



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**QUALIDADE DO SOLO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE  
CITROS EM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO**

**ROSANE CARDOSO DOS SANTOS DIAS**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JULHO – 2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO REÔNCAVO DA BAHIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**QUALIDADE DO SOLO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE  
CITROS EM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO**

**ROSANE CARDOSO DOS SANTOS DIAS**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JULHO - 2006**

**QUALIDADE DO SOLO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE  
CITROS EM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES  
SISTEMAS DE MANEJO**

**ROSANE CARDOSO DOS SANTOS DIAS**

Engenheira Agrônoma

Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 2004.

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Ciência do solo.

**Orientador: Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho**

**Co-orientador: Dr. José Eduardo Borges de Carvalho**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2006

## FICHA CATALOGRÁFICA

D 541      Dias, Rosane Cardoso dos Santos.

Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em  
Latossolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo.

54f. il., tab., fig.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrária, Ambientais e  
Biológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2006.

1. solo – qualidade. 2. Subsolagem. 3. Citrus – raízes. 3. Solo -  
cobertura vegetal. I. Universidade Federal do Recôncavo da  
Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.  
Título.

CDD 20 ed. 631.4

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB  
(Orientador)

---

Dr. José Eduardo Borges de Carvalho  
*Embrapa - Mandioca e Fruticultura Tropical*

---

Dr<sup>a</sup>. Maria de Fátima da Silva Pinto Peixoto  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Ciências Agrárias  
em.....  
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

### **Dedico**

A Deus, por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus pais (Olga e Fernando) pelo verdadeiro amor.

As minhas filhas (Carol e Beatriz) por serem a razão do meu viver.

Ao meu companheiro (Altemar) pelo amor e incentivo constante.

Aos meus irmãos (Rose, Verônica, Álvaro e Úara) por todo carinho que recebo.

## **Agradecimentos**

Primeiramente, elevo o meu pensamento a DEUS, por ter me cercado de pessoas tão especiais.

A minha mãe Olga - uma mulher maravilhosa - pelo seu amor e carinho para com todos.

Ao meu pai, Fernando - um homem batalhador - pelo seu incentivo ao maior tesouro que um filho pode herdar, a educação.

Às minhas filhas, Carol e Beatriz por me mostrarem que só o verdadeiro amor constrói.

Ao meu amor Altemar - um homem especial – pelo seu carinho, dedicação, incentivo e paciência constante.

Aos meus irmãos (Rose, Verônica, Álvaro e Úara) por formamos uma família unida e especial.

Ao professor Dr. José Fernandes de Melo Filho, pela orientação, confiança e flexibilidade para realização desse trabalho.

Ao pesquisador Dr. José Eduardo Borges de Carvalho, pelo apoio, confiança e incentivo, fundamental para a realização desse trabalho.

Aos meus familiares, pelo carinho e incentivo despendidos a minha pessoa.

A família DIAS, em especial Sr. Nunes, por me receber de 'braços' abertos.

A minha Prima e comadre Rita pela paz que transmite, até mesmo em pensamento.

A todos os professores do curso de Graduação que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação acadêmica.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal da Bahia, pelas informações compartilhadas nessa trajetória.

A Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, em especial a todos os seus funcionários pelo apoio na minha formação profissional.

À *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical* pela oportunidade de desenvolver atividades de pesquisa científica, desde a Graduação, além do apoio institucional na realização deste curso de Pós-Graduação.

Aos colegas de estágio, em especial a Patrícia dos Santos Nascimento pela valorosa colaboração no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos colegas e funcionários da Equipe de Citros da *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho de pesquisa, especialmente ao funcionário João Cerqueira que não mediu esforços para a realização desta pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo da *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*, em especial aos laboratoristas “Val” e “Roque” pela e valiosa contribuição no desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa.

Aos colegas de turma da Graduação (1998.I) em especial a Elisângela, Onildo, Taliane, Nina, Edvana e Andréa, pelo companheirismo e pela solidariedade durante essa caminhada profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À FAPESB pelo financiamento do projeto de Dissertação.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal da Bahia.

Aos colegas de turma do Mestrado (2004) pela convivência e solidariedade.

A Dr<sup>a</sup> Antonia Fonseca pelo auxílio nas correções dos artigos e incentivos constantes.

A Sidinha pela atenção, eficiência e colaboração que me foi dispensada no decorrer do curso de Mestrado.

Aos funcionários da Pós-Graduação, em especial a “Tio” pela alegria, afeto e atenção.

A todas as pessoas que me ajudaram na realização do presente trabalho, o meu muito obrigada.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
Introdução .....	1
Literatura Citada.....	7
 <b>CAPÍTULO 1</b>	
 ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO PARA A CULTURA DE CITROS.....	
	13
Resumo.....	14
Summary.....	15
Introdução.....	16
Material e métodos.....	17
Resultados e discussão.....	26
Conclusão.....	32
Literatura citada.....	33
 <b>CAPÍTULO 2</b>	
 DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE CITROS EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO.....	
	38
Resumo.....	39
Summary.....	40
Introdução.....	41
Material e métodos.....	42
Resultados e discussão.....	46
Conclusão.....	50
Literatura citada.....	51
Considerações finais.....	54

# QUALIDADE DO SOLO E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE CITROS EM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

**Autora: Rosane Cardoso dos Santos Dias**

**Orientador: José Fernandes de Melo Filho**

**RESUMO:** Diversas alternativas de manejo têm sido testadas para o cultivo de citros nas condições de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, dentre as quais a subsolagem é uma das mais promissoras. No entanto, ainda não há registro de estudos que tenham estimado, quantitativamente, o efeito da subsolagem na qualidade do solo para a produção agrícola. Com o objetivo de avaliar o efeito da subsolagem mais planta de cobertura (feijão-de-porco) na qualidade do solo, desenvolvimento do sistema radicular e produtividade da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano', nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, foi conduzido um experimento em um pomar cítrico sob dois sistemas de manejo: T1- Aração + gradagem + capinas nas linhas + gradagens nas entrelinhas das plantas e T2 - Subsolagem + plantio de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) para formação de palhada + controle de plantas infestantes, nas linhas com glifosato e entrelinhas com feijão-de-porco. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,00-0,30 m e avaliadas três funções principais/indicadores: a) crescimento radicular em profundidade/ resistência à penetração (RP), macroporosidade (MP), densidade do solo (DS) e percentagem de saturação por alumínio (m%); b) condução e armazenamento de água/ condutividade hidráulica no solo saturado ( $K_0$ ), (MP), relação umidade volumétrica retida a 33 kPa / porosidade total ( $U_{v33}/PT$ ) e relação de água disponível / porosidade total (AD/PT) e c) suprimento de nutrientes / pH, capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V %), e matéria orgânica (MO). A avaliação das raízes foi realizada em trincheiras, por meio de imagens digitais. Os resultados mostraram que o T2 contribuiu para reduzir a RP e DS e elevar a MP,  $K_0$ , CTC, V % e MO no solo. As alterações nos indicadores de qualidade do solo induzidas pelo manejo com

subsolagem + cobertura vegetal refletiu na melhoria dos índices, nas funções principais crescimento radicular em profundidade, condução e armazenamento de água e suprimentos de nutrientes. Todos os índices foram maiores no T2 comparado a T1, indicando assim, que este sistema de manejo melhorou as condições do Latossolo Amarelo Coeso para a produtividade da laranjeira 'Pêra'. O tratamento T2 foi significativamente superior revelando uma densidade de raízes maior em 199% quando comparado ao tratamento T1. O índice de qualidade do Latossolo Amarelo Coeso e a distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' foram alterados positivamente pelo manejo com subsolagem mais cobertura vegetal de feijão-de-porco.

**Palavras-chaves:** Índice de qualidade, subsolagem, cobertura vegetal

## **SOIL QUALITY AND ROOT DEVELOPMENT OF CITRUS IN A COHESIVE YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS.**

**Author: Rosane Cardoso dos Santos Dias**

**Adviser: José Fernandes de Melo Filho**

**ABSTRACT:** Lots of management systems have been studied for Citrus crop in cohesive soils conditions of the Coastal Table Land, which of them, the subsoiling is the most promising. However, there aren't quantitative studies about the effect of the subsoiling in a soil quality for agricultural production. Aimed to evaluate the effect of the subsoiling with cover crop (*Canavalia ensiformis*) in the quality index, the development of the roots and the productivity of 'Pera' sweet orange grafted on 'Volkamer' lemon cultivated in conditions of the Bahia Coastal Table Land was carried out a study in a citrus orchard under two treatments: T1 - plowing + disking + hoeing within planting lines + disking between the planting lines of citrus and T2 – subsoiling + cover crop with jack bean (*Canavalia ensiformis*) + control of the weeds within planting lines by Glyphosate and with jack bean (*Canavalia ensiformis*) between the planting lines. The samples were collected in depth of 0,00-0,30 m and evaluated three main functions/indicators: a) root growth in depth/bulk density, soil resistance to root penetration, macroporosity and Aluminum saturation (m%); b) conduction and water storage/saturated hydraulic conductivity ( $k_o$ ),  $U_{v33}/PT$  and  $WA/TP$  and c) nutrients supply/pH, CTC, V% and MO. The roots' evaluation was in trenches through digitized images. The study indicated that T2 induced positive changes in the resistance to root penetration and in the bulk density and increased the macroporosity, saturated hydraulic conductivity ( $k_o$ ), CTC, V% and MO in the soil. The quality index of cohesive yellow latosol cultivated with citrus was improved by the management with subsoiling + cover crop (*Canavalia ensiformis*). The index were greater in T2 compare with T1, so this management system improved the conditions of Cohesive Yellow Latosol for 'Pera' sweet orange productivity. The treatment T2 gave the greatest response with increase of the area of root bulk density in 199% when compared with treatment T1. The soil quality index and the distribution of the root system of 'Pera' sweet orange grafted on 'Volkamer' lemon cultivated in a

Cohesive Yellow Latosol was modified significantly by the management with the subsoiling + cover crop (*Canavalia ensiformis*).

**Key words:** Quality index, subsoiling, cover crop

## INTRODUÇÃO

Qualidade do solo pode ser definida como a sua capacidade para produzir de forma variada, em longo prazo, cultivos saudáveis e nutritivos e, ao mesmo tempo, promover, a saúde humana e animal sem detrimento dos recursos naturais básicos do meio ambiente circundante (PARR et al., 1992). De forma mais objetiva, pode ser considerada como a capacidade ou condição de um solo para funcionar sob um determinado uso (GREGORICH et al., 1994), cuja eficiência depende, das condições de formação e, principalmente, do uso e manejo (MELO FILHO & SILVA, 1993; DORAN & PARKIN, 1994; ARGENTON et al., 2005). Reichert et al, (2003) definem qualidade do solo como a capacidade física do solo para permitir o pleno desenvolvimento de plantas.

Segundo Parr et al. (1992) e Doran & Parkin (1994), a qualidade do solo inclui três importantes princípios: produtividade do solo, referente à sua habilidade para manter a produtividade do agroecossistema; qualidade ambiental, entendida como a capacidade do solo de atenuar contaminantes ambientais, patógenos e qualquer perigo externo ao sistema; e, saúde ou capacidade de um solo para produzir alimentos saudáveis e nutritivos para os seres humanos e demais organismos vivos.

Larson & Piercen (1991) ressaltam que na avaliação da qualidade do solo, para produção agrícola, devem ser levadas em conta suas funções primárias: promover um meio para o crescimento das plantas, regular e particionar o fluxo de água através do ambiente e servir como um filtro ambiental. Além dessas também, devem ser identificados os atributos inerentes a essas funções, bem como suas interações com os indicadores da qualidade do solo (GREGORICH, 2002). Esses indicadores formam um conjunto de dados mínimos que são utilizados para avaliar o comportamento das funções principais do solo, associadas a cada objetivo proposto, podendo o mesmo

indicador ser incluído em diferentes funções ou até ser ponderado com valores distintos, quando utilizado em mais de uma função, dependendo da sua importância relativa (KARLEN, et al., 2003).

Alguns autores como Karlen & Stott (1994); Karlen et al. (1997); Arshad & Martin (2002) e Souza et al. (2003) sugerem que a seleção do indicador pode variar de acordo com o agroecossistema em estudo e as metas de determinação, porém, alguns indicadores, a exemplo da matéria orgânica, da agregação, da infiltração, da CTC, da condutividade hidráulica, do pH, da densidade e porosidade, parecem ser bastante satisfatórios na avaliação da qualidade para a produção agrícola.

Para Doran & Zeiss (2000), um bom indicador da qualidade do solo deve descrever processos do ecossistema, integrar processos e propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do solo, ser acessível aos diferentes usuários e aplicável em diversas condições de campo, ser sensível às variações do manejo e clima e advir de bases de dados existentes.

