combinação de sílica com íons Al-OH para formar aluminossilicatos cristalinos ou alofanas e imogolitas pobremente ordenadas; ii) pela combinação de Si com óxidos de ferro, tais como goethita e

ferrihidrita, as quais são associadas às superfícies das argilas criando complexos argila-óxido-sílica-óxido-argila; e iii) pela adsorção de sílica por hidróxidos de Al para formar pontes -Al-O-Si- (Franzmeier et al., 1996). O fenômeno de *age-hardening* dos agregados do solo (Dexter et al., 1988) também evidencia o papel de ligações químicas no desenvolvimento da resistência, independente do potencial mátrico.

Características dos solos coesos

As características dos solos coesos refletem sua origem a partir de depósitos sedimentares do período Terciário (Grupo Barreiras) de materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, sempre bastante meteorizados. A mineralogia da fração argila tem mostrado que a caulinita é o mineral dominante, e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo (Jacomine, 1996; Rezende, 2000). Em função do material de origem, os teores de Fe_2O_3 (ataque com H_2SO_4) são inferiores a 80 g kg^{-1} , com predomínio de goethita, o que confere as cores amareladas típicas, geralmente bruno-amarelada, tendendo muitas vezes para cores mais pálidas, bruno-amarelado claro, bruno claro acinzentado ou bruno no matiz 10 YR, com valores 5 e 6 e cromas entre 3 e 6 (Ribeiro, 2001a). Uma característica comum desses solos é o Ki elevado (normalmente de 1,7 a 2,0), quando comparado aos valores geralmente observados nos Latossolos e Argissolos, em função da pequena quantidade de óxidos de ferro e alumínio, e da presença dominante de caulinita.

Os horizontes coesos dos solos não apresentam organização estrutural nítida da massa do solo, o que geralmente leva à formação de uma estrutura maciça, com graus variáveis de coesão (moderadamente coesos a coesos) e densidade do solo média na faixa de $1,5$ a $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ (CEPLAC, 1998; Embrapa, 1999; Ribeiro, 2001a; Araujo Filho et al., 2001). Os limites de textura descritos variam de franco-argiloarenosa a muito argilosa (CEPLAC, 1998; Rezende, 2000), sendo o grau de coesão proporcional ao aumento do teor de argila (Ribeiro, 2001a). Os horizontes coesos não devem ser confundidos com fragipãs, que também tem altos níveis de coesão, mas apresentam quebradice moderada, rompendo-se subitamente quando submetidos à pressão entre o polegar e o indicador. Os coesos passam por lenta deformação, quando examinados úmidos (Jacomine, 2001; Ribeiro, 2001a).

Horizontes coesos de solos apresentam-se dessaturados de bases, ácidos (pH em água normalmente entre 4,0 e 5,0) e, normalmente, atingem valores elevados de alumínio trocável. Em menor proporção são encontrados solos distróficos, sendo raros os registros de solos eutróficos (zona semi-árida) (Jacomine, 1996; 2001; Rezende, 2000). O teor em carbono, mesmo nos solos argilosos sob mata, raramente se eleva acima de 15 g kg^{-1} (Ribeiro, 2001b; Jacomine, 2001).

Características dos solos *hardsetting*

As propriedades físicas e químicas de solos com comportamento *hardsetting* caracterizados por Northcote (1979) no Oeste da Austrália, refletem sua origem a partir de superfícies erosionais de antigas lateritas e de variações climáticas, ocorridas no período Terciário (Tennant et al., 1992). Os períodos cíclicos de umidade e seca (muito semelhantes ao clima atual), teriam contribuído para o desenvolvimento de uma superfície de solos com alta densidade e tendências ao encrostamento, além da subsuperfície compacta e maciça.

