

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA LARANJEIRA ‘PÊRA’ AOS SISTEMAS DE MANEJO DE COBERTURA PERMANENTE DO SOLO NAS ENTRELINHAS⁽¹⁾

Jonez Fidalski⁽²⁾ Celso Jamil Marur⁽³⁾ & Cássio Antonio Tormena⁽⁴⁾

RESUMO

A presença de plantas de cobertura permanente nas entrelinhas dos pomares pode comprometer a absorção de água e a fisiologia das laranjeiras. O objetivo deste estudo foi caracterizar as relações entre as variáveis fisiológicas das folhas das laranjeiras e o teor de água de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média em sistemas de cobertura permanente do solo na entrelinha com gramínea “grama mato-grosso” ou “batatais” (*Paspalum notatum*), leguminosa amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*) e vegetação espontânea. O estudo foi realizado em um experimento de laranjeira ‘Pêra’, instalado em 1993, em Alto Paraná, no noroeste do Paraná. Entre 1999 a 2002, foram realizadas determinações do teor de água em camadas de solo estratificadas em 10 e 20 cm até 1 m de profundidade no centro da entrelinha e no limite da projeção da copa das laranjeiras, complementadas com medidas da taxa de fotossíntese, da condutância estomática e do potencial da água das folhas das laranjeiras. As respostas fisiológicas das folhas da laranjeira ‘Pêra’ apresentaram dependência específica aos teores de água das camadas de solo e dos sistemas de manejo da cobertura permanente nas entrelinhas. A condutância estomática das folhas da laranjeira dependeu dos teores de água da camada subsuperficial de textura média manejada com a leguminosa no centro da entrelinha. O potencial da água nas folhas da laranjeira mostrou-se dependente dos teores de água do solo na camada superficial arenosa sob o manejo da gramínea no centro da entrelinha e no limite da projeção da copa das laranjeiras. A manutenção das entrelinhas vegetadas com a gramínea no horizonte superficial arenoso aumentou a disponibilidade de água para as laranjeiras.

Termos de indexação: fotossíntese, condutância estomática, potencial da água da folha, análise de trilha, água do solo, manejo do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Programa de Pós-graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Recebido para publicação em junho de 2006 e aprovado em março de 2008.

⁽²⁾ Pesquisador da Área de Solos do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR. Caixa Postal 564, CEP 87701-970 Paranavaí (PR). E-mail: fidalski@iapar.br

⁽³⁾ Pesquisador da Área de Ecofisiologia, IAPAR. Caixa Postal 481, CEP 86001-970 Londrina (PR). E-mail: cjmarur@iapar.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Av. Colombo 5790, CEP 87020-900 Maringá (PR). Bolsista do CNPq. E-mail: catormena@uem.br

SUMMARY: PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF ORANGE TREES TO PERMANENT GROUND COVER VEGETATION TYPES

*The presence of a groundcover in-between tree rows in orange orchards can affect the water uptake and physiology of the orange trees. The objective of this study was to characterize the relationships between the physiological variables of orange leaf and soil water content in a Paleudults in groundcover management systems with bahiagrass (*Paspalum notatum*), leguminous perennial peanut (*Arachis pintoii*) and spontaneous vegetation. The study was performed in an experimental "Pêra" orange orchard established in 1993 in Alto Paraná, northwestern Paraná state, Brazil. From 1999 to 2002, the soil water content was determined in stratified soil layers up to the 1.00 m depth in-between the tree rows and within the canopy projection. The photosynthesis rate, stomatal conductance and leaf water potential of Pêra orange trees were also measured. The physiological response of the leaves of the orange trees depended specifically on the content of soil water and type of permanent groundcover vegetation in-between rows. With perennial peanut planted in-between the rows, the stomatal conductance of the orange leaves depended on the water content of the subsurface sandy clay loam soil layer. Under bahiagrass groundcover, the leaf water potential depended on the content of soil water in the sandy surface horizon in-between the rows and within the canopy projection. Bahiagrass groundcover on the sandy surface horizon increased water availability for the orange trees.*

Index terms: photosynthesis, stomatal conductance, leaf water potential, path analysis, soil water, soil management.