Através do somatório dos indicadores de qualidade do solo ponderados de acordo com a sua importância para a função estabelecida, obtém-se o índice de qualidade do solo. Para a determinação do índice de qualidade do solo, Karlen & Stott (1994) estabeleceram uma metodologia considerada por vários autores factível e eficiente, podendo ser aplicada em diferentes ambientes e para diversas situações, o que foi confirmado por HUSSAIN et al. (1999); GLOVER et al. (2000); SOUZA et al. (2003); SOUZA (2005).

Os Tabuleiros Costeiros constituem-se de formações terciárias que ocorrem na faixa litorânea do Brasil, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, cujos solos, apesar de profundos e situados em relevo plano, apresentam, naturalmente, limitações à produção vegetal, (SOUZA 1996; MELO FILHO et al., 2004; SOUZA 2005) com predominância de Argissolos e Latossolos Amarelos. Estes solos apresentam uma camada coesa presente nos horizontes de transição AB e BA, que afeta a dinâmica da água, dos nutrientes, a produtividade e longevidade das culturas (REZENDE, 2000). Os horizontes coesos dos Latossolos Amarelos situam-se normalmente abaixo do horizonte A e alcançam 0,5 a 0,6 m de profundidade em ambiente de floresta. Nos

solos cultivados encontram-se mais próximos da superfície, entre os primeiros 0,1 a 0,15 m, em decorrência da erosão (JACOMINE, 1996).

O horizonte coeso é caracterizado pelo aumento da resistência à penetração de raízes e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes, apresentando-se duros, muito duros ou até extremamente duros, quando secos, e friáveis, quando úmidos (JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 1996). Essas características impõem dificuldades ao crescimento das raízes das plantas, restringem a movimentação de água e ar no perfil e facilita o surgimento de uma zona saturada, o que limita a respiração radicular e afeta adversamente a produtividade das culturas (SOUZA, 1996; CARVALHO et al., 1999; CINTRA et al., 1999; CINTRA et al., 2000; REZENDE, 2000; LIBARDI & MELO FILHO, 2001). Nessas condições, as plantas apresentam seu crescimento e desenvolvimento comprometido devido às interferências nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, já que esses processos são dependentes da estrutura do solo. Logo, acréscimos na compactação do solo reduzem o crescimento e a função fisiológica das raízes, e, desse modo, elas se tornam menos eficientes no desempenho das suas funções de sustentação e absorção de água e nutrientes (WEISEL et al., 1991; ALVARENGA et al., 1986). Nesse contexto a análise da distribuição radicular no perfil é uma metodologia qualitativa de grande utilidade na avaliação e identificação desses horizontes de impedimento do crescimento radicular das plantas (REICHERT et al., 2003; SOUZA et al., 2003; SANTANA et al., 2006).

Essas limitações na qualidade física do solo para o crescimento das plantas podem ser determinadas pelos atributos relacionados com a disponibilidade de água, aeração, temperatura e também, pela resistência que a matriz do solo oferece à penetração das raízes (HAMBLIN, 1985). A determinação desses atributos e o conhecimento sobre a taxa de crescimento, extensão e distribuição do sistema radicular são essenciais a citricultura (CASTLE et al., 1989), pois a maior parte dos investimentos feitos na implantação e na condução de um pomar cítrico são realizados com o objetivo de fornecer um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das raízes. Mazza et al. (1994), afirmam que o aprofundamento do sistema radicular na cultura dos citros melhora a absorção de água e nutrientes do solo, pelas plantas.

Diversos estudos têm sido realizados para avaliação dos efeitos de sistemas de manejo no desenvolvimento das raízes de plantas cítricas (CARVALHO et al., 1999; IYENGAR & SHIVANANDA, 1990; ZHANG et al., 1996; OLIVEIRA et al., 1998), com destaque para o seu comportamento em profundidade.

Uma alternativa de manejo difundida atualmente é o uso da subsolagem que consiste em uma prática de cultivo em profundidade, podendo ser utilizada na implementação de pomares, em área total ou nos sulcos de plantios. A necessidade de subsolar vai depender do tipo de solo e da ocupação anterior da área. Para Camargo (1983) a subsolagem é uma operação de manejo que serve para tornar soltas as camadas compactadas, sem, entretanto, causar inversão das camadas de solo, devendo somente ser recomendada quando houver uma camada muito endurecida, em profundidades não atingidas por outros implementos agrícolas. Rezende et al. (2002) apresentam estudos onde a subsolagem modifica a estrutura do solo, reduz a resistência à penetração radicular, contribui na melhoria da circulação de ar, água e nutrientes e aumenta o volume de solo explorado pelas raízes.

O subsolador (Figura 2) é um dos principais equipamentos utilizados com a finalidade de eliminar ou de minimizar os efeitos negativos induzidos pela compactação do solo (TERSI & ROSA, 1995).

A subsolagem associada ao uso de coberturas vegetais nas entrelinhas aparece como uma prática capaz de aliviar os efeitos da camada coesa dos solos de Tabuleiros Costeiros. Conforme Carvalho et al. (2002) essa associação contribui para que não ocorram impedimentos de ordem física ao crescimento das raízes.

As plantas utilizadas como coberturas vegetais do solo podem pertencer a diversas famílias, porém as mais comuns são as leguminosas e as gramíneas. A implantação de plantas de cobertura vegetal é recomendada para praticamente todos os solos, pois protege a superfície contra os agentes erosivos, adiciona ao solo carbono fotossintetizado e nitrogênio fixado biologicamente, recicla nutrientes e melhora a estabilidade da estrutura, além do efeito físico das raízes sobre a formação e manutenção dos agregados do solo (BORGES et al., 1994; SCHICK et al., 2000; AMADO & MIELNICZUK, 2000; ALVARENGA et al., 1997; SILVA et al., 1998).



**Figura 2. Subsolador de três hastes subsoladoras, parabólicas e removíveis.**

Resultados obtidos por Carvalho et al, (1998) comprovaram ser fundamental para cultura dos citros, nas condições tropicais e subtropicais, a manutenção da cobertura do solo, seja pela vegetação nativa, coberturas vegetais implantadas ou pela própria vegetação espontânea dessecada para formação de cobertura morta. Essa cobertura reduz o efeito da desagregação, evitando o selamento superficial provocado pela obstrução dos poros por partículas finas desagregadas (CASTRO et al., 1987). Dentre as vantagens do uso das coberturas vegetais destacam-se também a redução dos custos de produção, dos insumos externos (fertilizantes e herbicidas), da mão-de-obra para capinas, da degradação dos recursos naturais e dos resíduos agroquímicos no solo. Quanto à capacidade de inibir o desenvolvimento de plantas daninhas, resultados mostraram que as leguminosas de folhas largas e crescimento rápido, como a mucuna preta e o feijão-de-porco, são as mais eficientes (FERNANDES et al., 1998).

As práticas convencionalmente utilizadas no manejo dos solos em pomares de citros, com o uso intensivo de máquinas e produtos químicos têm contribuído para a degradação dos solos dos Tabuleiros Costeiros, provocando compactação, reduzindo a macroporosidade e limitando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (CARVALHO et al., 2002).

Os manejos alternativos e conservacionistas de pomares cítricos podem contribuir para restringir a degradação desses solos, justificando-se então, a avaliação de sistemas de uso e manejo do solo que resultem na melhoria da sua qualidade para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas cítricas e da produtividade do sistema solo-planta nos pomares. Uma vez que, os sistemas de manejo devem contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas (COSTA et al., 2003).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da subsolagem e planta de cobertura na qualidade do solo e desenvolvimento do sistema radicular da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

## LITERATURA CITADA

ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada de milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.10, n.2, p.273-277, 1986.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Revista Ceres**, v.44, n.254, p.421-431, 1997.

AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.553-560, 2000.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L. do P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo

Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.425-435, 2005.

ARSHAD, M. A. & MARTIN, S. Identifying critical limites for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and environment**. v.88, n.2, p.153–160, 2002.

BORGES, D.F.; REINERT, D.J.; CAMPOS, B.C.; FUCKS, L.F.M.; NICOLODI, R. & BOENI, M. Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramíneas em solos Podzólicos Vermelho-Amarelo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10. Florianópolis, 1994. **Resumos**. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.428.

CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 44p.1983.

CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L. da S. & SOUZA, L.D. Manejo de cobertura vegetal con leguminosas en el control integrado de malezas em cítricos. In: SEMINÁRIO INTEGRADO DE COBERTURA DE LEGUMINOSAS EM CULTIVOS PERMANENTES, 1., Santa Barbara del Zulia, Venezuela. **Compendio...** Santa Barbara del Zulia, Venezuel: Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, 1998. p. 108-130.

CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L. da S.; JORGE, L.A. de C.; RAMOS, W.F.; NETO, A. de O.C.; ARAUJO, A.M. de A.; LOPES, L.C. & JESUS, M.S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.21, n.2, p.140-145, 1999.

CARVALHO, J. E. B. de.; SOUZA, L.S.; CALDAS, R.C.; ANTAS, P.E.U.T.; ARAÚJO, A.M.A.; LOPES, L.C.; SANTOS, R.C.; LOPES, N.C.M. & SOUZA, A.L.V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja-'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.24, n.1, p.82–85, 2002

CASTLE, W.S.; TUCKER, D.P.H.; KREZDORN, A.H. & YOUTSEY, C.O. **Rootstocks for Florida Citrus**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Science, 1989. 47 p.

CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. Anais. Campina, Fundação Cargill, 1987. p.27-51.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & JORGE, L.A.C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistemas de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.21, n.3, p.313-317, 1999.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.3, p.527-535, 2003.

DORAN, J. W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special publication, 35)

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecology*, v.15, n.1, p.3-11, 2000.  
FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C. & EMÍDIO FILHO, J. Densidade de semeadura a lanço de sete leguminosas utilizadas como adubo verde em solos de Tabuleiros Costeiros. EMBRAPA-CPATC, 1998. 8p. (Comunicado Técnico, 18).

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v.80, n.1-2, p.29-45, 2000.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, n.2, p.367-375, 1994.

GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R. (ed.) **Encyclopedia of Soil Science**. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 1058-1061. 2002.

HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances Agronomy**. v.38, n.1, p.95-158, 1985.

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, D.L. & KARLEN, D. L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil & Tillage Research**, v.50, n.3-4, p.237-249, 1999.

IYENGAR, B.R.V. & SHIVANANDA, T.N. Root activity pattern in sweet orange (*Citrus sinensis*) during different seasons. **Indian Journal of Agricultural Sciences**. v.60, n.9, p.605-608, 1990.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS – pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros

Costeiros. 1996. Cruz das Almas, BA. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 80p. 1996.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil – Workshop Coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros, In: WORKSHOP SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1., 2001. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Anais... 2001. p. 19-46.

KARLEN, D. L. & STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-57. (Special publication, 35).

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F. & ASCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**. v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A. & ANDREWS, S. S. Soil quality: Why and how? **Geoderma**. v.14, n.3-4, p.145-156, 2003.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., Bangkok, v.2. 1991.

LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J. F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju, 2001, Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.193-208.

MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; PEREIRA, H.S.; MENEZES, G.M. & TAGLIARINI, C.H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendações de manejo. **Laranja**, v.15, n.2, p.263-275, 1994.

MELO FILHO, J. F. & SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho - Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.291-297, 1993.

MELO FILHO, J. F.; DEMATTÊ, J. A. M.; LIBARDI, P. L. & PORTELA, J. C. Comportamento espectral de um latossolo amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. **Magistra**, v.16, n.2, p.105-112, 2004.

OLIVEIRA, F.C.H.; VIEIRA, D.B.; SOUZA, I.F. OLIVEIRA, L.F.C. & SOUSA, I.S. Estudo do sistema radicular da tangerineira 'Cleopatra' com copa de laranja 'Pera'. **Laranja**. v.19, n.1, p.117-131. 1998.

PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I.; HORNICK, S.B. & MEYER, R.E. Soil quality: Attributes and relations to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n.1, p. 5-11. 1992.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Palestras... Ribeirão Preto /SP: SBCS, 2003.1 CD-ROM.

REZENDE, J.O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-spa, 117p. 2000. il. (Séries Estudos Agrícolas, 1).

REZENDE, J.O.; MAGALHÃES, A.F. de J.; SHIBATA, R.T.; ROCHA, E.S.; FERNANDES, J.C.; BRANDÃO, F.J.C. & REZENDE, V.J.R.P. **Citricultura nos solos dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões**. Salvador, Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2002. 97p.

RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMPF, 1996, p. 25-37.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D. & FONTES L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.1-12, 2006.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.427-436, 2000.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S. M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.1, p.97-103, 1998.