Os solos *hardsetting* não apresentam estruturação evidente (apedal), justificada pela pouca quantidade de argila presente, a qual determina os processos de contração e fendilhamento da massa do solo, observados durante o secamento. O comportamento *hardsetting* requer que o solo seco apresente uma elevada resistência, o que deve acontecer se os teores de argila e silte forem suficientes para ligarem os grãos de areia, de modo que esses grãos se mantenham unidos numa rígida matriz (Mullins et al., 1987; Lamotte et al., 1997). Desta maneira, a maioria dos solos descritos com esse caráter apresentam textura franco-arenosa, franca e argila-arenosa, embora tenham sido identificados alguns com textura areia franca, argila-arenosa e argilosa (Mullins et al., 1990; Mullins, 1999). Os valores de densidade do solo observados são, normalmente, bastante elevados (Harper & Gilkes, 1994). Na maioria dos solos *hardsetting* a mineralogia da fração argila é dominada por caulinitas ou micas hidratadas (ilitas) que, praticamente, não desenvolvem fendas estruturais durante o secamento, quando contidas na matriz do solo (Norwisch & Pickering, 1983). O comportamento *hardsetting* é, predominantemente, observado em solos com baixas concentrações de matéria orgânica (Mullins et al., 1990), tipicamente menor que 20 g kg⁻¹.

Problemas relacionados aos solos com elevada resistência, quando secos

Os solos que desenvolvem elevada resistência, durante o secamento, são uma fonte de limitações físicas, cujos efeitos podem ser imperceptíveis ou devastadores em relação ao preparo e desenvolvimento das culturas. Mullins et al. (1987; 1990) indicaram uma gama de problemas agrônômicos associados aos solos com esse comportamento, incluindo o tempo restrito para o preparo do solo e o incremento dos impedimentos físicos para o adequado desenvolvimento radicular. A elevada resistência desses solos, quando secos, traz sérias implicações ao crescimento das raízes, porque a resistência do solo à penetração (RP) normalmente excede os 3 MPa, antes que o solo tenha atingido o ponto de murcha permanente (- 1,5 MPa de potencial mátrico). O valor de 3 MPa é suficiente para impedir severamente ou parar o crescimento radicular e limitar

a emergência de hipocótilos (Mullins, 1997). Weaich et al. (1992a) e Masle & Passioura (1987) já haviam demonstrado como o efeito *hardsetting* impede a emergência dos hipocótilos e como o mesmo poderia ser teoricamente prognosticado. Em solos coesos do nordeste brasileiro, Rezende (2000) salientou o efeito negativo do aumento da resistência dos horizontes coesos do solo no desenvolvimento do sistema radicular da laranjeira, sobretudo o das raízes pivotantes.

Para o crescimento das raízes, o incremento da resistência é particularmente importante durante o secamento dos solos *hardsetting* e coesos. Nessa situação, as raízes não encontram caminhos para se desenvolverem, devido à ausência de fendas estruturais. Alguns solos estudados por Mullins et al. (1987) desenvolveram uma resistência à penetração acima de 3 MN m², antes mesmo de terem secado a um potencial de - 0,1 MPa. Ley et al. (1995) encontraram uma RP igual ou maior a 2 MPa em alguns solos da Nigéria, quando foram secados a um potencial matricial de apenas - 0,1 MPa. Resultados similares foram obtidos para solos *hardsetting* do Reino Unido (Young et al., 1991), Austrália (Mullins et al., 1992b) e Tanzânia (Mullins, 1997), e solos coesos do nordeste do Brasil (Santos, 1992; Nacif, 1994; Rezende, 2000; Giarola et al., 2001).

Os solos com horizontes *hardsetting* e coesos estão sujeitos a prejuízos pelo preparo realizado fora de uma estreita faixa de conteúdo de água. Quando o preparo desses horizontes é feito com o solo seco, tendem a quebrar-se em blocos grandes que, após a redução do tamanho dos mesmos, pode levar à formação de uma camada de cultivo pulverizada bastante propícia ao selamento superficial e à enxurrada (Tisdall & Adem, 1986). Já o preparo realizado com o solo úmido, mobiliza uma grande proporção de silte e argila desses horizontes, que pode reduzir a infiltração (Tisdall & Adem, 1986), assim como produzir uma superfície endurecida através da qual as plântulas são incapazes de penetrar (Sinclair, 1985). O preparo em solo muito úmido, além de resultar em compactação, também pode mobilizar algum agente cimentante, que propicie o endurecimento do solo durante o secamento.

