

IMPACTO DO CULTIVO DE CITROS SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DE UM ARGISSOLO AMARELO EM SERGIPE¹

DANIELLE VIEIRA GUIMARÃES², MARIA ISIDÓRIA SILVA GONZAGA^{*3}, ELOÁ MOURA ARAÚJO⁴, JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO⁵, JOSÉ ILMAR TÍNEL JÚNIOR⁶

RESUMO - O uso agrícola do solo em perímetros irrigados requer um constante monitoramento, sobretudo de sua qualidade física, devido às importantes funções relacionadas com o armazenamento e distribuição da água no solo, com o fluxo de oxigênio e com o crescimento radicular. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do cultivo de citros, em condições irrigadas, na qualidade física de um Argissolo Amarelo, através da determinação da distribuição do tamanho de poros, densidade do solo e retenção de água, no perímetro irrigado Platô de Neópolis, Sergipe. Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,30 m e 0,30-0,50 m, com três repetições, em uma área de 15 ha cultivada com citros. O mesmo solo sob mata nativa também foi avaliado como referência de qualidade. Houve redução na porosidade total, na macroporosidade e na quantidade de água disponível no solo da área de cultivo de citros, o que reflete diretamente no desenvolvimento e produtividade da cultura. Essas informações são importantes também para um melhor manejo da irrigação, pois interfere na quantidade e na frequência de rega. A avaliação do solo sob mata nativa foi eficiente em mostrar a magnitude das modificações causadas no solo pela mudança no tipo de uso.

Palavras-chave: Água do solo. Estrutura. Degradação do solo. Indicadores de qualidade.

SOIL PHYSICAL QUALITY OF A YELLOW ULTISOL UNDER CITRUS CULTIVATION IN SERGIPE

ABSTRACT - Agricultural use of soil resources under irrigated conditions requires constant monitoring of the soil quality attributes due to important soil functions related to soil water storage and distribution, aeration and root growth. The present study aimed to evaluate the impact of citrus cultivation, under irrigated conditions, on the physical quality of a Yellow Ultisol through determination of soil pore size distribution, bulk density and soil water retention, in the Neópolis flat land irrigated perimeter, Sergipe. Soil core samples were collected from the 0-0,10 m, 0,10-0,30 m and 0,30-0,50 m layers, with three replications, in a 15 ha citrus orchard. The same soil type under native forest was also evaluated as a reference of soil quality. It was observed reduction in soil total porosity, macroporosity as well as available water as a function of citrus cultivation. Such alterations in soil physical quality influence negatively root development and plant productivity and also call attention to the need of soil quality monitoring as well as best irrigation management practices. Evaluation of soil quality under native forest was efficient in showing the magnitude of soil alterations as a result of changing in soil use.

Keywords: Soil water. Structure. Soil degradation. Soil quality indicators.

^{*} Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 10/04/2012; aceito em 18/06/2014.

²Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras-MG; danyvguimaraes@hotmail.com

³Departamento de Agronomia, UFS, Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000 - São Cristóvão-SE; mariaisilva@gmail.com

⁴Departamento de Solos, USP-Esalq, Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13418-260, Piracicaba-SP. eloama_@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras-MG; joseneto_86@hotmail.com

⁶Departamento de Ciências Florestais, UFS, Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000 - São Cristóvão-SE; jrtinel@gmail.com

INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas geram modificações nos atributos do solo, principalmente aqueles relacionados à estrutura e a capacidade de armazenamento de água, podendo comprometer de modo negativo a qualidade do meio edáfico e a sustentabilidade do seu uso (PEDROTTI; MÉLLO JÚNIOR, 2009). Quando a estrutura do solo é alterada de forma negativa, pode ocorrer redução na produtividade das culturas em razão de mudanças na retenção de água no solo, na difusão do oxigênio e na resistência do solo a penetração das raízes.

