

**Resistência à penetração em  
Latosso Amarelo dos Tabuleiros  
Costeiros, sob cobertura vegetal  
com leguminosas**



ISSN 1809-5003

Novembro, 2013

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Mandioca e Fruticultura*

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 58***

## **Resistência à penetração em Latosolo Amarelo dos Tabu- leiros Costeiros, sob cobertura vegetal com leguminosas**

*Laercio Duarte Souza, Caroline Valverde  
dos Santos, Luciano da Silva Souza,  
Bruno Laécio da Silva Pereira*

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Cruz das Almas, BA

2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Mandioca e Fruticultura**

Rua Embrapa, s/nº, 44380-000, Cruz das Almas, Bahia

Caixa Postal 007

Fone: (75) 3312-8000

Fax: (75) 3312-8097

Homepage: <http://www.cnpmf.embrapa.br>

E-mail: [sac@cnpmf.embrapa.br](mailto:sac@cnpmf.embrapa.br)

### **Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Aldo Vilar Trindade*

Secretária: *Maria da Conceição Pereira Borba dos Santos*

Membros: *Antonio Alberto Rocha Oliveira*

*Aurea Fabiana Apolinário de Albuquerque*

*Cláudia Fortes Ferreira*

*Herminio Souza Rocha*

*Jacqueline Camolese de Araújo*

*Marcio Eduardo Canto Pereira*

*Tullio Raphael Pereira Pádua*

*Léa Ângela Assis Cunha*

*Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Supervisão editorial: *Aldo Vilar Trindade*

Revisão de texto: *Ana Lúcia Borges*

*José Eduardo Borges de Carvalho*

*Francisco Alisson da Silva Xavier*

Normalização bibliográfica: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Editoração e tratamento de imagem: *Anapaula Rosário Lopes*

Foto(s) da capa: *Laercio Duarte Souza*

### **1ª edição**

versão (2013): online

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Mandioca e Fruticultura**

---

Souza, Laercio Duarte

Resistência à penetração em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, sob cobertura vegetal com leguminosas.[recurso eletrônico] / Laercio Duarte Souza... [et al.]- Dados Eletrônicos. - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013.

26 p. il. ; 21 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Mandioca e Fruticultura, ISSN 1809-5003; 58).

Sistema requerido: Adob Acrobat Reader

Modo de acesso: Word Wide Web; <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/boletins/boletimpesquisa\\_58.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/boletins/boletimpesquisa_58.pdf)>.

Título da página web (acesso em 18/11/2013)

1. Latossolo Amarelo. 2. Sistema de raízes. 3. Tabuleiros Costeiros. I. Souza, Laercio Duarte, II. Título. III. Série.

---

CDD 631.47 (21.ed.)

© Embrapa 2013

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução .....	9
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	14
Parâmetros do solo .....	14
Relação solo : planta .....	18
Parâmetros da planta.....	19
Conclusões .....	20
Referências .....	23



# Resistência à penetração em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, sob cobertura vegetal com leguminosas

---

*Laercio Duarte Souza*<sup>1</sup>

*Caroline Valverde dos Santos*<sup>2</sup>

*Luciano da Silva Souza*<sup>3</sup>

*Bruno Laécio da Silva Pereira*<sup>4</sup>

## Resumo

A cobertura vegetal do solo é efetiva no controle da erosão e na recuperação da sua degradação. Os sistemas agrícolas atuais revolvem o solo, compactam a superfície e a mantêm descoberta, o que oxida a matéria orgânica e emite carbono (C) para a atmosfera. Práticas como a subsolagem e o cultivo de leguminosas são utilizadas para romper camadas compactadas/coesas. Os solos dos Tabuleiros Costeiros, com camadas subsuperficiais coesas, dificultam a penetração das raízes, da água e do ar no seu perfil. O Latossolo Amarelo Distrocóeso, no horizonte AB (coeso), apresentou densidade relativa de 0,9938 e macroporos menores do que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , o que alterou o desenvolvimento das leguminosas *Crotalaria juncea* (CJ) e *Crotalaria ochroleuca* (CO). A distribuição de raízes, no horizonte Ap para a CO,

---

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, D. Sc. em Solos/Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, laercio.souza@embrapa.br.

<sup>2</sup> Engenheira-agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cvalsan2012@gmail.com.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, D. Sc. Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, CCAAB. lsouza@ufrb.edu.br.

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, M. Sc. em Ciência do Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. brunolaecio\_3@hotmail.com.

foi 75,2% do seu peso e 29,6% do seu comprimento, enquanto para a CJ, foi de 2,7% do seu peso e 3,6% do seu comprimento. No horizonte AB, a CO apresentou 13,3% do peso e 34,6% do comprimento, enquanto a CJ distribuiu 67,5% do peso e 55,7% do seu comprimento. A CO produziu maior peso de parte aérea e de raízes. A CJ produziu maior volume de raízes e foi capaz de penetrar nas camadas coesas em profundidade.

Termos para indexação: sistema de raízes, densidade relativa, solos coesos.