Os horizontes *hardsetting* e coesos limitam o crescimento do sistema radicular das culturas e, assim, a produtividade, porque reduzem a infiltração da água no solo, promovendo falta de aeração, aumento de escoamento superficial da água da chuva ou irrigação, e o acúmulo de água nas depressões (Mullins, 1997; Ribeiro, 2001). A redução do crescimento do sistema radicular contribui para o aumento da deficiência de água em virtude do menor volume de solo explorado. Sob irrigação, é possível superar algumas destas limitações, mas o colapso estrutural pode levar a uma restrição na aeração das raízes e na entrada de água (Mullins, 1997; Rezende, 2000). No caso dos solos com horizontes coesos, as limitações são mais graves nos mais argilosos, com textura argilo-arenosa ou mais fina no

horizonte coeso. Nestes casos, o sistema radicular é limitado pela dureza, quando o solo está seco, e pela falta de aeração, no período chuvoso. Nos perfis mais arenosos, o simples aprofundamento da umidade reduz a resistência à penetração das raízes, sem que haja excesso de umidade (Ribeiro, 2001a).

A raízes que crescem em solos *hardsetting* e coesos, e que, simultaneamente, os secam, aumentam, progressivamente, o impedimento mecânico do solo e, conseqüentemente, reduzem a taxa de crescimento radicular. Entretanto, onde o perfil for umedecido e o impedimento mecânico do solo reduzido, as raízes poderão recuperar rapidamente o crescimento. Dessa maneira, o efeito total na distribuição das raízes no perfil do solo dependerá do modelo de distribuição das chuvas local e do grau de umedecimento do mesmo. O efeito das restrições causadas pelo endurecimento do solo no crescimento radicular e, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas, foi modelado para solos com horizonte *hardsetting* por Bradley e Crout, usando RP *versus* características de sucção mátrica em solos da Tanzânia (Mullins, 1997).

Identificação dos solos coesos

O estudo realizado por Oliveira et al. (1968) deu início à caracterização pormenorizada do adensamento subsuperficial em áreas de tabuleiros. Anos depois, Oliveira & Melo (1970) concluíram que a utilização agrícola desses solos estava limitada pelas condições físicas do subsolo e destacaram a diminuição da aeração e a baixa permeabilidade, em decorrência do adensamento que limitava a penetração das raízes das plantas. Jacomine et al. (1975), Anjos (1985), Fonseca, (1986), Silva (1989; 1996) e Embrapa (1995), deram continuidade à identificação e caracterização de solos com caráter coeso em várias regiões do Brasil, sem, no entanto, estabelecerem critérios quantitativos para a identificação dos mesmos.

No Brasil, a identificação dos horizontes com caráter coeso tem sido feita qualitativamente, através da análise morfológica do perfil. Tais solos, quando secos, apresentam resistência à penetração elevada do martelo pedológico, tornando-se friáveis, quando umedecidos. Esse procedimento dificulta a identificação do caráter com base em critérios seguros, que permitam a extensão do uso do mesmo às demais regiões do país. A falta de estudos pormenorizados sobre esse comportamento, também impede que se defina se esses horizontes estão relacionados com as propriedades do solo ou com as modificações do solo impostas pelo manejo ou, ainda, com as condições climáticas prevaletentes na área.

Como tentativa de normatização do critério de avaliação dos graus de coesão, Embrapa (1979) estabeleceu padrões de referência para a identificação da coesão dos solos a partir das características observadas nos Latossolos Amarelos do Grupo Barreiras, da faixa dos Tabuleiros Costeiros, região

Nordeste do Brasil. O termo coeso seria, nessa oportunidade, utilizado provisoriamente, até que se encontrasse outro mais adequado para definir esse comportamento.