INTRODUÇÃO

As conseqüências da erosão de solos desenvolvidos a partir do arenito da Formação Caiuá no noroeste do Paraná, após o preparo convencional do solo em área anteriormente ocupada por pastagens para a instalação dos pomares de laranjeira no final da década de 1980, remeteram ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) o estudo de sistemas de manejo da cobertura permanente nas entrelinhas dos pomares. Paralelamente, havia recomendações internacionais que indicavam a manutenção de vegetação nas entrelinhas manejadas com roçadas e o uso restrito de herbicida nas linhas das plantas (Hogue & Nielsen, 1987; Lipecki & Berbec, 1997).

A proposta de manutenção da cobertura permanente nas entrelinhas com gramínea, leguminosa ou vegetação espontânea confronta com a redução da produção de frutos de laranja decorrente da competição pela água do solo (Pacheco et al., 1975). Avaliações da dinâmica da água em solo com horizonte superficial arenoso mostraram que houve maior consumo de água de acordo com o volume ativo das raízes na camada de 0–60 cm de profundidade sob a projeção da copa de laranjeira (Cruz et al., 2005). Recentemente, em solo arenoso da Florida, Morgan et al. (2006) verificaram a maior concentração de raízes na camada de 0–15 cm de profundidade associada à maior absorção de água em decorrência da depleção de água na entrelinha vegetada com a predominância da gramínea *Paspalum notatum*.

A maior parte dos estudos relativos a avaliações do teor de água no solo em sistemas de manejo tem utilizado abordagens estatísticas univariadas independentes das demais variáveis, consistindo de análise de variância e teste de comparação de médias (Pacheco et al., 1975; Souza et al., 2004; Fidalski et al., 2006). Os estudos de Rocha et al. (2005) e Morgan et al. (2006) são exceções. Rocha et al. (2005) constataram, pelas correlações simples de Pearson, a independência dos teores de argila e de areia na armazenagem de água a 1,10 m de profundidade nas linhas de plantas de laranjeiras. Morgan et al. (2006) estabeleceram relações de dependência da atividade das raízes com a dinâmica da água com as camadas de solo na entrelinha e sob a projeção da copa das laranjeiras.

As relações de causa e efeito entre o teor de água do solo e as variáveis fisiológicas das folhas de laranjeiras com plantas de cobertura permanente na entrelinha dos pomares de laranjeira são desconhecidas. Estas relações poderiam ser descritas matematicamente pela análise multivariada, utilizando-se o método de análise de trilha descrito por Cruz et al. (2004). A aplicação da análise de trilha em cacau revelou que as características físicas do solo explicaram melhor a produtividade dos anos mais secos do que os anos chuvosos e não foi comprovada que a presença de cascalho até à profundidade de 50 cm comprometia a produtividade de cacau (Souza Jr. et al., 1999).

O objetivo deste estudo foi caracterizar as relações entre as variáveis fisiológicas das folhas das laranjeiras

'Pêra' e o teor de água de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média em sistemas de cobertura permanente do solo na entrelinha com gramínea (*Paspalum notatum*), leguminosa (*Arachis pintoi*) e vegetação espontânea.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um pomar de laranjeira 'Pêra' enxertada em limoeiro 'Cravo', plantado, em 1993, no município de Alto Paraná (23 ° 5 ' S, 52 ° 26 ' W e altitude de 480 m), no noroeste do Paraná. Paralelamente às linhas das plantas, foram instaladas diferentes plantas de cobertura permanente na entrelinha do pomar, constituindo os tratamentos estudados. O clima na região é subtropical (Cfa) sem estação seca definida com precipitações anuais de 1.500 mm (IAPAR, 2000). As precipitações pluviométricas mensais do período de 1999 a 2002 (Figura 1) foram obtidas da Estação Meteorológica do IAPAR, localizada na Estação Experimental de Paranaíba, distante 25 km da área experimental.

Para a caracterização física e hídrica do solo, foi feita abertura de uma trincheira de 2 m de profundidade, em 30 de novembro de 2003, na qual foi realizada a identificação morfológica dos horizontes A, AB, B_t e B_w. Amostras deformadas do solo foram utilizadas para análise granulométrica pelo método do hidrômetro (Gee & Or, 2002). No quadro 1, são apresentados os resultados das análises granulométricas e químicas para os respectivos horizontes do solo, que corresponde a um Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média A moderado relevo suave-ondulado (Embrapa, 2006).