# Resistance to penetration in Yellow Oxisol of Coastal Tablelands, under cover with leguminous plants

---

## Abstract

Cover crop of soil is effective in controlling erosion and to recover degradation. The current farming systems involve soil revolvimento, compacting the surface, promoting oxidation of organic matter and emission of C into the atmosphere. Practices at subsoling and cultivation of plants of the Leguminosae family have been used to break up the compacted/cohesive layers. Soils of the Coastal Tablelands have cohesive subsurface layers that hamper root penetration, water and the air in your profile. The Yellow Latosol Dystrophic Cohesive, in AB horizon (cohesive), the relative density was 0.9938 and macropores were smaller than  $0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  what promoted changes in the development of the *Crotalaria juncea* (CJ) and *Crotalaria ochroleuca* (CO). The root distribution, in the Ap horizon to the CO, was 75.2% of the weight and 29.6% of the length, whereas for the CJ, was 2.7% of the weight and 3.6% of the length. In the AB horizon, the CO showed 13.3% of weight and 34.6% of length, while CJ distributed 67.5% of their weight and 55.7% of their length. The CO produced higher weight of aerial part and roots. The CJ produced more roots and was able to penetrate in the cohesive layers in depth.

Index terms: roots system, relative bulk density, cohesive soils.





## Introdução

As rochas, antes de se tornarem solos, já estão sendo cobertas por líquens, algas e fungos, em uma benéfica interação dos minerais com a flora e a fauna. O intemperismo das rochas, que tem como consequência a milenar formação dos solos, será acompanhado por um sistema vegetal, em evolução, cobrindo a sua superfície. Essa cobertura, a vegetação nativa (VN), é a que mais preserva o ritmo da evolução natural do solo, protegendo a sua capacidade de sustentar plantas e animais.

A remoção da VN (desmatamento), para realizar os cultivos agrícolas, inicia um processo comparativamente mais rápido de degradação do solo. Nos sistemas agrícolas atuais, o preparo da área para o plantio revira o solo com intensa mecanização e aplicação de insumos, ocupa o solo apenas com o cultivo implantado e mantém descoberta grande parte da área durante o ciclo da cultura.

O solo exposto ao sol e à chuva é submetido à compactação e à erosão que degradam a sua superfície, diminuindo o espaço poroso na sua principal entrada de água e de troca de gases com a atmosfera (BRADY e WEIL, 2008). Nos solos degradados, passa a predominar uma VN que é adaptada ao estresse de água e aeração. São plantas que produzem pouca biomassa, reciclam poucos nutrientes, são resistentes e difíceis de serem eliminadas, o que dificulta a produção agrícola. No entanto, é a vegetação que essa condição de solo permite que se estabeleça, sendo fundamental para o processo de sua recuperação. Quando, por razões diversas, escasseiam as plantas que conseguem se estabelecer em determinado solo, tem início a desertificação da área.

A cobertura vegetal do solo é um dos componentes mais efetivos para evitar a ocorrência da erosão, pois com 40% de cobertura se reduz em 80% o arraste de água e nutrientes em relação ao mesmo solo mantido descoberto (TOY et al., 2002). Também é eficiente para recuperar áreas degradadas, pois a ação das raízes, que interagem diretamente com as partículas do solo, influencia na formação dos seus agregados

e desenvolve e amplia o sistema de poros (SILVA e MIELNICZUK, 1997). A parte aérea tem a função de cobrir o solo e, em conjunto com as raízes, incorporar material orgânico ao solo. Existem espécies adaptadas às condições de estresse que têm maior capacidade de absorção de água, nutrientes e produção de biomassa do que a VN, sendo denominadas 'adubos verdes'. Essas espécies devem ser fáceis de manejar, não podem ser invasoras, mas devem ser fáceis de plantar e de eliminar quando for conveniente, e ainda, capazes de cobrir o solo e predominar sobre a VN por determinado tempo e com baixo custo. Uma vez estabelecidas, a sua cobertura deve evitar a erosão, diminuir perdas de água por evaporação e aumentar o teor de matéria orgânica no solo (CALEGARI, 1995; ALVARENGA et al., 1996; SILVA; ROSOLEM, 2001; OLIVEIRA et al., 2002; CHERR et al. 2006).

As variações no teor de matéria orgânica aumentam ou diminuem o teor de carbono (C) no solo, que é o seu reservatório fundamental, pois contém 1.500 Gt ( $10^{15}$  g) de C orgânico, o que equivale a mais de duas vezes o que existe na atmosfera (730 Gt) e três vezes o que contém nas plantas (500 Gt) (IPCC, 2000). Historicamente o solo já perdeu entre 40 e 90 Gt devido à agricultura e outros distúrbios. Na década de 1990 o uso da terra emitiu  $1,6 \pm 0,8$  Gt de C por ano e a taxa continua crescendo (SMITH, 2008). A adoção de práticas agrícolas que diminuam a emissão de C para a atmosfera, como coberturas vegetais vivas ou mortas, plantio direto e cultivo mínimo, é vital à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O revolvimento do solo oxida a matéria orgânica e emite C na atmosfera, degradando o solo e alterando o clima.

O aumento da produtividade agrícola, retirando uma quantidade cada vez maior de material orgânico e mineral por área, provoca o seu esgotamento. A adição isolada de nutrientes minerais – a fertilização mais utilizada atualmente – não recupera a estrutura do solo nem a sua biologia. Há necessidade de repor a exportação de material orgânico, adicionando ao solo raízes em profundidade e fibras vegetais na superfície junto com os nutrientes minerais (LOVELAND; WEBB, 2003). O sistema de raízes das leguminosas, geralmente profundo, recicla nutrientes à superfície, rompe camadas compactadas e coesas

e produz grandes quantidades de biomassa por área (TANAKA, 1981; CARVALHO et al., 2004a).