A definição dada por Ribeiro (1991) para o caráter coeso, associada a valores de densidade do solo, foi sugerida para uso a partir da IV Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamentos de Solos (Embrapa, 1995), além da criação de um sufixo que indicaria o caráter coeso e o incorporaria, como atributo distintivo de classe, ao sistema de classificação de solos do Brasil. A organização de uma definição mais detalhada dos graus de coesão também foi sugerida naquela oportunidade.

O atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) não apresenta uma definição objetiva para o designativo "coeso" que permita a identificação segura desse comportamento no campo, e restringe o uso do mesmo apenas para a classe dos Latossolos Amarelos originários dos sedimentos do Grupo Barreiras. Permanece, ainda, a necessidade de definir com maior clareza, parâmetros que caracterizem a camada coesa e sua localização no perfil e, ainda, de estabelecer critérios para medir o grau de coesão dos solos, definindo solos coesos com graus variáveis de coesão, de modo a orientar medidas de manejo para cada situação (Nogueira, 1996).

Identificação dos solos *hardsetting*

O reconhecimento de horizontes *hardsetting* se apoiava, principalmente, em avaliações qualitativas de atributos morfológicos do solo. Mullins et al. (1987) mencionavam que as observações de campo de perfis de solo secos eram fundamentais para caracterizar a ausência de estrutura e, ainda, testar o comportamento de pequenos fragmentos do solo seco, quando imersos em água (onde eles devem rapidamente enfraquecer-se e desintegrar-se). Posteriormente, Mullins (1997) sugeriu que a identificação no campo de um horizonte *hardsetting* deveria, também, levar em conta medidas de resistência do solo, pois o valor de resistência contido na definição de *hardsetting* era arbitrário e baseado na experiência. Em horizontes *hardsetting*, numa mesma variação de umidade, a variação da resistência do solo seria muito maior do que num solo com estrutura estável (Mullins et al., 1992a).

A resistência à penetração é uma medida útil para o estudo da resistência de solos com horizontes ou camadas *hardsetting* (Mullins et al., 1992a; Ley & Laryea, 1994), uma vez que, com o secamento, esses se tornam extremamente duros, impedindo o crescimento e funcionamento das raízes. A curva de resistência do solo pode ser usada para indicar a rapidez com que a resistência aumenta com o decréscimo da umidade. Outros critérios diagnósticos no estudo de solos com comportamento *hardsetting* são apresentados por Mullins (1997).

Becher et al., (1997) propuseram um índice para identificar solos com características *hardsetting*, utilizando a máxima resistência obtida e um parâmetro descritivo da sensibilidade de variação da resistência com a umidade (I). Os autores sugerem a relação RP_{max}/I para descrever a taxa de variação da resistência com a umidade do solo, e sua magnitude poderia ser indicada para identificação dos solos com características *hardsetting*. A importância da quantificação da taxa de variação da resistência com a umidade deve-se ao fato de que destas taxas podem resultar em ocorrência de resistências impeditivas ao crescimento das plantas sob umidades maiores que o ponto de murcha permanente (Weaich et al., 1992b; Hall et al., 1994; Ley et al., 1995).

Considerações finais

Os conceitos, ocorrência, características físicas, químicas e mineralógicas descritos para o atributos *hardsetting* e coeso, apresentam uma série de coincidências. Este fato indica que pode se tratar de um mesmo tipo de comportamento de solo, ao qual foram dadas denominações distintas, em diferentes regiões do globo.

As pesquisas realizadas sobre o caráter coeso dos solos, no Brasil, ainda são incipientes. Apesar de os estudos desta natureza terem sido iniciados em 1968 em Pernambuco, seguiu-se um período de 1970 a 1980 em que poucos trabalhos foram produzidos. Este fato não permitiu que se organizassem os conceitos e uniformizassem os critérios para a distinção do caráter, para uso em todo o território nacional. A falta de definição de parâmetros que indiquem a presença do atributo e, ainda, de diferentes graus de coesão, impossibilita que se realize um reconhecimento fácil e seguro do mesmo. Uma retomada dos estudos ocorreu a partir de 1990, quando um número expressivo de trabalhos foi apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo e, apenas nos últimos cinco anos, organizados dois Workshops sobre o assunto.