SOUZA, A. L. V. Avaliação da qualidade de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMPF, 1996, p. 36-75.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L.D. & SOUZA, L.F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de Tabuleiros Costeiros. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Palestras...** Ribeirão Preto /SP: Agromidia, 2003.CD-ROM.

TERSI, F.E.A. & ROSA, S. M. A subsolagem no manejo de solo para pomares de citros. **Laranja**, v.16, n.2, p.289-298. 1995

WEISEL, T.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U. Plant roots; the hidden half. New York: Marcel Dekker, 1991. 948p.

ZHANG, M. ALVA, A.K.; LI, Y.C. & CALVERT, D.V. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertigation method. **Plant and Soil**, v. 183, n.1, p.79-84. 1996.

## **CAPÍTULO 1**

**ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM LATOSSOLO AMARELO COESO  
SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO PARA A CULTURA DE CITROS<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Ciência do Solo

## ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO PARA A CULTURA DE CITROS

**RESUMO:** Diversas alternativas de manejo têm sido testadas para o cultivo de citros nas condições de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, dentre as quais a subsolagem é uma das mais promissoras. Com o objetivo de avaliar o efeito da subsolagem mais planta de cobertura do solo no índice de qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso e produtividade de laranjeira 'Pêra' foi conduzido um experimento em um pomar cítrico disposto em dois tratamentos: T1- Aração + gradagem + capinas nas linhas + gradagens nas entrelinhas das plantas e T2 - Subsolagem + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) para formação de palhada + glifosato nas + feijão-de-porco nas entrelinhas. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,00-0,30 m e avaliadas três funções principais / indicadores: crescimento radicular em profundidade: resistência à penetração (RP), macroporosidade (MP), densidade do solo (DS) e percentagem de saturação por alumínio (m%); condução e armazenamento de água: condutividade hidráulica no solo saturado ( $K_0$ ), relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total ( $U_{v33}/PT$ ) e relação de água disponível/porosidade total (AD/PT) e suprimento de nutrientes: pH, capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V %), e matéria orgânica (MO). Os resultados mostraram que a subsolagem + glifosato + feijão-de-porco contribuiu para reduzir a RP e DS e elevar a MP,  $K_0$ , CTC, V % e a MO no solo e conseqüentemente aumentar a produtividade da laranjeira 'Pêra'. O índice de qualidade do Latossolo Amarelo Coeso cultivado com citros é alterado positivamente pelo manejo com subsolagem no preparo inicial do solo mais feijão-de-porco como cobertura vegetal nas entrelinhas do pomar.

Palavras-chaves: Qualidade do solo, Tabuleiros Costeiros, cobertura vegetal

## QUALITY INDEX TO COHESIVE YELLOW LATOSOL UNDER TWO SOIL MANAGEMENT SYSTEMS FOR CITRUS

**ABSTRACT:** Lots of management systems have been studied for Citrus crop in cohesive soils conditions of the Coastal Table Lands, wick of them, the subsoiling is the most promising. Aimed to evaluate the effect of the subsoiling with cover crop in the quality index of the Cohesive Yellow Latosol and orange tree productivity ' Pera' was carried out a study in a citrus orchard under two treatments: T1 - plowing + disking + hoeing within planting lines + disking between the planting lines of citrus and T2 – subsoiling + jack bean (*Canavalia ensiformis*) + Gliphosate in the planting lines + jack bean between the planting lines. The sample were collected in depth of 0,00-0,30 m and evaluated three main functions/indicators: root growth in depth: bulk density, soil resistance to root penetration, macroporosity and Aluminum saturation (m%); conduction and water storage: saturated hydraulic conductivity ( $k_o$ ),  $Uv_{33}/PT$  and  $WA/TP$  and nutrients supply: pH, CTC, V% and MO. The study indicated that the subsoiling + Gliphosate + jack bean induced positive changes in the resistance to root penetration and in the bulk density and increased the macroporosity, saturated hydraulic conductivity ( $k_o$ ), CTC, V% and MO in the soil and consequently to increase the productivity of the orange tree ' Pera'. The quality index of cohesive yellow latosol cultivated with citrus was improved by the management with subsoiling + Cover crop with jack bean (*Canavalia ensiformis*).

**Key words:** Soil quality, costal table lands soil, cover crop

## INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias que ocorrem na faixa litorânea do Brasil, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, cujos solos, apesar de profundos e situados em relevo plano, apresentam, naturalmente, limitações à produção vegetal (Souza 1996; Melo Filho et al., 2004; Souza 2005). Nos Estados de Bahia e Sergipe, a citricultura é uma das principais atividades produtivas nos Tabuleiros Costeiros. Nesta paisagem ocorrem diversas classes de solo, predominando a dos Latossolos Amarelos (LA) e Argissolos Amarelos (PA). Dentre estes, os Latossolos Amarelos são os que apresentam o caráter coeso, o que é considerado uma limitação à produção agrícola (Jacomine, 1996; Rezende, 2000).

O horizonte coeso é caracterizado pelo aumento da resistência à penetração de raízes e redução da porosidade total em relação aos horizontes adjacentes, apresentando-se duros, muito duros ou até extremamente duros, quando secos, e friáveis, quando úmidos (Jacomine, 2001; Ribeiro, 1996). Essas características impõem dificuldades ao crescimento das raízes das plantas, restringem a movimentação de água e ar no perfil e facilita o surgimento de uma zona saturada, o que limita a respiração radicular e afeta adversamente a produtividade das culturas (Souza, 1996; Carvalho et al., 1999; Cintra et al., 1999; Cintra et al., 2000; Rezende, 2000; Libardi & Melo Filho, 2001).

As práticas convencionalmente utilizadas no manejo dos solos, com o uso intensivo de arado e grade têm se mostrado inadequadas e contribuído para acentuar as limitações naturais, gerando importantes conseqüências negativas para a produção e produtividade da cultura (Carvalho et al., 2002).

Por isto, alternativas para o manejo dos solos coesos têm sido testadas em diversas situações. A subsolagem é uma das mais promissoras. Trata-se de uma prática de preparo do solo em profundidade que serve para romper as camadas compactadas ou adensadas, sem, entretanto, causar inversão das camadas de solo (Camargo, 1983). Por exemplo, Rezende et al. (2002) em estudos com limão 'Cravo' sob laranja 'Pêra', verificaram que a subsolagem modificou a estrutura do solo, reduziu

a resistência à penetração radicular, contribuiu para melhoria da circulação de ar, água e nutrientes e aumentou o volume de solo explorado pelas raízes de plantas cítricas. Conclusão semelhante também foi registrada por Carvalho et al. (2002), os quais atribuíram aumento da produtividade da laranjeira 'Pêra' ao efeito conjunto da subsolagem mais uso de plantas de cobertura do solo na redução do efeito negativo da camada coesa para as plantas. No entanto, ainda não há registro de estudos que tenham estimado, quantitativamente, o efeito da subsolagem na qualidade do solo para a produção agrícola.

Qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do mesmo para produzir de forma variada, em longo prazo, cultivos saudáveis e nutritivos e, ao mesmo tempo, promover, a saúde humana e animal sem detrimento dos recursos naturais básicos do meio ambiente circundante (Parr et al., 1992). De forma mais objetiva, pode ser considerada como a capacidade ou condição de um solo para funcionar sob um determinado uso (Gregorich et al., 1994), cuja eficiência depende, das condições de formação e, principalmente, do uso e manejo (Melo Filho & Silva, 1993; Doran & Parkin, 1994; Argenton et al., 2005). Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo na capacidade do solo de funcionar adequadamente para a produção vegetal são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Dexter & Youngs, 1992). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da subsolagem mais plantas de coberturas no índice de qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso e produtividade de laranjeira 'Pêra'.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no período 2004 a 2006, em um agroecossistema de cultivo de citros, instalado na área experimental da *Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical*, no município de Cruz das Almas - BA, cujas coordenadas geográficas são 12° 40' 0" S, 39° 06' 0" W, altitude de 200 m, temperatura média anual de 24,5 °C, clima

tropical quente e úmido (Aw a Am), segundo a classificação de Köppen, e pluviosidade média de 1224 mm por ano (SEI, 2005).

O pomar possui seis anos e é cultivado com laranjeira 'Pêra' (*Citrus sinensis* L. Osb.) sob porta enxerto de limoeiro 'Volkameriano' (*Citrus volkameriana*), no espaçamento de 5,00 m entre as linhas e 4,00 m entre plantas na linha, dispostos em dois tratamentos: T1- Aração + gradagem + plantio do citros em covas + controle mecânico de plantas infestantes com capinas nas linhas e gradagem nas entrelinhas das plantas e T2 - Subsolagem cruzada na profundidade média de 0,55 m + plantio direto a lanço de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) para formação de palhada + plantio das mudas cítricas em covas + controle integrado de plantas infestantes, nas linhas com glifosato na dose de 1,0% v/v e entrelinhas com feijão-de-porco como planta de cobertura do solo entre maio e outubro. Foi conduzido em condições de sequeiro e recebeu adubações de acordo com as recomendações das análises químicas do solo e tratamentos fitossanitários uniformes, quando necessário, para todas as plantas.

O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo Coeso (Embrapa, 1999), no qual as amostras, deformadas e indeformadas, foram coletadas no ponto médio (0,15 m) da camada do solo, de 0,0 - 0,30 m de profundidades, nas linhas e entrelinhas da cultura em delineamento inteiramente casualizado com oito repetições por tratamento.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram quantificados os seguintes indicadores: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica no solo saturado, relação umidade volumétrica retida a 33 kPa / porosidade total ( $U_{v33}/PT$ ), relação de água disponível / porosidade total ( $AD/PT$ ), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V %), percentagem de saturação por alumínio (m %) e matéria orgânica (MO). Utilizaram-se os seguintes métodos: densidade do solo, porosidade total, macro e micro (Embrapa, 1997); retenção de água em câmaras de pressão de Richards (Kiehl, 1979); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2005); pH, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio (Embrapa, 1997); e matéria orgânica (Rajj & Quaggio, 1983). Na

determinação da resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo-se a metodologia proposta por Stolf et al. (1983), cujos resultados experimentais foram obtidos em Kgf cm<sup>-2</sup> e depois multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa, conforme Beutler et al. (2001). As medidas de resistência à penetração foram padronizadas para o teor de água retido na tensão de 100 kPa, utilizando-se equações de regressão ajustadas para pares de medidas de RP x Ug, coletadas no campo, simultaneamente, no período entre junho de 2005 e janeiro de 2006.

### **Índice de qualidade do solo (IQS)**

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Trata-se de um sistema aditivo que usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

$$IQS = \sum (qWi \times wt) \quad (1)$$

onde *IQS* é o índice de qualidade do solo, *qWi* é o valor calculado para cada função principal e *wt* é um peso numérico atribuído para as mesmas.

As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos (*wt*) são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar no máximo em 1,0 (hum). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações os valores do IQS são menores que 1,0, sendo 0,5 o limite crítico entre a boa e a má qualidade.

Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem ser identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Assim como para as funções principais, pesos numéricos também devem ser atribuídos para os

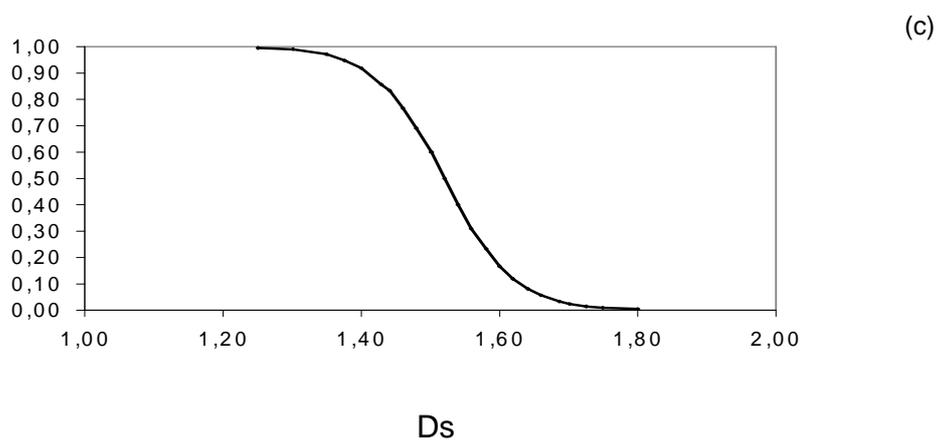
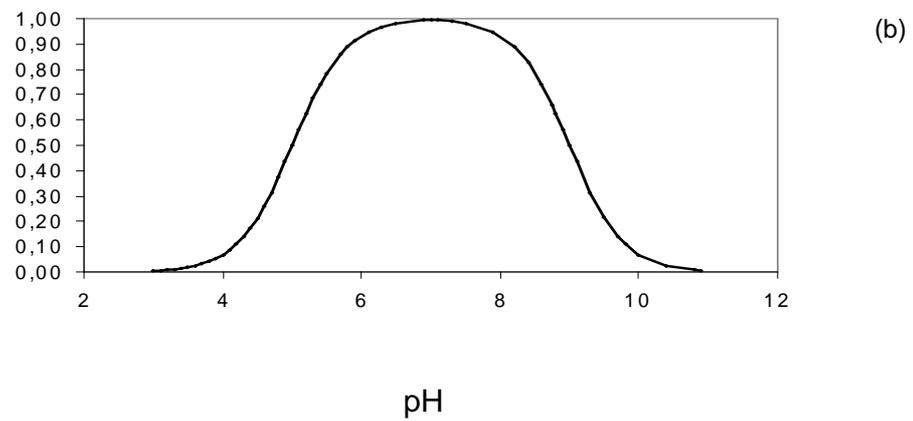
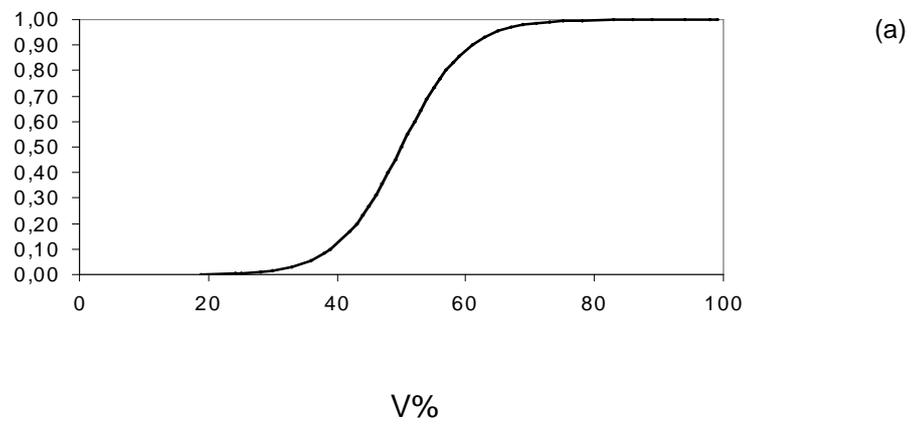
indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (hum).

Os indicadores de qualidade apresentam-se em diversas unidades de medida, sendo necessário, então um fator de normalização para que possam ser corretamente somados. O mecanismo utilizado por Karlen & Stott (1994) é uma função para padronização de escores que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (Glover et al., 2000), a qual tem a seguinte expressão:

$$v = \frac{I}{1 + ((B - L) / (x - L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (2)$$

onde  $v$  é a pontuação padronizada;  $B$  é o valor crítico do indicador, cujo escore padronizado deve ser sempre 0,5, e que estabelece o limite entre a boa ou má qualidade do solo;  $L$  é o valor inicial ou mais baixo que o indicador possa expressar, podendo receber o valor de 0 (zero);  $S$  é a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador e  $x$  é o valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Com as funções de padronização de escores geram-se três funções típicas de padronização: (1) “Mais é melhor”, (2) “Valor ótimo” e, (3) “Menos é melhor” (Figura 4). Para a padronização dos atributos são utilizados dois valores limites, superior e inferior, e um valor crítico. Os valores limites superiores são valores dos indicadores de qualidade onde a função de pontuação equivale a 1 (hum), quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores limites inferiores são valores dos indicadores de qualidade onde a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. O valor crítico é aquele no qual a função de pontuação é igual a 0,5 e equivale aos pontos médios entre os valores limites do indicador de qualidade avaliado.



**Figura 4. Funções de pontuação padronizada (a) “Mais é Melhor”, (b) “Ótima” e (c) “Menos é Melhor”. Fonte: Karlen e Stott (1994).**

Tanto as curvas de padronização quanto os valores limites, superior, inferior e crítico devem ser criteriosamente estabelecidos. Devem-se utilizar informações de pesquisadores notoriamente conhecedores do assunto, bancos de dados específicos devidamente documentados e valores obtidos para condições ideais e semelhantes de solo e cultivo (Karlen & Stott, 1994; Glover et al., 2000).

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade ( $S$ ) positiva e é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da capacidade de troca de cátions, saturação por bases e teor de carbono orgânico; “valor ótimo” possui inclinação positiva até o valor ótimo e é utilizada para indicadores que apresentam um efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é negativa, a exemplo da porosidade total, potencial de hidrogênio e condutividade hidráulica em solo saturado. As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possuem declividade negativa e padronizam indicadores como a densidade do solo, a resistência à penetração e saturação por alumínio, em que a qualidade está associada aos menores valores dos mesmos (Quadro 2).

O critério fundamental deste estudo foi utilizar os mesmos parâmetros e indicadores estabelecidos por Souza et al. (2003) quando avaliaram a qualidade de duas classes de solos coesos. Com isto esperam-se facilitar as comparações e entendimentos referentes à aplicação da metodologia de Karlen & Stott (1994). Assim, foram definidas três funções principais, seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores (Quadro 1). As funções principais foram: crescimento radicular em profundidade (CRP); condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN).

O cálculo do IQS foi feito da seguinte forma:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (3)$$

onde  $q(FP)$  é a contribuição parcial de cada função principal para o valor global do IQS,  $I_n$  representa os valores dos diferentes indicadores da função principal avaliada e  $W_n$  são os pesos relativos atribuídos a cada indicador e representam a importância do mesmo na composição do índice de qualidade do solo.

Na seqüência multiplicam-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu respectivo ponderador e efetua-se a soma dos resultados, determinando-se assim, o índice de qualidade do solo – IQS conforme equação 4 e exemplificado no quadro 3.

$$IQS = (qCRP \times wCRP) + (qCAA \times wCAA) + (qSN \times wSN) \quad (4)$$

onde  $qCRP$  é o valor ponderado da função principal crescimento do sistema radicular em profundidade,  $qCAA$  é a função capacidade de condução e armazenamento de água e  $qSN$  é a função suprimento de nutrientes,  $w$  são os ponderadores associados a cada função principal.

Foi avaliado o peso e o número de frutos por planta em cada sistema de manejo do solo, considerando-se 17 plantas por tratamento. Os valores do IQS e produção de frutos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Quadro 1. Indicadores de qualidade e ponderadores utilizados para avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso cultivado com citros e manejado com e sem subsolagem**

Funções principais <sup>(1)</sup>	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade <sup>(2)</sup>	Ponderadores dos indicadores	Limites críticos		Referências dos limites críticos
				Inferior	Superior	
CRP	0,40	RP <sub>100 KPa</sub> (MPa)	0,40	2,00		Taylor et. Al. (1966)
		MP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds (Kg dm <sup>-3</sup> )	0,10	1,52		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
CAA	0,40	K <sub>o</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	0,20	2,00	20	Lepsch (1983)
		MP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		UV <sub>33KPa</sub> /PT	0,30	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	0,30	0,125		Souza et al. (2003)
SN	0,20	pH em água	0,10	5,0	9,0	C.E.F Solo (1989)
		CTC <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
		M.O. (g Kg <sup>-1</sup> )	0,30	15		C.E.F Solo (1989)

<sup>(1)</sup> CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = condução e armazenamento de água e SN = suprimento de nutrientes.

<sup>(2)</sup> RP<sub>100 KPa</sub> = resistência à penetração a 100KPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m % = saturação por alumínio; K<sub>o</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; UV<sub>33KPa</sub>/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 KPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica.

**Quadro 2. Curva de padronização dos indicadores utilizados na avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso cultivado com citros**

Indicadores de qualidade <sup>(1)</sup>	Tipo de curva de padronização <sup>(2)</sup>	Valores iniciais	Declividade da curva
RP <sub>100 Kpa</sub>	MEM	0,53	-1,825
MP	OT	0,00	16,738
DS	MEM	1,00	-5,004
M	MEM	0,00	-0,0355
K <sub>o</sub>	OT	0,00	0,274
Mp	OT	0,00	16,675
UV <sub>33Kpa/PT</sub>	MAM	0,00	3,578
AD/PT	MAM	0,00	12,839
pH	OT	0,00	0,834
CTC <sub>pot</sub>	MAM	0,00	0,334
V	MAM	0,00	0,334
M.O.	MAM	0,00	0,100

<sup>(1)</sup> RP<sub>100 KPa</sub> = resistência à penetração a 100KPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m % = saturação por alumínio; K<sub>o</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; UV<sub>33KPa/PT</sub> = relação umidade volumétrica retida a 33 KPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; CTC = capacidade de troca de cátions; V % = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica. <sup>(2)</sup> MEM = menos é melhor; OT = valor ótimo e MAM = mais é melhor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios dos indicadores selecionados para avaliar a qualidade do solo foram, em sua maioria, estatisticamente diferentes, entre os dois tratamentos testados (Quadro 3). Verificou-se que a resistência do solo à penetração de raízes ( $RP_{100KPa}$ ) foi 10% maior no tratamento com gradagem + capina manual (T1), quando comparado ao tratamento utilizando subsolagem + cobertura vegetal com feijão-de-porco (T2). Porém, em ambos os tratamentos a  $RP_{100KPa}$  foi limitante, pois seus valores mantiveram-se acima do limite crítico de 2,0 MPa estabelecido para este indicador (Taylor et al., 1966). No entanto, vale ressaltar, que em sistemas de cultivo conservacionistas com revolvimento mínimo do solo e que acumulam mais matéria orgânica, existe uma tendência em haver maior eficiência das raízes e de microrganismos na estruturação do solo, permitindo maior amplitude dos limites restritivos de resistência à penetração conforme relatam Ehlers et al. (1983).

A macroporosidade (MP) foi, aproximadamente, duas vezes menor no T1 em relação ao T2. Essa redução dos macroporos do solo no T1 pode ser resultante da compactação causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, comprometendo a distribuição do espaço poroso, o que ocasiona aumento na resistência mecânica do solo à penetração vertical e menor condutividade hidráulica no solo saturado (Quadro 3), conforme também verificaram Lima et al. (2005) e Minatel et al. (2006).

A MP encontrada no T2 foi 90% superior ao limite crítico de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e 80% inferior no T1. Esses resultados podem ser atribuídos aos efeitos positivos da prática da subsolagem e, principalmente, dos bioporos deixados no solo pela decomposição das raízes do feijão-de-porco utilizado como cobertura vegetal desde a implantação do pomar. Segundo Reichert et al., (2003) o uso de espécies vegetais que produzam grande massa radicular e cujas raízes possuam a habilidade de penetrar em camadas compactadas deve integrar os sistemas de cultivo, pois a decomposição dessas raízes deixa poros contínuos e de maior estabilidade, que aumentam as trocas gasosas e a infiltração de água no solo conforme também verificaram Logsdon et al. (1990) em relação a transmissão de água pelo solo.

O valor da densidade do solo ( $D_s$ ) foi significativamente menor no tratamento 2 ( $1,46 \text{ Kg dm}^{-3}$ ), ficando abaixo do limite crítico de  $1,52 \text{ Kg dm}^{-3}$  (Souza et al., 2003), quando comparados ao T1 ( $1,55 \text{ Kg dm}^{-3}$ ) que, apresentou valores de  $D_s$  elevados refletindo na baixa aeração (Abercrombie & Du Plessis, 1995) e moderada condução de água pelo solo.

Já a saturação por alumínio (m %) foi um dos indicadores que não diferiu entre os tratamentos testados. Seus valores foram muito baixos como era esperado, tendo em vista que a subsolagem não produz diretamente efeitos químicos no solo. Por ser um indicador regido pela função de padronização do tipo “menos é melhor”, onde valores baixos contribuem para melhorar a qualidade do solo, o m % não revelou limitação de ordem química ao crescimento radicular da planta cítrica.

Na função condução e armazenamento de água (CAA) a condutividade hidráulica no solo saturado ( $K_o$ ) não foi limitante para ambos os tratamentos. Porém observou-se no T1, que seu valor médio foi mais próximo do limite inferior de  $5,0 \text{ cm h}^{-1}$ , enquanto em T2 esse valor aproximou-se do limite superior de  $15,0 \text{ cm h}^{-1}$ , indicando possível efeito da subsolagem mais cobertura vegetal na condução de água, o que está coerente também com os resultados da macroporosidade, visto que a capacidade do solo em permitir a infiltração da água é reflexo do seu volume de macroporos (Thomasson, 1978).