Os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam em sua gênese a formação de horizontes subsuperficiais coesos, geralmente localizados nos horizontes AB e/ou Bw1, ocupando parte ou o todo de cada horizonte (JACOMINE et al., 1977). Os horizontes coesos, quando secos, são de extrema dureza e dificultam a penetração das raízes e a dinâmica da água e do ar no perfil do solo, tornando-se um problema ao cultivo agrícola. A utilização da subsolagem em profundidade de até 0,5 m e/ou o cultivo de leguminosas em rotação ou em consórcio, têm sido as soluções mais adotadas para esses solos (CARVALHO et al., 2004a; SOUZA et al., 2004; SOUZA et al., 2006).

O fenômeno da coesão não apresenta diferenças químicas ou morfológicas que o diferenciem em relação ao horizonte que está inserido, mas apenas a extrema dureza quando seco. Em função disso, uma das formas mais utilizadas para a sua localização e avaliação é a resistência do solo à penetração em função da umidade. Nesse caso, também se mede algumas das alterações na sua consistência.

O objetivo desse trabalho é avaliar a utilização de duas espécies de leguminosas como cobertura vegetal em um Latossolo Amarelo Distrocoeso dos Tabuleiros Costeiros, e as alterações na resistência à penetração de raízes no perfil desse solo.

## **Material e Métodos**

O trabalho foi realizado no período de junho a dezembro de 2006 na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, no município de Cruz das Almas-BA, a 12°40'64" S e 39°04'90" O e altitude de 217 metros. As médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foram de 1.200 mm, 24°C e 80%, respectivamente. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso, com declive variando de 0 a 3% (EMBRAPA, 1991).

As leguminosas avaliadas foram *Crotalaria juncea* (CJ) e *Crotalaria ochroleuca* (CO), tendo a VN, onde predominavam o gênero *Brachiaria*, como testemunha. As leguminosas foram semeadas em três quadras experimentais de 10 m x 10 m (100 m<sup>2</sup>), em junho de 2006. O preparo do solo e a semeadura consistiram na sequência das seguintes operações: a) roçadeira; b) aplicação de calcário dolomítico, na dose recomendada para a profundidade de 20-40 cm, com 20% de calcário substituído por gesso; c) escarificador na profundidade de 20 a 30 cm; d) aplicação de calcário dolomítico, na dose recomendada de 0-20 cm; e) gradagem leve para incorporar o calcário; f) subsolagem a 0,5 m de profundidade; g) semeadura manual entre sulcos do subsolador, a 0,5 m entre linhas, com 25 e 30 sementes por metro linear, para a *Crotalaria juncea* e *Crotalaria ochroleuca*, respectivamente, cobertas com rastelo manual. A calagem foi realizada para atingir 60% da saturação por bases. Não foi realizada nenhuma outra prática cultural como controle fitossanitário ou capinas, até a colheita das sementes das leguminosas, que se deu em novembro de 2006.

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com o penetrômetro de impacto, modelo "IAA/Planalsucar-Stolf", até a profundidade de 0,6 m. A RP foi relacionada com a umidade gravimétrica do solo, obtida por meio da amostragem nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm (STOLF, 1991). A RP e a umidade do solo foram realizadas simultaneamente.

Foi determinada a umidade de máxima compactação nos horizontes Ap, AB e Bw1 do Latossolo Amarelo Distrocóeso, utilizando o Teste de Proctor (HEAD, 1992).

Ao final do ciclo, quantificou-se nas plantas o peso da parte aérea, peso e volume das raízes presentes em quatro horizontes do solo. As raízes foram avaliadas no sistema de monolito (BÖHM, 1979) que utiliza uma prancha de madeira com 1,1 m de altura por 0,64 m de largura, com pregos de 0,15 m de comprimento, espaçados a cada 0,05 m, e uma lâmina de ferro com as mesmas medidas, mas sem pregos. A prancha de ferro foi introduzida no solo a 0,075 m de distância da planta, em seguida, de forma frontal e, também a 0,075 m de distância da planta,

foi cavada uma trincheira e colocada a prancha com pregos. Utilizando um macaco hidráulico, a prancha com pregos foi introduzida no solo, fazendo um sanduiche com uma placa de solo de 1,1 m x 0,64 m x 0,15 m, que é retirada da trincheira com toda a planta (Figura 1).

A prancha foi lavada com jatos de água, ficando somente as raízes na estrutura de pregos. A parte aérea foi separada e determinou-se o peso da matéria fresca e seca (72 horas a 70°C). O sistema de raízes, após a lavagem, foi cortado, identificado por horizontes e mantido em álcool a 50%, na geladeira. O comprimento das raízes foi determinado dispondo-as em transparências, digitalizadas e processadas no aplicativo GSroot (GUNDDANTI e CHAMBERS, 1993). Em seguida, foram secas (72 horas a 70°C) para determinar o poder relativo de penetração das raízes de cada horizonte (PRPR: massa raiz coeso/massa raiz total), segundo CARVALHO et al. (2004b).

A identificação dos horizontes do solo, segundo o levantamento realizado por Embrapa (1991), foi realizada na trincheira onde se inseriu a prancha. As análises realizadas antes do plantio das leguminosas foram: granulometria, porosidade, densidade do solo e os atributos químicos, segundo Claessen (1997).