Os estudos sobre o atributo *hardsetting* vem de longa data, e uma série de avanços auxiliaram num melhor entendimento e no estabelecimento de parâmetros mais confiáveis para a identificação dos solos *hardsetting*. Alguns parâmetros quantitativos, que já vêm sendo utilizados na identificação dos solos *hardsetting*, como por exemplo, o comportamento das curvas de resistência do solo ou o índice de resistência máxima, podem ser testados nos solos com horizontes coesos brasileiros, associados aos constantes valores elevados de densidade do solo. Esses parâmetros podem ser utilizados no estabelecimento de novos grupamentos de solos no sistema taxonômico brasileiro, em níveis hierárquicos inferiores. O conteúdo de água na resistência máxima também pode ser um parâmetro auxiliar para a subdivisão de classes de solos que manifestem o caráter coeso.

O uso de atributos morfológicos para o reconhecimento do caráter coeso, como é o caso particular da estrutura maciça moderadamente coesa a coesa, é de valor limitado como feição distintiva auxiliar, já que o caráter “coeso” não se manifesta quando o solo está úmido.

Como no caso do *hardsetting*, o comportamento coeso não deveria estar vinculado apenas a um Grupo geológico específico (Barreiras, no caso), mas a solos que reúnem as características gerais que se enquadrem dentro daquele comportamento. Desta maneira, é importante que a definição do caráter permita a inclusão de solos formados a partir de outros materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, L.H.C. Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do Terciário na região de Campos, RJ. Itaguaí, 1985. 194p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- ARAUJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. e. 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, 2001a. p.123-142.
- BECHER, H.H.; BREUER, J.; KLINGER, B. An index value for characterizing *hardsetting* soils by fall-cone penetration. *Soil Technology*, v.10, p.47-56, 1997.
- BUTLER, B.E. *Soil classification for soil survey*. Oxford: Clarendon Press, 1980.
- CARVALHO, C.C.N. de. Gênese e transformação de solos em um tabuleiro do recôncavo baiano. Salvador, 2001. 116p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
- CHARTRES, C.J.; FITZGERALD, J.D. Properties of siliceous cements in some australian soils and saprolites. *Developments in Soil Science*, v.19, p.199-205, 1990.
- CHARTRES, C.J.; KIRBY, J.M.; RAUPACH, M. Poorly Ordered Silica and Aluminosilicates as Temporary Cementing Agents in Hard-Setting Soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.54, p.1060-1067, 1990.
- COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA - CEPLAC. *Guia da excursão técnica: Solos Coesos de Tabuleiros Costeiros - Ilhéus, Centro de Pesquisas do Cacau*. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 84p.
- DEXTER, A.R.; HORN, R.; KEMPER, W.D. Two mechanisms for age-hardening of soil. *Journal of Soil Science*, v.30, p.163-175, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamento de solos, 4., Rio de Janeiro, 1994. *Anais*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1995. 157p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento de Solos. Reunião técnica de levantamento de solos, 10., Rio de Janeiro, 1979. *Súmula*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SNLCS, 1979. 83p.
- FONSECA, O.O.M. Caracterização e classificação de solos latossólicos e podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do Terciário no litoral brasileiro. Itaguaí, 1986. 185p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- FRANZMEIER, D.P.; CHARTRES, C.J.; WOOD, J.T. *Hardsetting Soils in Southeast Australia: Landscape and Profile Processes*. *Soil Science Society of America Journal*, v.60, p.1178-1187, 1996.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. da.; TORMENA, C.; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. da P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.239-247, 2001.
- HALL, D.J.M.; MCKENZIE, D.C.; MACLEOD, D.A.; BARRET, A. Amelioration of a *hardsetting* alfisol through deep mouldboard ploughing, gypsum application and double cropping. I. Soil physical and chemical properties. *Soil & Tillage Research*, v.28, p.253-270, 1994.
- HARLAN, P.W.; FRANZMEIER, D.P.; ROTH, C.B. Soil formation on loess in southwester Indiana. II. Distribution of clay and free oxides and fragipan formation. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, p.99-103, 1977.