Em perímetros irrigados, a capacidade de armazenamento de água do solo é um fator de grande importância para o aproveitamento eficiente da água de irrigação pelas culturas. Porém, o manejo da área, seja na época do plantio ou no decorrer das atividades desenvolvidas durante o ciclo produtivo, deve ser feito de acordo com as condições de umidade do solo, para evitar danos à estrutura (CORRÊA et al., 2009). Além disso, o entendimento das propriedades físico-hídricas do solo é fundamental para a definição de práticas agrícolas adequadas e dimensionamento eficiente dos sistemas de irrigação e drenagem (CINTRA et al., 2004).

De acordo com Tofanelli et al. (2011), solos que possuem uma boa estrutura, estabilidade de agregados e, assim, qualidade física ideal são favoráveis para o crescimento vegetal, nestas condições o solo tende a apresentar balanço adequado de macro e microporos, boa aeração e, sobretudo, boa capacidade de retenção de água. Esta última característica pode ser descrita pela relação entre a sucção e a quantidade de água armazenada no solo e expressa o quanto de água um solo pode armazenar. A capacidade de retenção é avaliada por meio da curva de retenção de água no solo, que é utilizada de modo essencial para descrever o comportamento dos solos não saturados, além de prever e quantificar importantes funções como condutividade hidráulica.

No estado de Sergipe, muitas áreas com alto potencial de cultivo não são usadas para este fim devido ao déficit hídrico. Como alternativa, o estado investiu em áreas irrigadas como o platô de Neópolis; entretanto, a escassez de informações sobre as características físico-hídricas relacionadas à qualidade do solo é uma limitação para melhor desenvolvimento da área (FONSECA et al., 2007).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de citros, tendo a região nordeste como significativa colaboradora para elevação desta produtividade. Entretanto, um fator limitante para o cultivo de citros na região é a baixa precipitação média anual, a qual pode comprometer a produtividade dos pomares. O estresse hídrico pode favorecer o florescimento de laranjeiras, mas essa condição é benéfica por um curto intervalo de tempo, podendo comprometer o desenvolvimento e a produção de frutos caso a restrição hídrica persista (FIDALSKI et al., 2006; RIBEI-

RO et al., 2006; CASTRO et al., 2001). Diante do exposto, a cultura de citros sob condições irrigadas requer um monitoramento mais freqüente das propriedades do solo, pois o manejo inadequado pode causar impacto negativo.

Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do cultivo de citros, em condições irrigadas, na qualidade física de um Argissolo Amarelo, tendo como referência a mata nativa adjacente. Para a realização do estudo fez-se uso de parâmetros físico-hídricos, como distribuição do tamanho de poros, densidade do solo e retenção de água, no perímetro irrigado Platô de Neópolis, Sergipe.

MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em duas áreas (uma cultivada com citros e a outra sob vegetação nativa, um fragmento da Mata Atlântica) localizadas no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE, cujas coordenadas geográficas são: latitude 10° 19' 12"S, longitude 36° 34' 46"W. O clima da região, segundo a classificação de Koppen-Geiger (PEEL et al., 2007), é tropical chuvoso, com verão seco e precipitação pluvial em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro. A altitude é de aproximadamente 90 m e os solos são, em sua maioria, classificados como Argissolos Amarelos distróficos (EMBRAPA, 2006), textura arenosa/média, relevo plano a suave ondulado. Por se tratar de um solo de Tabuleiros costeiros, a alta coesão é uma característica relevante.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, com dois tipos de uso do solo e três profundidades. Cada área foi dividida em três subáreas e amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,30 m e 0,30-0,50 m, com três repetições por subárea, utilizando-se o amostrador tipo Uhland, com anéis de 5,2 cm de diâmetro e 2 cm de altura. A primeira área corresponde a solo sob cultivo de citros, o qual não é empregado manejo conservacionista e o solo permanece sem cobertura vegetal por longos períodos. O controle de invasoras é feito através de roçagem mecânica e a irrigação é por pivô central. A segunda área amostrada é sob mata nativa, um fragmento de mata Atlântica, utilizada como referência por se tratar de um ecossistema em equilíbrio.