**Figura 1.** Amostragem do sistema de raízes das leguminosas pelo método do monólito, em um Latossolo Amarelo Distrocoeso na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

## Resultados e Discussão

### Parâmetros do solo

No perfil do Latossolo Amarelo Distrocoeso, à medida que se aumentou a profundidade, o teor de argila aumentou de 207 g kg<sup>-1</sup> para 414 g kg<sup>-1</sup> e o de areia diminuiu de 658 g kg<sup>-1</sup> para 487 g kg<sup>-1</sup>, o que é um fenômeno comum nos Latossolos dos Tabuleiros Costeiros, com a textura passando de franco argilo arenosa (Ap e AB) a argila arenosa (Bw1 e Bw2). O teor de matéria orgânica foi menor do que 10 g kg<sup>-1</sup> em todos os horizontes, um valor considerado muito baixo (LOVELAND; WEBB, 2003; FRANCHINI, et al. 2007). A densidade do solo aumentou no horizonte AB, mas não representa um diagnóstico da coesão, pois alterações na granulometria influem no valor desse atributo. O pH é igual a 5,0 no horizonte Ap e está abaixo desse valor em todos os horizontes, o que significa Al solúvel na solução do solo e cargas positivas na forma de H<sup>+</sup> ocupando parte das argilas, fatores que também inibem o desenvolvimento das raízes. A saturação por bases foi maior do que 50% apenas no horizonte Ap, mantendo-se ao redor de 40% nos demais, o que significa que há pouco nutriente disponível no solo em profundidade (Tabela 1).

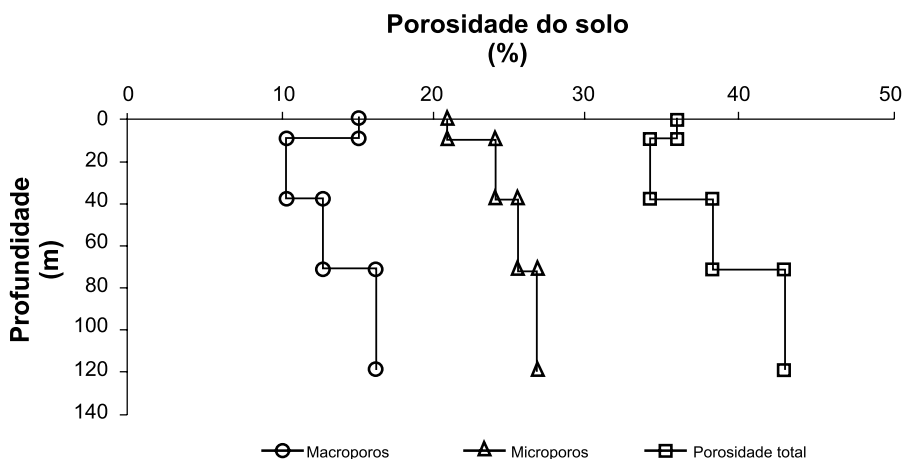
**Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do solo nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAd3), área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura (2006).

Horizontes	Atributos físicos					Atributos químicos					
	Areia	Silte	Argila	CT	Ds	MO	pH	H+Al	SB	CTC	V
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		t m <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>	(água)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%
Ap:0-0,09m	658	135	207	FAA	1,58	10,5	5,0	1,54	1,96	3,50	56
AB:0,09-0,38m	628	91	281	FAA	1,61	5,60	4,6	1,65	1,11	2,76	40
Bw1:0,38-0,72m	506	88	406	AA	1,56	4,38	4,6	1,65	1,07	2,72	39
Bw2:0,72-1,2m	487	99	414	AA	1,44	3,23	4,8	1,65	1,16	2,81	41

CT: Classe textural; FAA: Franco argilo arenosa; AA: Argila arenosa; Ds: densidade do solo; MO: matéria orgânica; SB soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases.

Na distribuição do sistema de poros no perfil do solo (Figura 2), observou-se que após o horizonte AB (9-38 cm), ocorreu uma diminuição abrupta dos macroporos (Ma), o que diminuiu inclusive a porosidade total (PT), apesar do aumento nos microporos (Mi). O valor atingido nos Ma, próximo de  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , é o limite mínimo para o solo manter a dinâmica da água e da aeração em seu perfil, pois abaixo desse volume começa a haver problemas de drenagem e condições anaeróbicas (CARTER, 2002). A diminuição abrupta dos poros no horizonte AB também é um indicativo da coesão. Após o horizonte AB, nas profundidades de 38 a 72 cm (Bw1) e de 72 a 120 cm (Bw2), aumentaram principalmente os Ma e a PT. Como o teor de areia está diminuindo e a argila aumentando em profundidade, significa que essa porosidade não é oriunda de um espaço entre grandes partículas como as areias, mas de um arranjo e formação de agregados, como indica a diminuição da Ds em Bw1 e Bw2.

A densidade do solo (Ds) pode ser expressa em conjunto com a densidade relativa, que é a razão entre a Ds atual e a densidade máxima do solo (Dmax), obtida por avaliações como o teste de Proctor (SILVA et al. 2010). Sob determinada pressão, a densidade do solo varia com o seu teor de água. Existe uma umidade específica em cada solo para ocorrer