- HARPER, R.J.; GILKES, R.J. Hardsetting in the surface horizons of sandy soils and its implications for soil classification and management. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.603-619, 1994.
- ISBELL, R.F. **The Australian soil classification**. Melbourne: CSIRO Publishing, 1996.
- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros**; anais. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; EMBRAPA, CNPMF; EAUFGA; IGUFBA, 1996. p.13-24.
- JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Sergipe**. Recife: EMBRAPA; CPP; SUDENE; DRN; MA; CONTAP; USAID; ETA, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6).
- LAMOTTE, M.; BRUAND, A.; HUMBEL, F.X.; HERBILLON, A.J.; RIEU, M. A hard sandy-loam soil from semi-arid Northern Cameroon: I. Fabric of the groundmass. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.213-225, 1997.
- LEY, G.J.; MULLINS, C.A.; LAL, R. The potential restriction to root growth in structurally weak Tropical soils. **Soil & Tillage Research**, v.33, p.133-142, 1995.
- LEY, G.J.; LARYEA, K.B. Spatial variability in penetration resistance of a hardsetting tropical alfisol. **Soil & Tillage Research**, v.29, p.367-381, 1994.
- MASLE, A.; PASSIOURA, J.B. Effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.634-656, 1987.
- MCDONALD, R.C.; ISBELL, R.F.; SPEIGHT, J.G.; WALKER, J.; HOPKINS, M.S. **Australian soil and land survey field handbook**. 2.ed. Melbourne: Inkata Press, 1990.
- MCDONALD, R.C.; ISBELL, R.F.; SPEIGHT, J.G.; WALKER, J.; HOPKINS, M.S. **Australian soil and land survey field handbook**. Melbourne: Inkata Press, 1984.
- MULLINS, C.E. Hardsetting soils. In: SUMNER, M.E. (Ed.), **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 1999. p.G65-G87.
- MULLINS, C.E. Hardsetting. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.) **Methods for assesment of soil degradation. Advances in Soil science**. New York: 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 & Tillage Research**, v.25, p.113-128, 1992a.
- MULLINS, C.E.; CASS, A.; MacLEOD, D.A.; HALL, D.J.M.; BLACKWELL, P.S. Strength development during drying of a cultivated, flood-irrigated hardsetting soil. II. Trangie soil, and comparison with theoretical predictions. **Soil & Tillage Research**, v.25, p.129-147, 1992b.
- MULLINS, C.E.; MacLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M.; YOUNG, I.M. Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. **Advances in Soil Science**, v.11, p.37-108, 1990.
- MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHOUGH, A.G.; LEY, G.J. Hard-setting soils **Soil Use and Management**, v.3, p.79-83, 1987.
- MULLINS, C.E.; PANAYIOTOPOULOS, K.P. The strength of unsaturated mixture of sand and caolin and the concept of effective stress. **Journal of Soil Science**, v.35, p.459-468, 1984.
- NACIF, P.G.S. Efeitos da subsolagem em propriedades físico-hídricas de um Latossolo Amarelo Álico coeso, representativo do Recôncavo Baiano. Viçosa, 1994. 75p. Dissertação (M.S.) – Universidade Federal de Viçosa.
- NASCIMENTO, G.B. do. Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambiente de Tabuleiros Costeiros da região Norte Fluminense (RJ). Rio de Janeiro, 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- 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. **Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros**; anais. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; EMBRAPA, CNPMF; EAUFGA; IGUFBA, 1996. p.76-80.
- NORTHCOTE, K.H. **A factual key for the recognition of Australian soils**. Division of Soils. Melbourne: CSIRO, 1960. (Divisional Report, 4/60).
- NORTHCOTE, K.H. **A factual key for the recognition of Australian soils**. 3.ed. Glenside: Rellium Technical Publishers, 1971.