Para a determinação da porosidade total, macro e microporosidade, as amostras indeformadas foram saturadas com água destilada durante 24 h, pesadas e levadas à mesa de tensão sob uma tensão de 6 kPa. Após atingirem o equilíbrio na mesa de tensão, as amostras foram novamente pesadas (macroporosidade) e levadas à estufa para secar a 105 °C (microporosidade). A densidade do solo foi determinada pela relação entre a massa do solo seco à 105 °C e o volume total do solo (volume do anel)

(EMBRAPA, 1997).

Para a construção das curvas de retenção de água no solo, as amostras indeformadas foram submetidas a pressões de 1; 6; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa. Para tensões de 1 a 6 kPa, foi utilizada a mesa de tensão. As tensões de 10; 33 e 100 kPa foram aplicadas nas Câmaras de Richards de baixa tensão, enquanto as tensões de 500 e 1500 kPa foram aplicadas nas Câmaras de Richards de altas tensões. O ajuste das curvas de retenção foi feito através da equação de Van Genuchten (1980), utilizando o programa desenvolvido por Dourado-Neto (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a textura do solo seja considerada um atributo intrínseco e pouco sujeito às alterações cau-

sadas pelo manejo, o conhecimento das proporções de partículas por tamanho é fundamental para o entendimento da natureza e do comportamento físico-hídrico do solo, e influencia de forma expressiva as propriedades do solo que mudam facilmente com o manejo. Assim, tendo como referência o solo sob mata nativa, em estado natural, observa-se que o uso do solo para o cultivo de citros promoveu perdas de partículas na camada superficial (0,0-0,10 m) (Tabela 1), evidenciado pela mudança na classificação textural da primeira para a segunda camada avaliada no solo sob o cultivo de citros. Nota-se, no entanto, que, apesar do aumento da fração argila em profundidade, característica desse tipo de solo, predomina o caráter arenoso e certa homogeneidade textural, como foi também observado por Cintra et al. (2004) avaliando o mesmo tipo de solo, porém cultivado com coqueiro.

Tabela 1. Classificação textural do solo cultivado com citros e sob mata nativa, no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE.

Tipo de uso	Prof.(m)	-----g kg ⁻¹ -----			Classificação textural
		Areia	Silte	Argila	
Citros	0,0-10	833	56,7	108	Areia Franca
	0,10-0,30	801	65,1	133	Franco Arenoso
	0,30-0,50	759	59,6	180	Franco Arenoso
Mata	0,0-10	856	102	42,2	Areia Franca
	0,10-0,30	844	101	55,3	Areia Franca
	0,30-0,50	798	82,3	120	Franco Arenoso

Como pode ser observado na Tabela 2, a porosidade total do solo sob citros reduziu em torno de 25% ao longo do perfil quando comparado com o solo sob mata, resultado da redução da macroporosidade com conseqüente aumento da densidade do solo. A redução da porosidade total implica na menor capacidade de armazenamento de água no solo e, juntamente com a diminuição da macroporosidade, resultam em menor fluxo de gases, afetando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Esse impacto do cultivo de citros na qualidade física do solo é causado principalmente pelas operações de roçagem para controle de plantas invasoras que cau-

sam compactação do solo bem como o tráfego de máquinas e equipamentos de colheita (FIDALSKI et al., 2007), conforme observado na área de estudo. Klein e Camara (2007) afirmam que a compactação do solo gera redução da porosidade de aeração, variação na umidade e altera negativamente a disponibilidade de nutrientes para a planta. Adicionalmente, os ciclos de umedecimento e secagem, comum em áreas irrigadas, provocam reestruturação das partículas e alteram os agregados. Segundo Cardoso et al. (2011), estes ciclos favorecem a formação de camadas compactadas e conseqüente aumento de densida-

Tabela 2. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo cultivado com citros e sob mata nativa, no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE.