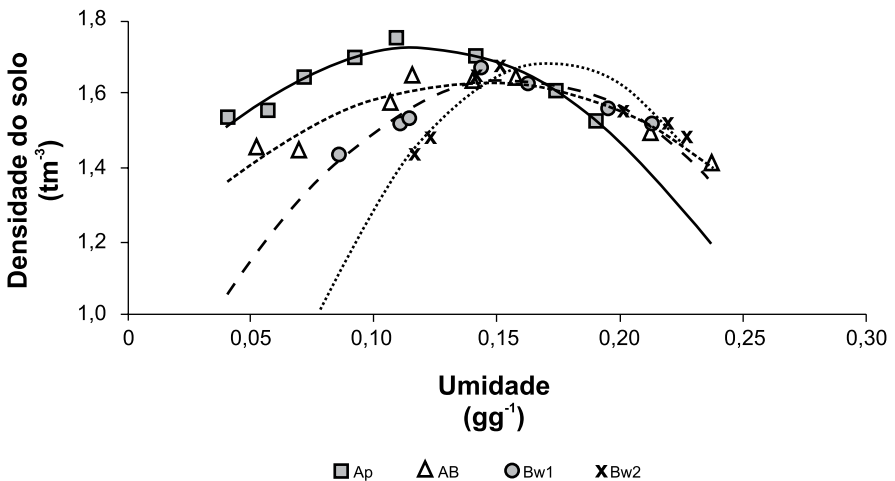


**Figura 2.** Porosidade total, macroporos e microporos no perfil do Latossolo Amarelo Distrocoeso, até a profundidade de 1,20 m, na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.



a sua densidade máxima, que se denomina umidade de máxima compactação (UMC). O fenômeno acontece quando o conteúdo de água no solo atinge uma hidratação das partículas que as faz deslizar com pouco atrito, permitindo uma acomodação com o mínimo de ar entre as mesmas (HEAD, 1992). A determinação da UMC é utilizada para evitar a entrada de máquinas e implementos nessa faixa de umidade no solo, pois após a pressão e com o secamento com o mínimo de ar entre as partículas, os efeitos da compactação são máximos. As variações da  $D_s$  em função da umidade, sob uma mesma pressão, nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso estão na Figura 3.

A UMC aumentou com a profundidade do solo (Tabela 2), o que é esperado devido ao aumento do teor de argila e a conseqüente maior capacidade de retenção de água, enquanto a  $D_{max}$  foi maior no horizonte Ap, em função do seu maior teor de areia e também do seu estado de desagregação. A densidade relativa ( $D_{rel}$ ) é adimensional e mostra o quanto o valor da  $D_s$  está próximo da  $D_{max}$ . O maior valor para a  $D_{rel}$  está no horizonte AB e foi de 0,9938, o que significa que esse solo está próximo do máximo de empacotamento de suas partículas e está sob forte coesão.



**Figura 3.** Determinação da densidade máxima ( $D_{max}$ ) e da umidade de máxima compactação (UMC) nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

**Tabela 2.** Umidade de máxima compactação (Teste de Proctor) e densidade relativa do Latossolo Amarelo Distocoeso da Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2006.

Horizonte do solo	Funções $D_s \times U_g$	Coefficiente correlação	UMC $g\ g^{-1}$	D max $g\ cm^{-3}$	D rel
Ap	$D_s = - 35,77 U_g^2 + 8,81 U_g + 1,21$	$R^2 = 0,9355$	0,1231	1,75	0,9028
AB	$D_s = - 26,30 U_g^2 + 7,52 U_g + 1,09$	$R^2 = 0,9066$	0,1429	1,62	0,9938
Bw1	$D_s = - 42,57 U_g^2 + 13,45 U_g + 0,57$	$R^2 = 0,9003$	0,1579	1,64	0,9512
Bw2	$D_s = - 77,25 U_g^2 + 26,49 U_g + 0,59$	$R^2 = 0,8280$	0,1714	1,68	0,8571

Ds: densidade do solo; Ug: umidade gravimétrica; UMC: umidade de máxima compactação; Dmax: densidade máxima; Drel: densidade relativa; Drel =  $D_s/D_{max}$ .

A densidade relativa ideal, segundo Beutler et al. (2005), varia de 0,75 a 0,85 para solos com o teor de argila entre  $270\ g\ kg^{-1}$  e  $570\ g\ kg^{-1}$ , que é onde se encaixam os horizontes AB, Bw1 e Bw2 do Latossolo Amarelo Distocoeso, sendo que apenas o horizonte Bw2 atenderia ao valor adequado para a Drel.

À medida que o solo vai secando, maior se torna a coesão entre as suas partículas. O aumento da umidade provoca a adesão da água às partículas e diminui a coesão. Existe um teor de água no solo onde a adesão e a coesão praticamente se equivalem e a resistência à pressão é mínima, é o seu limite plástico (LP). O aumento do teor de água faz predominar a adesão até o solo se tornar fluido, é o seu limite líquido (LL) (HEAD, 1992).

A UMC, em qualquer solo, sempre apresenta um valor próximo da umidade que determina o LP, quando a coesão é baixa e as partículas do solo têm baixa RP. SILVA et al. (2010) demonstram que em solos com teor de argila menor do que  $750\ g\ kg^{-1}$ , como o avaliado nesse trabalho, a UMC é menor do que o LP. Solos muito argilosos, com mais de  $750\ g\ kg^{-1}$ , a UMC é maior do que o LP, mas em ambos os casos os valores são próximos e, nessa umidade, a RP diminui acentuadamente.

A estrutura do solo é dimensionada por métodos indiretos que medem o sistema de poros ou algum parâmetro das suas partículas, pois não há metodologia disponível para dimensionar o que seja efetivamente a estrutura com seus componentes sólidos e seus vazios (BRADY e WEIL, 2008). No campo, a avaliação da compactação ou da coesão, que é uma alteração na estrutura do solo, pode ser dimensionada com a RP, também um método indireto. Valores de RP do solo sugeridos como limites críticos são diversos, mas o valor de 2 MPa (TAYLOR et al., 1966) é o mais aceito.