Os indicadores relacionados à disponibilidade de água do Latossolo Amarelo Coeso (LAX) para as plantas cítricas constituíram-se em fatores limitantes da qualidade e não diferiram entre os tratamentos, concordando com Souza et al. (2006) que realizaram estudos nas mesmas condições de solo, uso e manejo. Em ambos os tratamentos os valores da relação  $UV_{33\text{KPa}}/PT$  foram muito abaixo do limite crítico de 0,55, enquanto, a relação  $AD/PT$  foi superior ao limite de 0,125 no T2 e inferior para T1. Esses resultados no T1 podem ser atribuídos aos efeitos da gradagem que aumenta a densidade do solo na superfície e diminui a capacidade de retenção de água a baixas tensões, reduzindo dessa forma a água disponível às plantas (Portela et al., 2001) e conseqüentemente o índice de qualidade desse solo, conforme verificado.

**Quadro 3. Indicadores de qualidade do solo para um Latossolo Amarelo Coeso sob dois sistemas de manejo: grade + capina (T1) e Subsolação + cobertura vegetal + glifosato (T2), para o cultivo da laranja 'Pêra'**

Indicadores <sup>(1)</sup>	T1	T2
Função crescimento radicular em profundidade		
RP <sub>100 KPa</sub> (MPa)	3,20 B	2,90 A
MP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,08 A	0,19 B
Ds (Kg dm <sup>-3</sup> )	1,55 A	1,46 B
m (%)	3,67 A	1,51 A
Função condução e armazenamento de água		
K <sub>o</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	7,08 A	12,49 B
MP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,080 A	0,186 B
UV <sub>33KPa/PT</sub>	0,250 A	0,253 A
AD/PT	0,119 A	0,137 A
Função suprimento de nutrientes		
pH em água	6,00 A	5,70 A
CTC <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,17 A	7,69 B
V (%)	52,63 A	77,75 B
M.O. (g Kg <sup>-1</sup> )	8,10 A	13,18 B

<sup>(1)</sup> RP<sub>100KPa</sub> = resistência à penetração a 100KPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K<sub>o</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; UV<sub>33KPa/PT</sub> = relação umidade volumétrica retida a 33 KPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica. Letras maiúsculas comparam, na linha, valores dos indicadores, em cada tratamento, pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores dos indicadores da função suprimento de nutrientes, a exceção da matéria orgânica (MO), apresentaram-se acima dos seus respectivos limites críticos, fato este que contribuiu para elevar os escores padronizados dos indicadores para esta função a níveis próximos de 1,0 (hum) e conseqüentemente a participação da mesma no índice de qualidade do solo (IQS). Observaram-se diferenças nos indicadores CTC, V% e MO com melhorias no T2 em relação ao T1 (Quadro 3). Atribui-se o aumento dos valores de CTC, V% e MO no T2 a utilização da leguminosa feijão-de-porco como cobertura do solo, uma vez que a decomposição e manutenção de resíduos de coberturas vegetais elevam os teores de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados, como verificaram Hussain et al. (1999) e Faria et al. (2004) ao estudarem qualidade do solo e uso de leguminosas como adubos verdes, respectivamente.

Vale ressaltar que o tempo de implantação dos tratamentos e a quantidade de resíduos vegetais incorporados com utilização da cobertura vegetal são fatores determinantes para obtenção desses resultados como relataram Silva et al. (1999), Minatel et al. (2006) e Ragozo et al., (2006). As alterações nos indicadores de qualidade do solo induzidas pelo manejo com subsolagem + cobertura vegetal proporcionou melhoria dos índices, nas funções principais crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimentos de nutrientes (SN), cujos valores foram elevados em relação ao manejo do solo com gradagem (Quadro 4). Comparando-se os dois tratamentos observou-se que todos os índices foram superiores no T2 indicando assim, que este tratamento melhorou as condições do LAx para produção da laranjeira 'Pêra'.

Dentre as funções analisadas a única que ficou abaixo do limite crítico de 0,5 no T2 foi à função CRP revelando a ocorrência de limitações em algum indicador relacionado a esta função. Neste caso, o indicador limitante foi a  $RP_{100\text{ KPa}}$ , que mesmo tendo seu valor reduzido por efeito do manejo com subsolagem + cobertura vegetal, continuou acima de 2,0 MPa.

O valor estimado do índice de qualidade do solo (IQS) global, para o LAx, diferiu estatisticamente entre os dois tratamentos sendo melhor no T2 em relação ao T1 (Quadro 4). Esses resultados, para o T2, indicam que o IQS pode ser classificado como

ótimo ( $IQS > 0,50$ ) segundo os critérios de Karlen & Stott (1994) ou médio ( $0,51 \leq IQS \leq 0,70$ ) conforme proposta de Souza (2005). Alterações na qualidade do solo em função dos sistemas de manejo adotados também foram observadas por Conceição et al, (2005).

Para as condições de manejo com gradagem e capina (T1) o IQS encontrado mostra uma situação com grandes limitações agrícolas. Este resultado está de acordo com os obtidos por Souza et al. (2003) e Souza (2005) em estudos sobre qualidade para Latossolos Amarelos Coesos de Tabuleiros Costeiros cultivados com citros e em condições de mata, respectivamente.

**Quadro 4. Índice para as funções principais e valor global do índice de qualidade para um Latossolo Amarelo sob dois sistemas de manejo: grade + capina (T1) e Subsolação + cobertura vegetal + glifosato (T2), para o cultivo da laranja 'Pêra'**

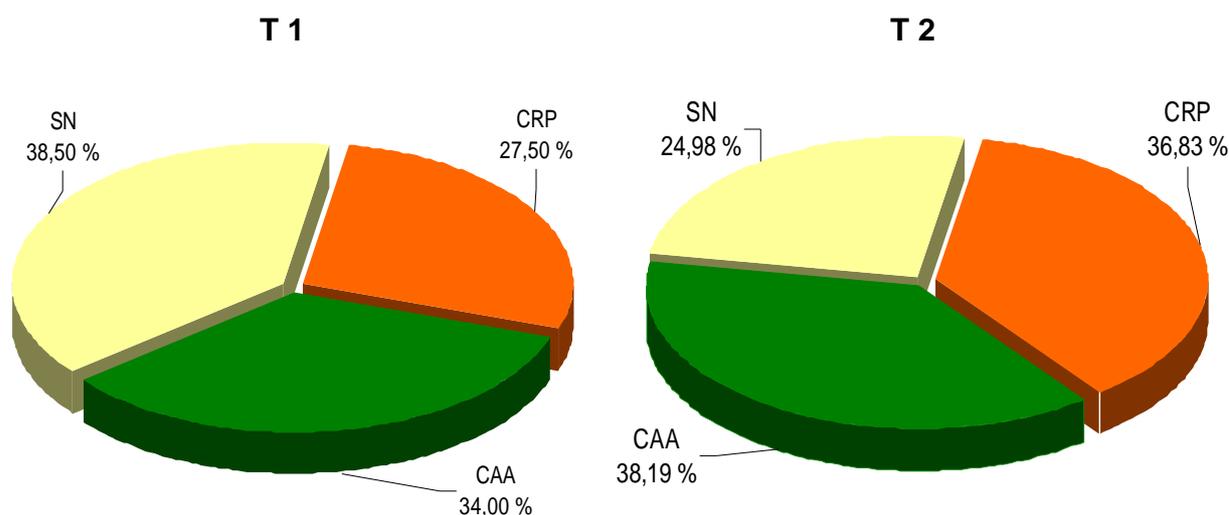
Funções / índices <sup>(1)</sup>	T1	T2
CRP	0,274 A	0,484 B
CAA	0,344 A	0,566 B
SN	0,591 A	0,739 B
IQS	0,379 A	0,555 B

<sup>(1)</sup> CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = condução e armazenamento de água; SN = suprimento de nutrientes e IQS = índice de qualidade do solo. Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A função que mais contribuiu na composição do índice de qualidade do solo no T1 foi a SN. Esse resultado deve-se a ocorrência de pontos limitantes nas funções CAA (baixos valores para  $UV_{33kPa}/PT$  e  $AD/PT$ ) e CRP (elevada  $RP_{100kPa}$ ). Quanto ao T2 as funções CAA e CRP apresentaram contribuições próximas na formação do IQS. Para essa condição os indicadores que mais favoreceram foram os baixos valores

observados para a saturação por alumínio além dos elevados valores encontrados para a macroporosidade e condutividade hidráulica (Figura 2).

Na análise geral e comparativa da participação das funções CRP, CAA e SN (Figura 2) observar-se que no tratamento T2 houve uma maior equilíbrio entre os percentuais relativos de cada função quando comparado ao T1, de forma que seus valores aproximaram-se mais da condição ideal na composição do IQS (CRP = 40%; CAA = 40% e SN = 20%) considerando-se que nas condições de Tabuleiros Costeiros os fatores mais relevantes para a produção da laranja 'Pêra' são o crescimento radicular em profundidade e o suprimento de água para as plantas.



**Figura 5. Participação relativa das funções crescimento radicular em profundidade (CRP); condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN) na composição do índice de qualidade do solo.**

Analisando-se a produtividade da laranjeira 'Pêra' enxertada sob limoeiro 'Volkameriano' foi possível observar que o número médio de frutos por planta e a produtividade em  $t\ ha^{-1}$  diferiu significativamente entre os tratamentos estudados. No manejo do solo com cobertura vegetal de feijão-de-porco + subsolagem (T2) o número

de frutos por planta foi 20% superior em relação ao manejo com grade + capina (T1). Com relação à produtividade foi observado um acréscimo de 26% para T2 quando comparado ao T1 (Quadro 5). Considerando-se a avaliação da qualidade do solo voltada para a produtividade agrícola verificou-se que as melhorias no índice de qualidade do solo refletiram positivamente na produtividade da laranjeira 'Pêra', ressaltando-se a viabilidade da utilização da subsolagem e da manutenção de uma cobertura vegetal no solo em sistema de produção sustentável para citros, conforme também observaram (Carvalho et al., 2002; Rezende et al., 2002; Silva et al., 2002; Faria et al., 2004 e Ragozo et al., 2006).

**Quadro 5. Produtividade da laranjeira 'Pêra' sob limoeiro 'Volkameriano' cultivado em Latossolo Amarelo Coeso em diferentes sistemas de manejo: grade + capina (T1) e Subsolagem + cobertura vegetal + glifosato (T2), no período de 2005/2006**

Variáveis	Sistemas de manejo		Incremento
	T1	T2	
			%
Nº de frutos / planta	338 A	423 B	20
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	25 A	39 B	26

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

1. O índice de qualidade do Latossolo Amarelo Coeso, cultivado com citros, foi alterado positivamente pelo manejo com subsolagem no preparo inicial do solo mais o controle integrado de plantas infestantes com feijão-de-porco, como cobertura vegetal, nas entrelinhas da laranjeira 'Pêra';

2. O preparo do solo com subsolagem associada ao plantio do feijão-de-porco como cobertura vegetal proporcionaram melhorias nos atributos físicos e químicos avaliados para o solo em estudo e na produtividade da laranjeira 'Pêra'.

### LITERATURA CITADA

- ABERCROMBIE, R.A.; DU PLESSIS, S.F. The effect of alleviating soil compaction on yield and fruit size in an established Navel orange orchad. J. Afric. Soc.Horticultural Sci., 5:85-89, 1995.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L. do P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. Revista R. Bras. Ci. Solo, 29:425-435, 2005.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C. & PERREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 25:167-177, 2001.
- CAMARGO, O.A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas: Fundação Cargill, 44p.1983.
- CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L. da S.; JORGE, L.A. de C.; RAMOS, W.F.; NETO, A. de O.C.; ARAUJO, A.M. de A.; LOPES, L.C. & JESUS, M.S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pêra'. R. Bras. Fruticultura, 21:140-145, 1999.
- CARVALHO, J. E. B. de.; SOUZA, L.S.; CALDAS, R.C.; ANTAS, P.E.U.T.; ARAÚJO, A.M.A.; LOPES, L.C.; SANTOS, R.C.; LOPES, N.C.M. & SOUZA, A.L.V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja-'Pêra'. R. Bras. Fruticultura, 24:82-85, 2002.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & JORGE, L.A.C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistemas de Tabuleiro Costeiro. R. Bras. Fruticultura, 21:313-317, 1999.

- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. R. Bras. Eng. Agri. Ambiental, 4:3-28, 2000.
- CONCEIÇÃO P. C.; AMADO T. J. C.; MIELNICZUK J. & SPAGNOLLO E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. R. Bras. Ci. Solo, 29:777-788, 2005.
- DEXTER, A.R. & YOUNGS, I.M. Soil physic toward 2000. Soil Till. Res., 24:101-106, 1992.
- DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America (SSSA), 1994, p. 3 – 21, (Special publication, 35).
- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Pnetration resistance an root growth of aots in tilled and untilled loess soil. Soil Till. Res., 3:261-275, 1983.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, RJ: 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FARIA C. M. B.; SOARES J. M. & LEÃO P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. R. Bras. Ci. Solo, 28: , 2004.
- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. Agric. Ecosys. Environ., 80:29-45, 2000.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Can. J. Soil Sci., 74:367-375,1994.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, D.L. & KARLEN, D. L. Adapitation of soil quality indices and aplication to three tillage systems in southern Illinois. Soil Till. Res., 50:237-249, 1999.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais... Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF,1996, p. 13-26.

- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil – Workshop Coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros, In: WORKSHOP SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1., 2001. Aracajú, Anais... 2001. p. 19-46.
- LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J. F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju, 2001, Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.193-208.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, EDUSP, 2005. 509p.
- LIMA, H.V. de; LIMA, C.L.R.de; LEÃO,T.P.; COOPER, M.; SILVA, A.P.da & ROMERO, R.E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. R. Bras. Ci. Solo, 29:325-334, 2005.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: Ed. Agronômica “Ceres”, 1979. 262p.
- KARLEN, D. L. & STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53-72, (Special Publication, 35).
- LOGSDON, S.D. ALLMARAS, R.R.; WU, L.; SWAN, J.B. & RANDALL, G.W. Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:1096-1101, 1990.
- MELO FILHO, J. F. ; SILVA, J. R. C. . Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho - amarelo no Ceará. R. Bras. Ci. Solo, 17:291-297, 1993.
- MELO FILHO, J. F.; DEMATTÊ, J. A. M.; LIBARDI, P. L.; PORTELA, J. C. Comportamento espectral de um Latossolo Amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. Magistra, 16:105-112, 2004.
- MINATEL, A.L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. & NATALE, W. Subsoiling and green manuring effects on soil physical properties on citrus orchard. Eng. Agríc., 26:86-95, 2006.
- PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I.; HORNICK, S.B. & MEYER, R.E. Soil quality: Attributes and relations to alternative and sustainable agriculture. Am. J. Altern. Agric., 7:5-11. 1992.
- PORTELA, J.C.; LIBARDI, P.L. & LIER, Q.J. V. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema Tabuleiro Costeiro. R. Bras. Eng. Agri. Ambiental, 5:49-54, 2001.

- RAGOZO, C. R. A.; LEONEL S. & CROCCI, A.J. Adubação verde em pomar cítrico. R. Bras. Fruticultura, 28:15-28, 2006.
- RAIJ, B. V. & QUAGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim técnico nº 81).
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Palestras... Ribeirão Preto /SP: Agromidia, 2003.1 CD-ROM.
- REZENDE, J. de O. Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-spa, 2000. 117p. il. (Séries Estudos Agrícolas, 1).
- REZENDE, J.O.; MAGALHÃES, A.F. de J.; SHIBATA, R.T.; ROCHA, E.S.; FERNANDES, J.C.; BRANDÃO, F.J.C. & REZENDE, V.J.R.P. Citricultura Nos Solos Dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões. Salvador, Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2002. 97p.
- RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF, 1996, p. 25-37.
- SILVA, J.A.A.; DONADIO, L.C.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde em citros. Boletim Citrícola, Jaboticabal, n.9, p.1-35, 1999.
- SILVA, J.A.A.; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S. & SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-'Pêra'. R. Bras. Fruticultura. 24:25-36, 2002
- SOUZA, A. L. V. Avaliação da qualidade de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF, 1996, p. 36-75.
- SOUZA, L. S.; SOUZA, L.D. & SOUZA, L.F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Palestras... Ribeirão Preto /SP: Agromidia, 2003.1 CD-ROM.

- SOUZA, L. da S.; PEIXOTO, C.A.B.; CARVALHO, J.E.B de.; SOUZA, L.D. & RIBEIRO, L. da S. Relação solo-água-planta em diferentes manejos do solo e combinações copa-porta-enxerto de citros, em Latossolo Amarelo Coeso de Tabuleiro Costeiro do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Resumos... Aracaju/SE. 2006.1 CD-ROM.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf. Rev. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, 1:3-11, 1983.
- SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/sei/frame\\_tabela.wsp?tmp.volta=sg6&tmp.tabela=t79](http://www.sei.ba.gov.br/sei/frame_tabela.wsp?tmp.volta=sg6&tmp.tabela=t79)> Acesso em 15 out. 2005.80
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. Soil Sci., 102:18-22, 1966.
- THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. J. Soil Sci., 29:38-46, 1978.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE CITROS EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Ciência do Solo

## DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE CITROS EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

**RESUMO:** As raízes são estruturas fundamentais à vida das plantas por exercer funções como sustentação e absorção de água e nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da subsolagem no preparo inicial do solo mais cobertura vegetal no controle integrado de plantas infestantes, sobre a distribuição das raízes da combinação laranjeira 'Pêra' sob limoeiro 'Volkameriano', cultivada em Latossolo Amarelo Coeso. O experimento foi conduzido em um pomar de citros com seis anos de idade, cujos tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial 4 x 4 x 5, representados por quatro tratamentos, quatro distâncias do tronco e cinco profundidades de amostragem. Os sistemas de manejo foram: convencional (C) - aração + gradagem + plantio das mudas cítricas e, proposto (P) - subsolagem + cobertura vegetal + plantio das mudas cítricas. Com os tratamentos: C1 – C + controle de plantas infestantes com capinas nas linhas dos citros; C2 – C + gradagem nas entrelinhas dos citros; P1 – P + controle de plantas infestantes com glifosato nas linhas e P2 - P+cobertura do solo com feijão-de-porco nas entrelinhas dos citros. A avaliação das raízes foi realizada em trincheiras, através de imagens digitais e quantificação com o programa SIARCS 3.0. Os tratamentos P1 e P2 foram significativamente superiores revelando uma área de densidade de raízes superior em 272 % para P1 na linha de plantio e 126 % para P2 na entrelinha das plantas quando comparados aos tratamentos C1 e C2, respectivamente. Os sistemas de manejo propostos (P1 e P2) promoveram um maior desenvolvimento das raízes das laranjeiras quando comparados com os convencionais (C1 e C2). A distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' cultivada em Latossolo Amarelo Coeso foi alterada positivamente pelo manejo do solo.

**Palavras-chaves:** Raízes, *Citrus sinensis*, subsolagem e cobertura do solo

## ROOT DEVELOPMENT OF CITRUS IN A COHESIVE YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

**ABSTRACT:** The roots are basic structures to the life of the plants for exerting functions as sustentation and absorption of water and nutrients. The objective of this study was to evaluate the effect of the subsoiling with cover crop under the distribution of the roots of 'Pera' sweet orange grafted on 'Volkamer' lemon cultivated in a Cohesive Yellow Latosol. This work was carried out in a six year-old citrus orchard, whose treatments were set in a 4 x 4 x 5 factorial scheme, represented for four treatments, four distances of stem and five sampling depths. The management systems studied were: conventional tillage (C) – plowing + disking + planting of *Citrus* and the management proposed (P) – subsoiling + Cover crop + planting of *Citrus*. The treatments were: C1 - C+hoeing within planting lines; C2 – C + disking between the planting lines; P1 – P + control of the weeds by Glyphosate, on the planting lines and P2 – P + cover crop with *Canavalia ensiformes*, L. between the planting lines of citrus. The roots' evaluation was in trenches. The images were digitized and the root area and length were determined using the SIARCS 3.0 program. The treatments P1 and P2 gave the greatest response with increase of the area of root bulk density in 272% to P1 in the planting line and 126% to P2 between the planting lines of citrus when compared with treatments C1 and C2 respectively. The soil management systems proposed (P1 and P2) promoted higher development of the roots when compared with the conventional treatments (C1 and C2). The distribution of the root system of 'Pera' sweet orange grafted on 'Volkamer' lemon cultivated in a Cohesive Yellow Latosol was modified significantly by soil management.

**Key words:** Roots, *Citrus sinensis*, subsoiling, cover crop

## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente relacionada com a preservação do estado de aeração e hidratação do sistema radicular das plantas (Ottoni Filho, 2003). O desenvolvimento dos citros e a disponibilidade de nutrientes para as plantas são afetados pela compactação do solo e, a qual quando em níveis elevados, reduz a função fisiológica das raízes tornando o sistema radicular menos eficiente na absorção de água e nutrientes (Alvarenga et al., 1997).

A resistência à penetração nos solos de Tabuleiros Costeiros aumenta com a redução da umidade, de forma exponencial nos horizontes coesos, e linear nos horizontes não coesos (Giarola et al., 2001). Diversos estudos realizados em solos coesos têm mostrado que as raízes concentram-se nas camadas iniciais, isto é, entre 0,0 e 0,40 m, com percentuais do total de raízes amostradas entre 52 e 90 % (Carvalho et al., 1999 e Cintra et al., 1999). A subsolagem associada ao uso de coberturas vegetais nas entrelinhas surge como uma prática capaz de minimizar os efeitos da camada coesa desses solos (Carvalho et al., 1999; Rezende, 2000).

As raízes das plantas têm distribuição variável com as espécies e cultivares, idade da planta, características químicas e físicas do solo, tratos culturais e condições fitossanitárias. Em relação à distribuição lateral das raízes, Neves et al. (1998) observaram que a distância máxima do sistema radicular da tangerineira 'Poncã' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' variou de 2,08 a 3,17 m em relação ao tronco das plantas, sendo essa distância influenciada pelo espaçamento de plantio, variedade de porta-enxerto e manejo do solo utilizado nas entrelinhas. Para a profundidade efetiva, correspondente à concentração de 80% do sistema radicular da planta cítrica, tem-se observado variações de 0,40 a 0,75 m, sendo esta profundidade influenciada por atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Neves et al., 1998; Cintra et al., 1999; Neves et al., 2004).

As raízes são estruturas fundamentais à vida das plantas exercendo funções como sustentação, absorção de nutrientes e de água cujo aprofundamento promove maior absorção de água e nutrientes do solo (Weisel et al., 1991 e Mazza et al., 1994).

Assim, o conhecimento sobre a distribuição das raízes, no perfil do solo, é de utilidade na produção agrícola por fornecer informações sobre espaçamento de plantio, localização da adubação, uso de culturas intercalares e manejo do solo (Fracaro & Pereira, 2004).

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da subsolagem mais cobertura vegetal sobre a distribuição do sistema radicular da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' cultivada em um Latossolo Amarelo Coeso.

## MATERIAL E MÉTODOS

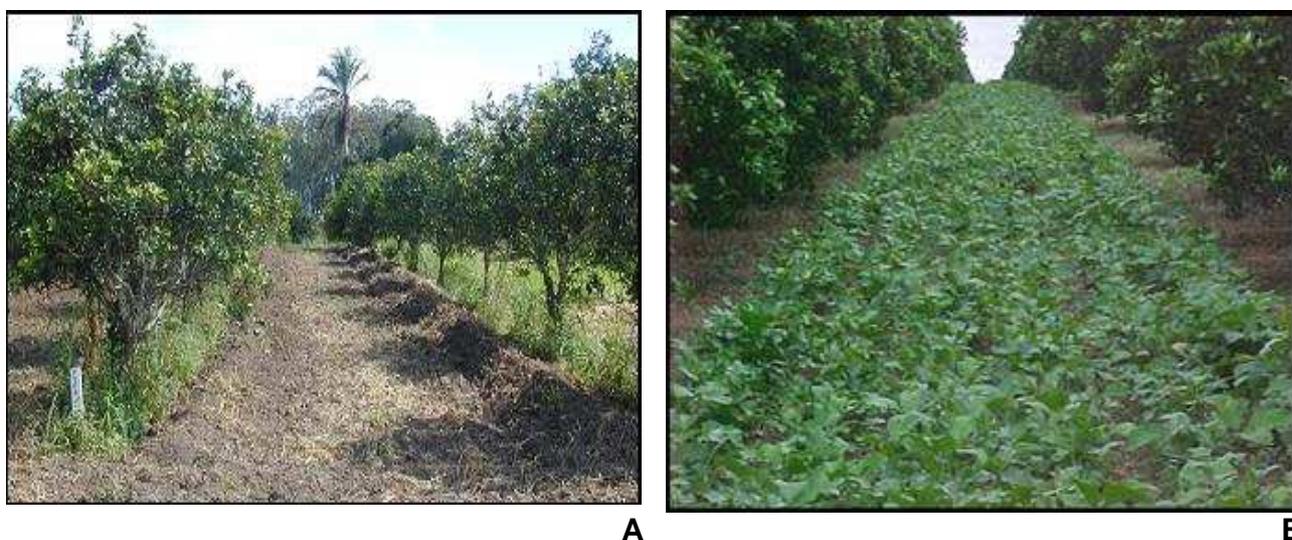
### Localização

As avaliações foram realizadas no período de 2004 a 2006 em um pomar de laranjeira 'Pêra' (*Citrus sinensis* L. Osbeck.) sobre limoeiro 'Volkameriano' (*Citrus volkameriana*), com seis anos de idade, plantado com espaçamento de 5,00 m entre as linhas e 4,00 m entre plantas nas linhas de plantio, ocupando uma área total aproximada de 7.200 m<sup>2</sup>, localizado no município de Cruz das Almas - BA, cujas coordenadas geográficas são 12° 40' 0" S, 39° 06' 0" W, com altitude de 200 m acima do nível do mar, clima Aw a Am, tropical quente e úmido, segundo a classificação de Köppen. A pluviosidade média anual é de 1.224 mm e a umidade relativa do ar é de aproximadamente 80 % e a temperatura média anual é de 24,5 °C (SEI, 2005). O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso (Embrapa, 1999).

### Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial 4 x 4 x 5, representado por quatro tratamentos, quatro distâncias do tronco (0,50; 1,00; 1,50 e 2,00 m) e cinco profundidades de amostragem (0,00 - 0,20; 0,20 -

0,40; 0,40 - 0,60; 0,60 - 0,80 e 0,80 - 1,00 m). Os sistemas de manejo foram: convencional (C) - aração, gradagem, abertura manual de covas e plantio das mudas cítricas e proposto (P) - subsolagem cruzada um ano antes do plantio a uma profundidade média de 0,55 m, plantio direto, de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) seguido do plantio das mudas cítricas diretamente na palhada. Os tratamentos testados foram: C1 – C + controle mecânico do mato com quatro capinas nas linhas das plantas cítricas por ano; C2 – C + quatro gradagens nas entrelinhas dos citros por ano (Figura 6A); P1 – P + controle integrado de plantas infestantes dessecando-se o mato nas linhas das laranjeiras com glifosato na dose de 1,0% v/v e P2 – P + plantio direto da planta de cobertura do solo feijão-de-porco nas entrelinhas dos citros (Figura 6B) em maio/junho e roçagem setembro/outubro. Os tratamentos de cultivo do solo nas linhas e entrelinhas das plantas foram mantidos desde a implantação do pomar em 1999.



**Figura 6. Tratamento convencional com gradagem na entrelinha das plantas (A) e tratamento proposto com cobertura vegetal de feijão-de-porco nas ruas do pomar (B).**

### **Análise do sistema radicular das plantas cítricas**

A avaliação das raízes foi realizada pelo método da trincheira com quatro repetições por tratamento (Böhm, 1979). As trincheiras foram abertas a uma distância de 2,0 m do tronco das plantas nas linhas e entrelinhas, com dimensões de 1,0 m e profundidade de 1,2 m (Figura 7). Depois de abertas as trincheiras, às raízes foram expostas no comprimento de 0,01 m, com escarificador manual, em forma de rolo, com pregos, e pintadas com tinta látex branca, para aumentar o contraste entre o perfil do solo e as raízes. Foi colocada de encontro à parede do perfil uma moldura de alumínio com uma tela de fios de nylon, formando quadrículas de 0,2 x 0,2 m das quais foram tomadas imagens com uma câmara fotográfica digital (Cintra & Neves, 1996). As imagens foram avaliadas pelo Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo - SIARCS 3.0 (Jorge & Crestana, 1996).

### **Tratos fitossanitários**

O pomar foi conduzido em condições de sequeiro, recebeu adubações de acordo com as recomendações das análises químicas do solo e tratos fitossanitários uniformes para todas as plantas, nos dois sistemas de manejo.

### **Análise dos dados**

Os valores quantificados das raízes foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

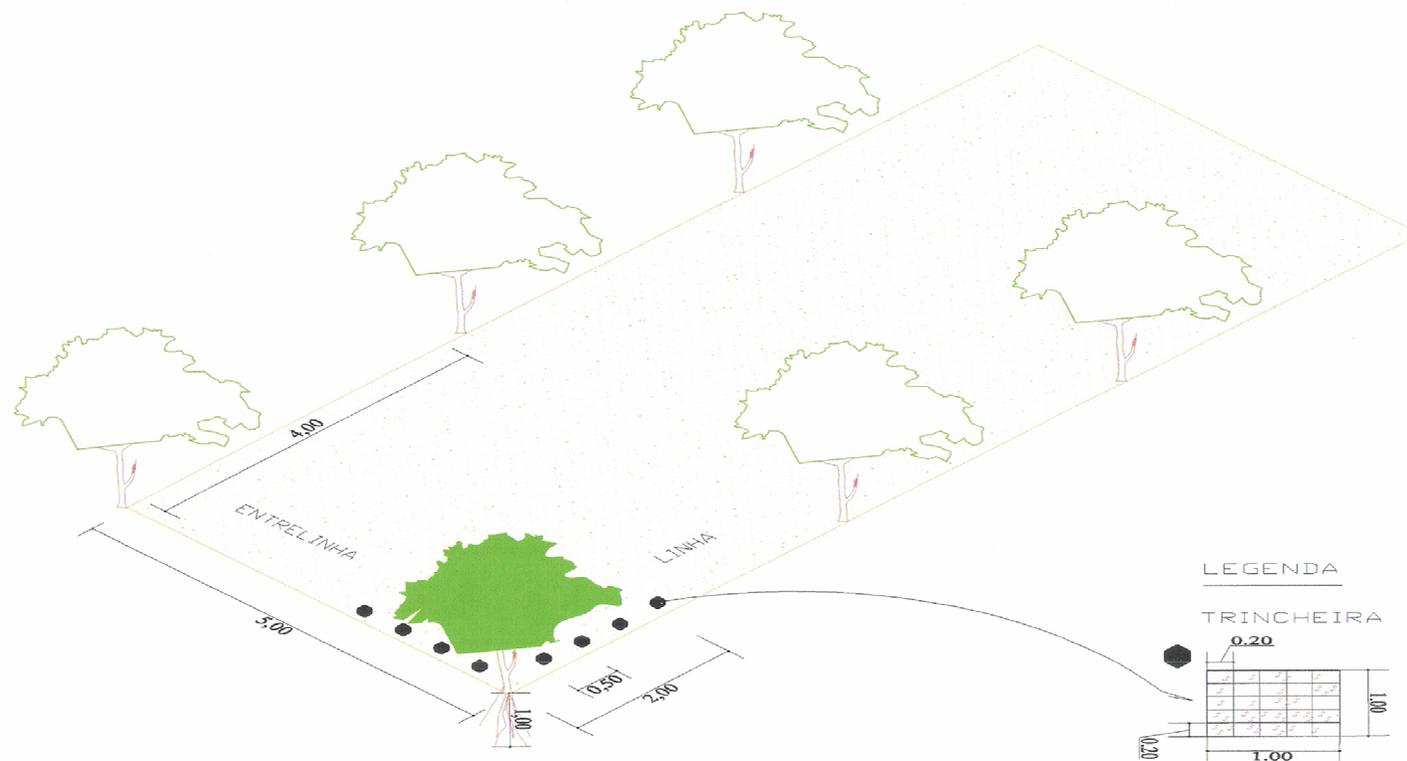


Figura 7. Posição espacial das trincheiras utilizadas para avaliação do sistema radicular de plantas cítricas cultivadas em Latossolo Amarelo Coeso.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da distribuição horizontal das raízes da laranjeira 'Pêra' cultivada sob diferentes sistemas de manejo do solo (Quadro 6) revelou diferenças significativas entre os tratamentos testados. Na distância de 0,5 m do tronco da planta o uso da subsolagem antes do plantio mais feijão-de-porco para controle de plantas infestantes na entrelinha do pomar (P2) obteve uma densidade de raízes em média 2,8 vezes maior em relação aos demais tratamentos. Bordin et al. (2005) também observou diferenças na distribuição de raízes por distância do tronco, nos primeiros 0,25 m, com a superioridade da entrelinha escarificada sobre a entrelinha não escarificada.

Não foram observadas variações significativas na distribuição radicular horizontal das plantas entre os tratamentos testados, na distância de 1,00 m (Quadro 6). Este resultado está de acordo com os observados por Neves et al. (1998) quando estudaram o efeito do manejo do solo no desenvolvimento do sistema radicular de tangerineira. Na distância de 1,5 m do tronco da planta o tratamento com capina nas linhas de plantio dos citros (C1) foi o que apresentou a menor densidade de raízes, não diferindo estatisticamente dos tratamentos P1 e P2, os quais também não diferiram de C2. Observou-se, para distância de 2,00 m, que os tratamentos P1 e P2 foram significativamente superiores (Quadro 6) revelando uma área de raízes para absorção de água e nutrientes do solo superior em 272 % para P1 na linha de plantio e 126 % para P2 na entrelinha das plantas quando comparados aos tratamentos C1 e C2, respectivamente. Este resultado pode ser atribuído ao efeito positivo da subsolagem mais planta de cobertura na redução da resistência à penetração radicular, densidade e na melhoria da circulação de ar, água e nutrientes no solo para o desenvolvimento das raízes das plantas cítricas (Barley, 1954; Logsdon et al., 1990; Carvalho et al., 1999; Rezende et al., 2002; Reichert et al., 2003 e Souza et al., 2004). A redução na densidade de raízes nos tratamentos C1 e C2 pode ser atribuída a elevada resistência à penetração radicular e densidade do solo e ao reduzido volume de macroporos verificados nestas condições de manejo, pois segundo Anghinoni & Meurer (1999) pode-se esperar redução da extensão do sistema radicular em solos compactados.

Quadro 6 - Densidade de raízes de laranja 'Pêra' sob limoeiro 'Volkameriano', em um Latossolo Amarelo Coeso sob quatro tratamentos de cultivo

Tratamento	Distância horizontal do tronco da planta cítrica			
	m			
	0,50	1,00	1,50	2,00
	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>			
C1	0,104 a	0,109 a	0,046 a	0,090 a
C2	0,127 a	0,123 a	0,163 b	0,154 a
P1	0,072 a	0,132 a	0,148 ab	0,335 b
P2	0,278 b	0,162 a	0,129 ab	0,348 b

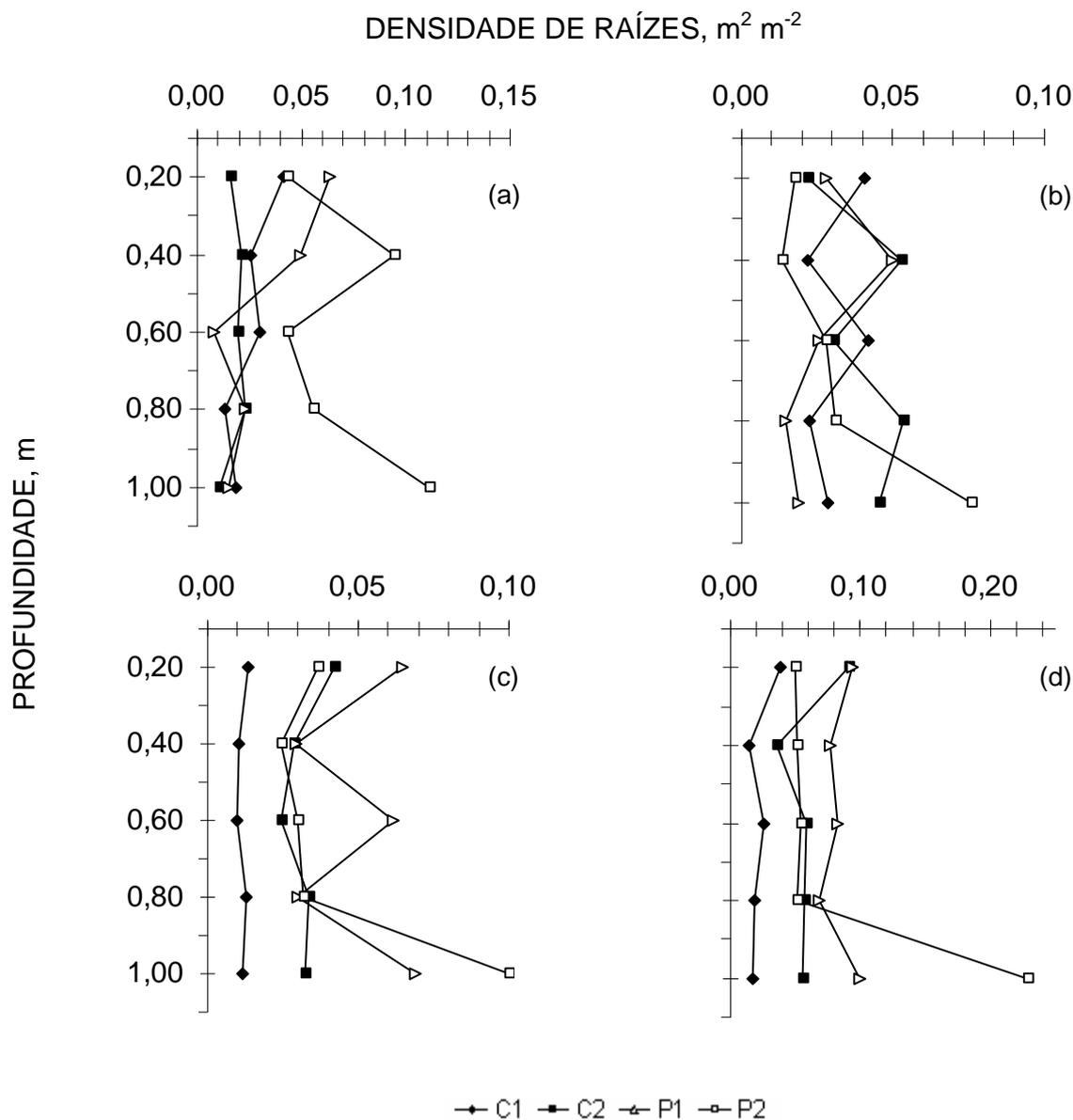
<sup>(1)</sup> C1 = controle do mato com capinas nas linhas dos citros; C2 = gradagens nas entrelinhas dos citros; P1 = controle do mato com glifosato nas linhas das laranjeiras e P2 = cobertura do solo com feijão-de-porco nas entrelinhas dos citros. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O sistema radicular da combinação laranja 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' apresentou uma distribuição irregular no perfil do solo (Figura 8). Verificou-se uma diminuição na densidade de raízes com o aumento da profundidade até 0,40 m, no sistema de manejo C1 em todas as distâncias avaliadas, como esperado, onde o horizonte coeso dos solos de Tabuleiros Costeiros apresenta elevada densidade do solo e baixa macroporosidade, o aumento da resistência do solo à penetração de raízes tem efeito marcante na distribuição das raízes das plantas cultivadas (Santana et al., 2006). Resultados semelhantes foram observados por Cintra et al. (1999) em estudos de distribuição do sistema radicular de citros. Em P1 essa redução ocorreu em todas as distâncias com exceção de 1,00 m de afastamento da planta (Figura 8b), porém nesse manejo do solo os valores da densidade de raízes mantiveram-se superiores aos observados no tratamento C1, principalmente à medida que o sistema radicular se afasta do tronco da planta.