Tipo de uso	Prof.(m)	-----m ³ m ⁻³ -----			Densidade do solo (Kg dm ⁻³)
		Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade	
Citros	0,0,10	0,36	0,23	0,13	1,67
	0,10-0,30	0,31	0,18	0,13	1,63
	0,30-0,50	0,33	0,19	0,14	1,63
Mata	0,0,10	0,47	0,16	0,31	1,51
	0,10-0,30	0,42	0,15	0,27	1,62
	0,30-0,50	0,42	0,15	0,27	1,65

O maior efeito do manejo foi observado no aumento da densidade do solo na camada superficial, de $1,51 \text{ kg dm}^{-3}$ no solo sob mata (compatível com a densidade de solos arenosos) para $1,67 \text{ kg dm}^{-3}$ no solo sob citros. No solo sob mata, o aumento da densidade do solo em profundidade é mais nítido e está também relacionado com o caráter coeso desse tipo de solo dos tabuleiros. Outro fator que contribuiu para o aumento da densidade na camada superficial do solo no pomar de citros, além do efeito do manejo

com máquinas, foi a ausência de cobertura vegetal morta em virtude tanto da característica perenifolia da cultura quanto pela falta de adubação orgânica no manejo empregado, reduzindo assim o teor de matéria orgânica disponível no solo, como pode ser observado na Tabela 3. Ferreira e Dias Júnior (2001) afirmam que a matéria orgânica atua no processo de agregação do solo, agindo como agente cimentante e mantendo a estabilidade dos agregados, deste modo a matéria orgânica influencia na densidade do solo.

Tabela 3. Matéria orgânica do solo cultivado com citros e sob mata nativa, no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE.

Tipo de Uso	MOS (g Kg^{-1})	
	0,0-0,10 m	0,10-0,30 m
Citrus	13,05	6,55
Mata Nativa	21,14	10,48

A densidade é um dos melhores indicadores de qualidade física do solo, pois reflete prontamente as alterações causadas pelo manejo (DEXTER, 2004), além de facilitar a percepção do grau de compactação do solo. Cintra et al. (2004) e Fonseca et al. (2007), avaliando parâmetros físico-hídricos em alguns lotes cultivados com frutíferas, no Platô de Neópolis, encontraram valores de densidade do solo ($1,63 - 1,69 \text{ kg dm}^{-3}$) semelhantes aos apresentados neste trabalho, o que confirma o efeito deletério do manejo no perímetro irrigado.

As curvas características de retenção de água do solo no pomar de citros e na mata nativa, em diferentes profundidades, estão apresentadas na Figura 1 (a, b e c), e são típicas de solos arenosos, com inflexão mais acentuada (DEXTER, 2004), mostrando que o aumento do potencial matricial em determinado ponto provoca rápido esvaziamento de poros e menor quantidade de umidade que permanece no solo. Observa-se ainda que, no solo sob mata, as curvas de retenção, em todas as profundidades, refletem melhor estrutura do solo, principalmente pela maior quantidade de matéria orgânica associada ao não revolvimento do solo. Já no solo sob cultivo de citros, observa-se uma maior horizontalização das curvas, principalmente nas camadas subsuperficiais, mostrando que, quando submetido aos mesmos potenciais mais baixos ($< 6 \text{ kPa}$), o solo sob citros tem menor capacidade de armazenamento de água que o solo sob mata. Isso pode ser explicado pela menor porosidade total, macroporosidade e menor quantidade de matéria orgânica do solo sob citros.

O maior efeito do manejo na qualidade física do solo é observado nas tensões mais baixas da curva de retenção de água, onde predomina a influência da

porosidade estrutural, mais vulnerável ao manejo (MURRAY; GRANT, 2007). Sabe-se também que processos como armazenamento e circulação de água no solo são regulados pela sua estrutura, deste modo a capacidade de retenção de água tem estreita relação com a textura e agregação do solo, sendo estes influenciados pela disponibilidade de matéria orgânica (BRONICK; LAL, 2005).