### **Relação solo : planta**

Observou-se no horizonte Ap, sob a VN, que a relação RP versus umidade apresentou medidas mais dispersas do que sob as leguminosas (Figura 4). Mas, de modo geral, depois da UMC, a tendência que predominou em todas as coberturas vegetais foram valores com a RP abaixo do limite de resistência à penetração (LRP) de 2,0 MPa. Isso pode ser atribuído à estrutura pulverizada desse horizonte, em decorrência de constantes arações e gradagens que desagregam as suas partículas. No horizonte AB estão os maiores valores para a RP e a grande maioria dos pontos está acima do valor limite para as três coberturas vegetais. Nesse horizonte, a CO apresentou poucos valores abaixo do LRP. Os menores valores para a RP foram apresentados pela CJ, antes da UMC, mas da mesma forma que a CO também apresentou valores acima do LRP depois da UMC. Este não é um resultado esperado, pois, a partir desse teor de água, o solo está muito próximo do estado pastoso e não poderia exercer essa RP. Esse fenômeno só ocorre em estruturas que não apresentam agregação e consequentes zonas de fraqueza entre agregados, que se separam quando pressionadas, preservando a agregação. No caso do horizonte coeso, que funciona como se fosse um só agregado, não há diferenças entre as forças de coesão nos grupos de partículas. Todas estão unidas por uma força de igual intensidade e, mesmo hidratadas, resistem à penetração (LIMA et al., 2005; SILVA e CAMARGO, 2007; SILVEIRA et al., 2010). No horizonte Bw1, os maiores valores de RP foram para a VN, mas houve uma visível diminuição para as leguminosas CJ e CO

em todos os níveis de umidade, e mais claramente depois da UMC, em que a maioria dos valores estão abaixo de 2,0 MPa.

A densidade relativa, cujo valor máximo é igual a 1,0, é aceita como um indicador da ocorrência da compactação ou da coesão no solo (KLEIN e LIBARDI, 2002; SILVA et al. 2010). No horizonte AB do Latossolo Amarelo Distrocoeso esse valor chega a 0,9938 (Tabela 2), o que atesta o estado de coesão desse horizonte, respaldado pelo alto valor da Ds (Tabela 1), o baixo teor de Ma (Figura 2) e a grande RP nesse horizonte (Figura 4).

## Parâmetros da planta

Observa-se, na Tabela 3, que a CO em relação à CJ apresentou maior altura de planta, diâmetro do colo, peso fresca total, peso seco de raiz e parte aérea, contudo produziu menos sementes. Em termos de peso seco, a CJ produziu comparativamente menos de 49% da parte aérea e 42% da raiz. A CJ foi superior apenas na produção de sementes, o que merece ser ressaltado, pois no gênero *Crotalaria* as sementes são suscetíveis ao ataque de pragas, sendo a sua produção uma garantia para o plantio do ciclo seguinte.

No entanto, apesar da CJ haver apresentado metade do peso das raízes da CO (Tabela 4), esta obteve maior comprimento total no sistema radicular. A distribuição das raízes no horizonte Ap para a CO foi de 75,2% da sua massa, equivalente a 29,6% do comprimento, enquanto para a CJ nesse horizonte estão apenas 2,7% da sua massa e 3,6% do comprimento. No horizonte AB, comprovadamente coeso (Tabela 2), a CO apresentou 13,3% da massa e 34,6% do comprimento, enquanto a CJ distribuiu 67,5% da massa e 55,7% do seu comprimento. O poder relativo de penetração de raiz, considerando os horizontes AB e Bw1, foi para a CJ de 91,2% da sua massa e 86% do seu comprimento, enquanto para a CO foi de 20,8% da sua massa e 57,3% do comprimento. As raízes são incorporadas ao solo de uma forma direta e menos exposta à oxidação, o que segundo JARAMILLO et al., (2003) chega a adicionar  $0,39 \pm 2,0$  do seu peso em C ao solo, estimando que