- NORTHCOTE, K.H. **A factual key for the recognition of Australian soils**. 4.ed. Glenside: Rellium Technical Publishers, 1979.
- NORTHCOTE, K.H.; HUBBLE, G.D.; ISBELL, R.F.; THOMPSON, C.F. & BETTANY, E. **A description of Australian soils**. Melbourne: CSIRO, 1975.
- NORWISH, K.; PICKERING, J.G. Clay minerals. In: **Soils: An Australian viewpoint**. Melbourne: CSIRO, 1983. p.281-308.
- OLIVEIRA, L.B. de.; MELO, V. de. Caracterização físico-hídrica do solo. I. Unidade Itapirema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.35-48, 1970.
- OLIVEIRA, L.B. de.; DANTAS, H. da S.; CAMPELO, A.B.; GALVÃO, S.J.; GOMES, I.F. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de "tabuleiro" da Estação Experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.207-214, 1968.
- PONTE, C.M.; RIBEIRO, L.P. **Estudo da gênese de horizontes coesos em uma toposequência na área do Candéal – Escola de Agronomia da UFBA**. Salvador: IGEO/UFBA, 1990.
- REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1).
- RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001a. p.161-168.
- 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, 2001b. p.93-121.
- RIBEIRO, L.P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Seplanteq, CADCT, 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: CNRS, 1991.
- RIBEIRO, L.P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas**, n.38, p.59-80, 1986.
- SANTOS, D.M.B. Efeitos da subsolagem mecânica sobre a estrutura de um solo de "tabuleiro" (Latossolo Amarelo Álico coeso) no município de Cruz das Almas – Bahia (Caso 2). Salvador, 1992. 87p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
- SILVA, M.S.L. Caracterização de latossolos amarelos sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. Recife, 1996. 133p. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco.
- SILVA, M.S.L. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar em propriedades do solo de tabuleiro do estado de Alagoas. Recife, 1989. 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco.
- SINCLAIR, J. Crusting, soil strength and seedling emergence in Botswana. Aberdeen, 1985. 223p. Thesis (Doctor) - Aberdeen University.
- SMECK, N.E.; CIOLKOSZ, E.J. (Ed.). **Fragipans: their occurrence, classification and genesis**. Madison: SSSA, 1989. 153p. (Special Publication, 24)
- TENNANT, D.; SCHOLZ, G.; DIXON, J.; PURDIE, B. Physical and chemical characteristics of duplex soils and their distribution in the south-west of Western Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.32, p.827-843, 1992.
- TISDALL, J.M.; ADEM, H.H. Effect of water content of soil at tillage on size-distribution of aggregates and infiltration. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.26, p.193-195, 1986.
- UCHA, J.M. Processos de transformação Latossolo-Espodossolo sobre os sedimentos do Grupo Barreiras nos tabuleiros costeiros do Litoral Norte do Estado da Bahia. Salvador, 2000. 196p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia.
- VEPRASKAS, M.J. Cone index of loamy sands as influenced by pore size distribution and effective stress. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.1220-1225, 1984.
- WEAICH, K.; BRISTOW, K.L.; CASS, A. Pre-emergent shoot growth of maize under different drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1272-1278, 1992a.
- WEAICH, K.; CASS, A.; BRISTOW, K.L. Use of a penetration resistance characteristic to predict soil strength development during drying. **Soil & Tillage Research**, v.25, p.149-166, 1992b.
- YOUNG, I.M.; MULLINS, C.E.; COSTIGAN, P.A.; BENGHOUGH, A.G. Hardsetting and structural regeneration in two unstable British sandy loams and their influence on crop growth. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.383-394, 1991.

Recebido em 02.10.01