A própria prática da irrigação pode alterar a estrutura do solo. Cockroft e Olsson (2000) identificaram endurecimento progressivo e perda de porosidade em pomares irrigados mesmo onde não havia tráfego de máquinas e em solo contendo agregados estáveis em água. Presley et al. (2004) observaram movimentação de partículas de argila no perfil do solo sob 30 anos de irrigação por pivô central.

Informações sobre mudanças na estrutura do solo são de grande relevância para o manejo da irrigação em sistemas agrícolas, pois irá influenciar na quantidade de água a ser aplicada e na frequência de aplicação. A inobservância dessas modificações na qualidade física do solo em áreas sob irrigação leva a gastos desnecessários dos recursos hídricos e, sobretudo provoca perdas de solos e de insumos (ARTIGÃO et al., 2002).

O impacto negativo do cultivo de citros também foi verificado na quantidade de água disponível às plantas (Tabela 4), representada pela diferença entre a umidade retida à tensão de 10 kPa , correspondente à capacidade de campo (CC), e a umidade retida à tensão de 1500 kPa , correspondente ao ponto de murcha permanente. Com relação à mata nativa, o solo sob citros reduziu em torno de 15% a quantidade de água disponível (AD), na camada superficial.

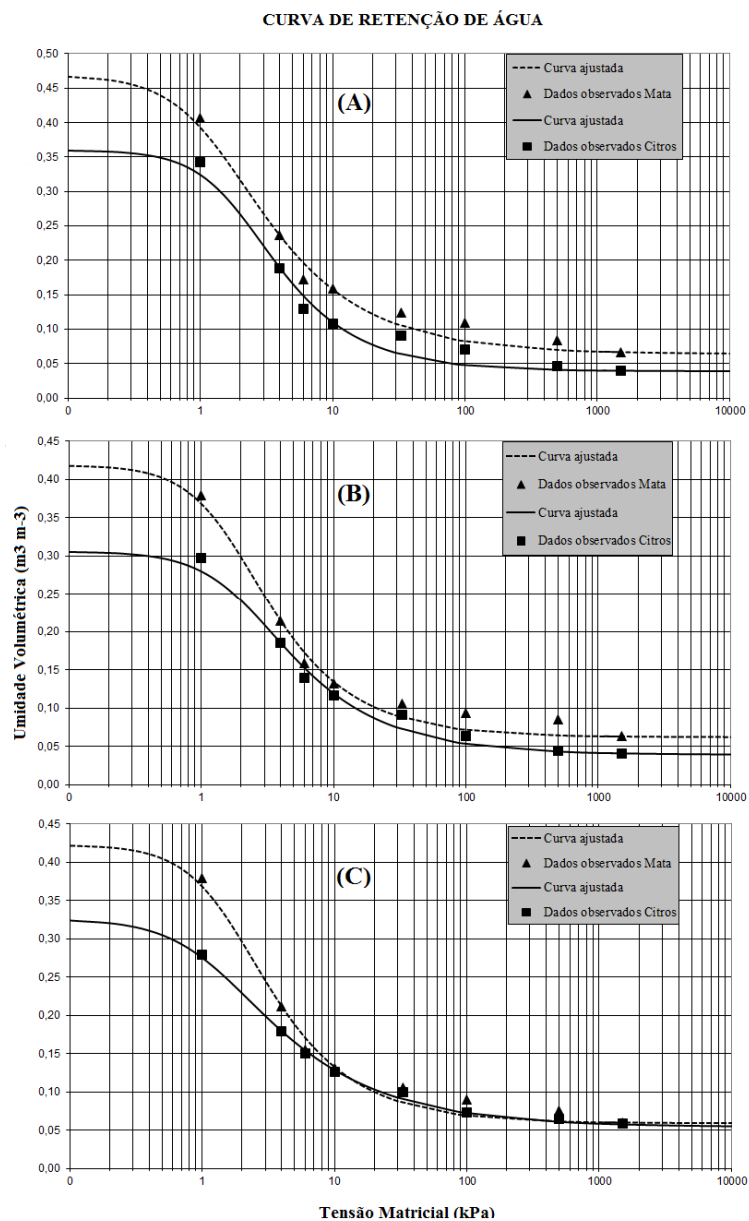


Figura 1. Curvas de retenção de água nas profundidades de 0,0-0,10 m (a), 0,10-0,30 m (b) e 0,30-0,50 m (c) em solo sob cultivo de citros e solo sob mata nativa, no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE.