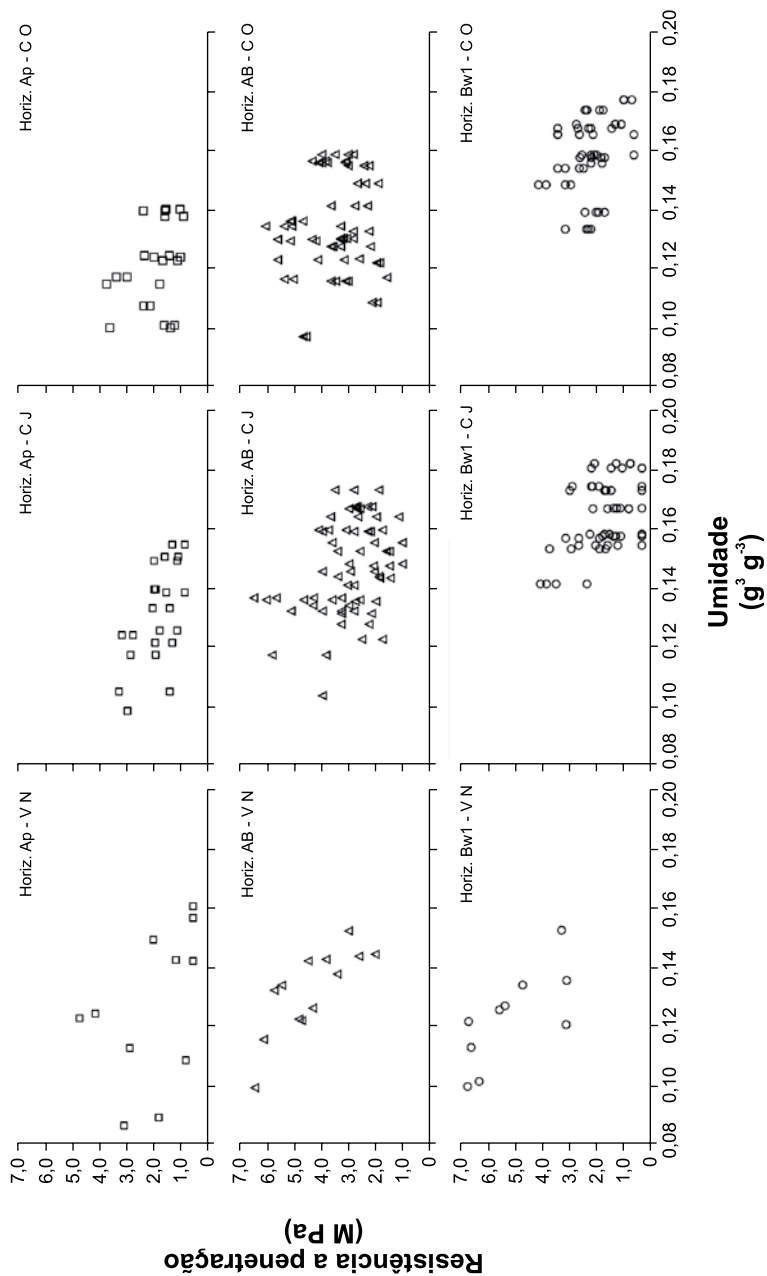
o total de raízes da CJ acrescentaria de 704 kg a 787 kg de C ha<sup>-1</sup>, enquanto a CO estaria entre 1678 kg a 1876 kg de C ha<sup>-1</sup>.

A CJ atinge o maior valor para a densidade das raízes tanto por massa quanto por comprimento no horizonte coeso AB, enquanto a CO alcança os maiores valores no horizonte Ap e decrescem de forma abrupta em AB, continuando a diminuir até Bw2 (Tabela 4).

A estimativa do poder relativo de penetração de raiz por hectare mostra que a CO incorpora uma quantidade considerável de raízes ao solo, chegando a 4.951 kg, mas com apenas 658 kg no horizonte AB. A espécie CJ incorpora 2.077 kg, mas com 1.401 kg no horizonte AB. Outro aspecto, é que a presença das raízes de leguminosas nos horizontes coesos significa que, a médio e longo prazo, essas raízes, por serem lignificadas e de lenta decomposição, serão canais de aeração e drenagem no perfil do solo (YAACOB e BLAIR, 1981). Daí a importância em não incorporar ou enterrar o material roçado, mas mantê-lo na superfície, para não desmanchar e poder preservar essa trama de raízes estabelecida no solo em profundidade.

## Conclusões

- Existe capacidade diferenciada de penetração nos horizontes coesos entre as espécies avaliadas. A *Crotalaria juncea* apresenta maior volume de raízes e a sua maior concentração está nos horizontes mais profundos, enquanto a *Crotalaria ochroleuca* produz maior peso de raízes, mas com menor volume e concentrado no horizonte superficial. Os benefícios são complementares.
- O plantio de leguminosas nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, em rotação de culturas ou em consórcio, é uma prática que deve ser incorporada aos sistemas agrícolas regionais em função da capacidade das raízes dessas plantas em penetrar nas camadas coesas, atenuando a resistência à penetração para outros cultivos.



**Figura 4.** Resistência do solo à penetração em função da umidade em três horizontes do Latossolo Amarelo Distrocoeso, sob cobertura da vegetação nativa (VN) e das leguminosas *Crotalaria juncea* (C-J) e *Crotalaria ochroleuca* (CO), localizadas em relação à umidade de máxima compactação (UMC) e limite de resistência à penetração (LRP), na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

**Tabela 3.** Aspectos morfológicos das leguminosas *Crotalaria juncea* e *Crotalaria ochroleuca*, cultivadas em um Latossolo Amarelo Distrocioso, na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

	Altura	Diâmetro	Sementes	Planta	Planta	Parte aérea	Raiz
	(colo)						
	cm		unidades	Massa fresca (g)		Massa seca (g)	
<i>Crotalaria juncea</i>	157	3	238,75	167,9	57,32	37,38	19,94
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	185	6	96,76	330,47	123,48	75,95	47,53
Porcentagem comparativa							
<i>Crotalaria juncea</i>	85	50	100	51	46	49	42
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	100	100	40	100	100	100	100

**Tabela 4.** Distribuição de raiz das leguminosas *Crotalaria juncea* e *Crotalaria ochroleuca* nos horizontes do Latossolo Amarelo Distrocioso, na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Horizonte	Solo		<i>Crotalaria juncea</i>				<i>Crotalaria ochroleuca</i>			
	Prof. cm	Volume cm <sup>3</sup>	Peso seco mg	Comprimento %	Comprimento mm	Peso seco mg	Comprimento %	Comprimento mm	Peso seco mg	Comprimento %
Ap	0 - 0,09	8.640	530	2,7	671	3,6	35.750	75,2	4.925	29,6
AB	0,09 - 0,38	27.840	13.450	67,5	10.279	55,7	6.320	13,3	5.756	34,6
Bw1	0,38 - 0,72	32.640	4.730	23,7	5.590	30,3	3.580	7,5	3.768	22,7
Bw2	0,72 - 1,20	46.080	1.230	6,2	1.904	10,3	1.880	4,0	2.164	13,0
<b>Soma</b>			<b>19.940</b>	<b>100</b>	<b>18.444</b>	<b>100</b>	<b>47.530</b>	<b>100</b>	<b>16.613</b>	<b>100</b>

continua....