Para os sistemas de manejo do solo nas entrelinhas do pomar as raízes se comportaram da seguinte maneira: no tratamento C2 à medida que aumenta a distância entre o sistema radicular das plantas e o seu tronco (Figura 8, c e d) a densidade de raízes tende a diminuir até uma profundidade média de 0,40 m. Tal condição pode ser explicada pela influencia negativa da coesão do solo no aprofundamento do sistema radicular da planta cítrica conforme relatos de Cintra & Libardi (1998); Rezende (2000); Souza et al. (2002) e Santana et al. (2006). O efeito da gradagem no corte das radículas é outro fator que pode contribuir para redução do sistema radicular de citros segundo Caetano (1980), vez que, a compactação superficial causada pelo tráfego de máquinas afeta, diferencialmente, a forma e a distribuição do espaço poroso do solo (Lima et al., 2005).

Essa tendência, de baixa densidade de raízes, nos tratamentos C1 e C2 mantém-se à medida que aumenta a profundidade do solo. Esse menor desenvolvimento do sistema radicular nos manejos convencionais (C1 e C2) pode ser atribuído a difícil recuperação das raízes, devido ao estresse ao qual foram submetidas ao passar pela barreira de impedimento determinada pela camada coesa, tendo esse esforço provocado maior gasto de fotoassimilados (Masle & Farquhar, 1988).

No manejo P2 houve uma redução na densidade das raízes, nas distâncias de 1,00 e 1,50 m e, na profundidade de 0,40 m (Figura 8, b e c) com satisfatória recuperação do desenvolvimento das raízes em profundidade destacando-se a camada do solo de 0,80 a 1,00 m, onde o sistema radicular das plantas de laranjeira 'Pêra' sobre limoeiro 'Volkameriano' atingiu suas densidades máximas para todas as distâncias do tronco (Figura 8). Realmente o crescimento radicular pode ocorrer de uma forma compensatória, com maior ocorrência de raízes em regiões do solo mais propícias ao seu crescimento em relação a locais que apresentam restrições conforme verificaram Neves et al. (1998).



**Figura 8.** Distribuição das raízes em profundidade para quatro distâncias horizontais do tronco da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limão ‘Volkameriano’ sob quatro tratamentos. C1 = controle do mato com capinas nas linhas dos citros; C2 = gradagens nas entrelinhas dos citros; P1 = controle do mato com glifosato nas linhas das laranjeiras e P2 = cobertura do solo com feijão-deporco nas entrelinhas dos citros.

Nos sistemas de manejo propostos (P1 e P2) a quebra do impedimento físico ao crescimento radicular pela ação da subsolagem no preparo inicial do solo juntamente com a leguminosa feijão-de-porco, como cobertura vegetal, promoveu maior aprofundamento das raízes. Carvalho et al. (1999) também constaram a influência positiva da utilização do feijão-de-porco associado a uma subsolagem na distribuição em profundidade do sistema radicular da laranjeira 'Pêra', enquanto Anjos (2006) constatou que o sistema de manejo do solo com feijão de porco na presença de subsolagem proporciona maior comprimento total e aprofundamento do sistema radicular dos citros.

Essa tendência de ampliação do sistema radicular da laranjeira no sistema P2 foi visivelmente observada no campo em profundidades até 1,50 m, concordando com relato de Oliveira (1991) sobre solos profundos e sem camadas de impedimento. Observação esta que instiga estudos futuros sobre o desenvolvimento radicular de citros em solos de Tabuleiros Costeiros com preparo inicial utilizando subsolagem e manejo das entrelinhas do pomar com cobertura vegetal de sistema radicular vigoroso.

## CONCLUSÕES

1. O sistema de manejo com subsolagem no preparo inicial do solo mais cobertura vegetal de feijão-de-porco nas entrelinhas do pomar promoveu maior desenvolvimento das raízes das laranjeiras.

2. O manejo de cobertura vegetal no controle integrado de plantas infestantes associado a subsolagem no preparo inicial do solo proporcionou aumento na distância e profundidade do sistema radicular da laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Volkameriano' cultivada em Latossolo Amarelo Coeso.

**LITERATURA CITADA**

- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. *R. Ceres.*, 44:421-431, 1997.
- ANGHINONI, I. & MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: **WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS**, 1., Aracaju, 1999. Anais. Aracaju: EMBRAPA, 1999. p.57- 87.
- ANJOS, J.L.dos. Sistemas de manejo de um Argissolo dos tabuleiros costeiros de Sergipe cultivado com citros. 2006. 95f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2006.
- BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. *Soil Sci.*, 78:205-210, 1954.
- BÖHM, W. *Methods of studying root systems*. Berlin Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; AIDA, F.T.; SOUZA, W.R.; DAVOGLIO JUNIOR, A.C.; FURLANETO, T.L.R. & TAVARES FILHO, J. Sistema radicular de plantas cítricas e atributos físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido a escarificação. *Ci. Rural*, 35:304-314, 2005.
- CAETANO, A. A. Tratos culturais. In: RODRIGUEZ, O. & VIÉGAS, F. coord. *Citricultura brasileira*. Campinas, São Paulo, Fundação Cargill, v.2, 1980. p.442-466.
- CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L. da S.; JORGE, L.A. de C.; RAMOS, W.F.; NETO, A. de O.C.; ARAUJO, A.M. de A.; LOPES, L.C. & JESUS, M.S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pêra'. *R. Bras. Fruticultura*, 21:140-145, 1999.
- CINTRA, F.L.D. & NEVES, C.S.V.J. Aspectos metodológicos do estudo do sistema radicular de plantas perenes através de imagens. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 21:91-94, 1996.
- CINTRA, F.L.D. & LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. *Sci. Agricola*, 55:367-378, 1998.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. & JORGE, L.A.C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistemas de Tabuleiro Costeiro. *R. Bras. Fruticultura*, 21:313-317, 1999.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FRACARO, A.A. & PEREIRA, F.M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira 'Rica' produzida a partir de estaquia herbácea. *Rev. Bras. Fruticultura*, 26:183-185, 2004.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da; SOUZA, L. da S. & RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento "hardsetting": estudo de caso. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:239-247, 2001.
- JORGE, L.A. de C. & CRESTANA, S. SIARCS 3.0: Novo aplicativo para análise de imagens, aplicado a Ciência do Solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, EMBRAPA, 1996. CD-ROM.
- LIMA, H.V. de; LIMA, C.L.R.de; LEÃO,T.P.; COOPER, M.; SILVA, A.P.da & ROMERO, R.E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:325-334, 2005.
- LOGSDON, S.D. ALLMARAS, R.R.; WU, L.; SWAN, J.B. & RANDALL, G.W. Macroporosity and its relation to saturated hydraulic conductivity under different tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1096-1101, 1990.
- MASLE, J. & FARQUHAR, G.D. Effectes of soil strenght on the relation of water-use efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. *P. Physicol.*, 86:32-38, 1988.
- MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; PEREIRA, H.S.; MENEZES, G.M. & TAGLIARINI, C.H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendações de manejo. *Laranja*, 15:263-275, 1994.
- NEVES, C.S.V.J.; DECHEN, A.R.; FELLER, C.; SAAD, O. J.G.A. & PIEDADE, S.M. de S. Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira 'Poncã' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' em Latossolo Roxo. *R. Bras. Fruticultura*, 20:246-253, 1998.
- NEVES, C.S.V.J.; MURATA, I. M.; STENZEL, N.M.C.; MEDINA, C.C.; BORGES, A.V.; OKUMOTO, S.H.; LEE, R.H.C. & KANAI, H.T. Root distribution of rootstocks for 'Tahiti' lime. *Sci. Agricola*, 61:94-99, 2004.
- OLIVEIRA. J.B. Solos para citros. RODRIGUES, O.; VIÉGAS, J.; POMPEO JÚNIOR, J. & AMARO, A.S. (Ed.) *Citricultura brasileira*, 2 ed. Campinas, fundação Cargill, 1991. v.1,p. 196-227.

- OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. R. Bras. Ci. Solo, 27:211-222, 2003.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Palestras... Ribeirão Preto /SP: Agromidia, 2003.1 CD-ROM.
- REZENDE, J. de O. Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117p. il. (Séries Estudos Agrícolas, 1).
- REZENDE, J. de O.; MAGALHÃES, A.F. de J.; SHIBATA, R.T.; ROCHA, E.S.; FERNANDES, J.C.; BRANDÃO, F.J.C. & REZENDE, V.J.R.P. Citricultura nos Solos dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões. Salvador, Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2002. 97p.
- SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D. & FONTES L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 30:1-12, 2006.
- SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V. & RIBEIRO, L.S. Densidade de raízes de citros em pomar implantado em uma topossequência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. Resumos. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2002. p.53.
- SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S. & LEDO, C.A.S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. R. Bras. Fruticultura, 26:69-73, 2004.
- SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/sei/frame\\_tabela.wsp?tmp.volta=sg6&tmp.tabela=t79](http://www.sei.ba.gov.br/sei/frame_tabela.wsp?tmp.volta=sg6&tmp.tabela=t79)> Acesso em 15 out. 2005.
- WEISEL, T.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U. Plant roots; the hidden half. New York: Marcel Dekker, 1991. 948p.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da qualidade do solo tem sido estudada por diversos autores com a finalidade de estabelecer um índice que possibilite o monitoramento dos impactos dos sistemas de manejo sobre os solos.

A determinação do índice de qualidade para o Latossolo Amarelo Coeso possibilita a identificação de pontos limitantes ao desenvolvimento da laranjeira 'Pêra' sob limoeiro 'VolKameriano', tais como: as limitações nas funções crescimento radicular em profundidade e condução e armazenamento de água, devendo-se priorizar ações que permitam reduzir a resistência à penetração radicular e a densidade do solo, a exemplo da subsolagem como uma forma de romper a camada coesa dos Tabuleiros Costeiros possibilitando melhor desenvolvimento e aprofundamento das raízes das laranjeiras.

Considerando-se que a manutenção de resíduos de coberturas vegetais elevam os teores de matéria orgânica do solo e a estabilidade dos agregados, além de promover a formação de bioporos, recomenda-se o aumento da permanência desses resíduos no solo, a exemplo do uso de coberturas vegetais com leguminosas e gramíneas buscando sistemas de manejo que possibilitem melhorias na qualidade dos solos para o desenvolvimento das raízes dos citros.

Da mesma forma a valoração do IQS, juntamente com as informações resultantes da determinação dos indicadores de qualidade do solo e da avaliação do sistema radicular das plantas podem ser usadas na tomada de decisões no manejo visando à obtenção de adequadas produções pelas plantas.