Tabela 4. Parâmetros físico-hídricos em solo cultivado com citros e sob mata nativa, no Distrito irrigado Platô de Neópolis, SE.

Tipo de uso	Prof. (m)	CC	PMP	AD	CAD
			$m^3 m^{-3}$		$(Kg dm^{-3})$
Citros	0,0-0,10	0,1103	0,0398	0,0705	0,011774
	0,10-0,30	0,1193	0,0409	0,0784	0,025558
	0,30-0,50	0,1297	0,0576	0,0721	0,023505
Mata	0,0-0,10	0,1581	0,1581	0,0668	0,0913
	0,10-0,30	0,1347	0,1347	0,0629	0,0718
	0,30-0,50	0,1328	0,1328	0,06	0,0728

CC: umidade do solo em capacidade de campo; PMP: umidade do solo em ponto de murcha permanente; AD: água disponível e CAD: capacidade de água disponível.

CONCLUSÕES

A utilização do Argissolo Amarelo para o cultivo de citros no Distrito Irrigado Platô de Neópolis resultou em mudanças negativas na qualidade física do solo em razão da redução da porosidade total e da macroporosidade, da quantidade de água disponível e aumento da densidade do solo na camada superficial, onde é mais intenso o efeito das práticas de manejo; Recomenda-se a prática de manejo conservacionista, como manutenção da cobertura vegetal na entrelinha.

A avaliação do solo sob mata nativa, como área de referência, mostrou ser uma estratégia eficiente para determinar a amplitude das mudanças provocadas pelo manejo em áreas agrícolas e possibilita o monitoramento dos processos de degradação.

REFERÊNCIAS

ARTIGÃO, A. et al. The impact of irrigation application upon soil physical degradation. In Castilla-La Mancha (Spain). **Advances in Geocology**, v. 35, n. 1, p. 83-90, 2002.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CARDOSO, L. E. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.

CASTRO, P. R. C. et al. Fisiologia da produção dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 26-38, 2001.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 45-50, 2004.

COCKROFT, B.; OLSSON, K. A. Degradation of soil structure due to coalescence of aggregates in no-till, no-traffic beds in irrigated crops. **Australian Journal Soil Research**, v. 38, n. 1, p. 61-70, 2000.

CORRÊA, R. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter,

and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.

DOURADO-NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do solo**. Lavras: Editora UFLA/FAEPE. 2001. 117 p.

FIDALSKI, J. et al. Produção de laranja com plantas de cobertura permanente na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 927-935, 2006.

FIDALSKI, J. et al. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um latossolo vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007.

FONSÊCA, M. H. P. et al. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 368-373, 2007.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

MURRAY, R. S.; GRANT, C. D. **The impact of irrigation on soil structure**. Ed. National Program for Sustainable Irrigation. 2007, 31 p.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world Köppen-Geiger climate classification map. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em Ciência do Solo: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. 1. ed. São Cristóvão: Editora UFS, 2009. v. 1. 212 p.

PRESLEY, D. R. et al. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semi-arid soils in Kansas. **Soil Science Society of Ameri-**

can Journal, v. 68, n. 6, p. 1916-1926. 2004.

RIBEIRO, R. V. Ocorrência de condições ambientais para indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 247-253, 2006.

TOFANELLI, M. B. D. ; SILVA, T. O. **Manejo Ecológico e Conservação dos Solos e da Água no Estado de Sergipe**. São Cristóvão: UFS, 2011. 358 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.