**Tabela 4.** Continuação.

Solo		<i>Crotalaria juncea</i>		<i>Crotalaria ochroleuca</i>		
Horizonte	Prof. cm	Volume cm <sup>3</sup>	----- Densidades de raízes ----- mg cm <sup>-3</sup>	mm cm <sup>-3</sup>	mg cm <sup>-3</sup>	mm cm <sup>-3</sup>
Ap	0 - 0,09	8.640	0,0613	0,0777	4,1377	0,5700
AB	0,09 - 0,38	27.840	0,4831	0,3692	0,2270	0,2068
Bw1	0,38 - 0,72	32.640	0,1449	0,1713	0,1097	0,1154
Bw2	0,72 - 1,20	46.080	0,0267	0,0413	0,0408	0,0470

Solo		<i>Crotalaria juncea</i>		<i>Crotalaria ochroleuca</i>	
Horizonte	Prof. cm	Volume m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	----- Estimativa de massa por hectare ----- kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Ap	0 - 0,09	900	55	3.724	
AB	0,09 - 0,38	2.900	1.401	658	
Bw1	0,38 - 0,72	3.400	493	373	
Bw2	0,72 - 1,20	4.800	128	196	
<b>Soma</b>			<b>2.077</b>	<b>4.951</b>	

## Referências

- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **R. Bras. C. Solo**, v. 20, n. 2, p. 319-326, 1996.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos vermelhos para a produtividade de soja. **R. Bras. C. Solo**, v.29, n. 6, p. 843-849, 2005.



BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188p. (Ecological studies, v.33).

BRADY, N. C; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008, 975p.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118 p. (IAPAR. Circular, 80).

CARTER, M. R. **Quality, critical limits and standardization**. In: LAL, R. (ed.). Encyclopedia of soil science. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 1062-1065.

CARVALHO, J. E.B. de; LOPES, L. C.; ARAÚJO, A. M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JÚNIOR, C. A.; CARVALHO L. L. de; OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS, R. C. dos. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung 1'. **R. Bras. Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 335-338. 2004a.

CARVALHO, S. R. L.; RESENDE, J. O.; FERNANDES, J. C.; PEREIRA, A. P. **Avaliação do crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente**. Salvador: EBDA, 2004b. 23 p. (EBDA. Documentos, 19).

CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J. M.S .; McSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal, Madison**, v.98, n. 2, p. 302-319, 2006.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. il. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MANDIOCA E FRUTICULTURA. **Levantamento detalhado dos solos do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPQ, 1991. 126 p. (Embrapa-CNPQ. Boletim de Pesquisa, 39)

FRANCHINI, J. C. ; CRISPINO, C. C. ; SOUZA, R. A. ; TORRES, E. ; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.92, p. 18-29, 2007.

GUNDDANTI, S.; CHAMBERS, J. L. **Gsroot– Automated root length measurement program, version 5.00**: user's manual. Louisiana: Louisiana State University, 1993. 40 p.

HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing** . 2nd edition. London: Pentech Press, 1992, 388 p. (v.1: Soil classification and compaction tests).

IPCC. **Special report on land use, land use change, and forestry**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. B. R. e; MONTENEGRO, J. O.; FORMIGA, R. A.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. de. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife: EMBRAPA – SNLCS, 1977, v.1, 735 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 052)

JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HERNÁNDEZ, R.; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, v.19, p.457–464, 2003.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, n.4, p. 857-867, 2002.

LIMA, H. V.de; SILVA, A. P. da; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um argissolo acinzentado coeso no Estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p.33-40, 2005.

LOVELAND, P.; WEBB, J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. **Soil and Tillage Research**, v.70, n. 1, p. 1-18, 2003.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 393-486.

SILVA, A. J. N. da; CARVALHO, F. G. de. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, n.5, p. 853-862, 2007.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JÚNIOR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. **Indicadores da qualidade física do solo**. In: LIER, Q. de J. von. Física do solo. Viçosa, MG: Soc. Bras. de C. do Solo, 2010, p. 1-28.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v.25, n. 2, p. 253-260, 2001.

SILVEIRA, D. de C.; MELO FILHO, J. F. de; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, p. 659-667, 2010.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** Springer, v.81, p. 169-178, 2008.

SOUZA, L. D.; RIBEIRO, L. da S.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S.; CUNHA SOBRINHO, A. P. da. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Rev. Bras. de Fruticultura**, v.28, n. 1, p. 87-91, 2006.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Rev. Bras. Fruticultura**, v.26, n. 1, p. 69-73, 2004.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados do penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. C. Solo**, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.

TANAKA, R. T. A adubação verde. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n. 81, p. 62-67, 1981.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion**: processes, prediction, measurement and control. New York: John Wiley e Sons, 2002. 337 p.

YAACOB, O.; BLAIR, G. J. Effect of legume cropping and organic matter accumulation on the infiltration rate and structural stability of a granite soil under a simulated tropical environment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.60, n.1, p. 11-20, 1981.



---

*Mandioca e Fruticultura*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