No perfil do solo, foram coletadas amostras indeformadas em 17 anéis metálicos (1, 2, 3, 11, respectivamente, nos horizontes A, AB, B_t e B_w) com 5 cm de altura e diâmetro. Em seguida, as amostras foram saturadas em bandejas, mantendo-se uma lâmina de água até dois terços da altura dos anéis. As amostras saturadas foram submetidas aos potenciais mátricos de -10, -20, -40, -60, -80 hPa em uma mesa de tensão (Romano et al., 2002) e aos potenciais de -100, -300, -500, -700, -1.000, -4.000 e -15.000 hPa em câmaras de pressão (Dane & Hopmans et al.; 2002). Depois de atingir equilíbrio hídrico, as amostras foram secas em estufa a ± 105 °C por 24 h e pesadas para a determinação do teor de água e da densidade do solo (Grossman & Reinsch, 2002).

A curva de retenção de água no solo foi ajustada pela equação proposta por van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \{(\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \Psi)^n]^m\} \quad (1)$$

em que Ψ é o potencial mátrico (hPa); θ é o teor de água (kg kg^{-1}); θ_r é o teor de água residual do solo (kg kg^{-1}); θ_s é o teor de água do solo saturado (kg kg^{-1}); e α (hPa^{-1}), n e m são coeficientes empíricos do modelo obtidos no ajuste dos dados. Adotou-se a restrição de Mualem [$m = 1 - (1/n)$], conforme van Genuchten (1980). Os coeficientes de regressão do modelo matemático não-linear foram estimados por meio do método de Gauss-Newton, utilizando-se o procedimento PROC NLIN (SAS, 2001) (Figura 2).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições e três tratamentos de plantas de cobertura permanente. As parcelas experimentais apresentavam 15 plantas, com três linhas no espaçamento 7 x 4 m. Os tratamentos consistiram das plantas de cobertura permanente na entrelinha: (a) gramínea, grama mato-grosso ou grama batatais (*Paspalum notatum*) manejada com roçadas mecânicas quando atingia altura em torno de 30 cm; (b) leguminosa, amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*); (c) vegetação espontânea, manejada com herbicida pós-emergente (Glyphosate) entre 1998 e 2000. O manejo nas linhas das plantas foi feito com capina manual e herbicida.

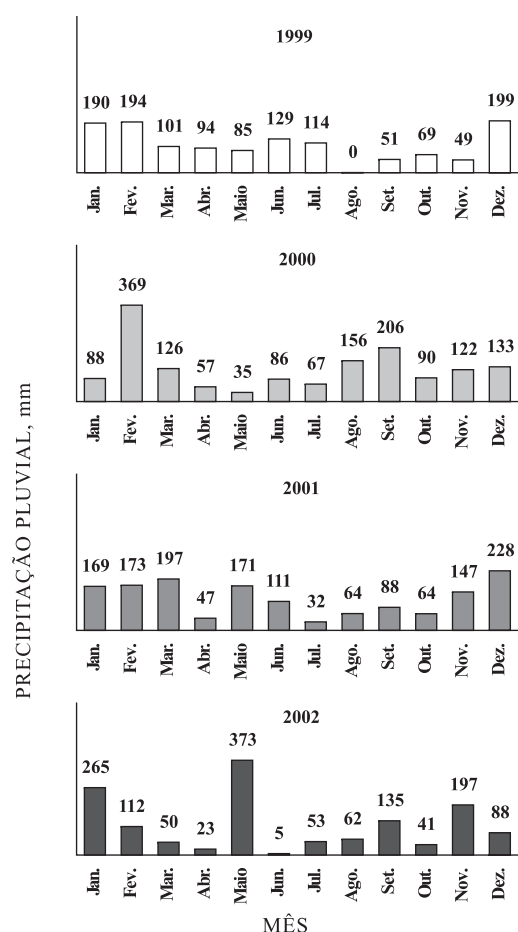


Figura 1. Precipitações pluviométricas mensais durante a condução do experimento (1999-2002).

- Horizonte A e AB (0-25 cm)
 $\theta_s = 0,2383$, $\alpha = 0,0279$; $n = 2,3635$; $\theta_r = 0,0441$, $R^2 = 0,9992$
- △ Horizonte Bt (26-55 cm)
 $\theta_s = 0,2387$, $\alpha = 0,0519$; $n = 1,7078$; $\theta_r = 0,0787$, $R^2 = 0,9996$
- Horizonte Bw (56-200 cm)
 $\theta_s = 0,2289$, $\alpha = 0,0253$; $n = 1,9998$; $\theta_r = 0,0695$, $R^2 = 0,9988$

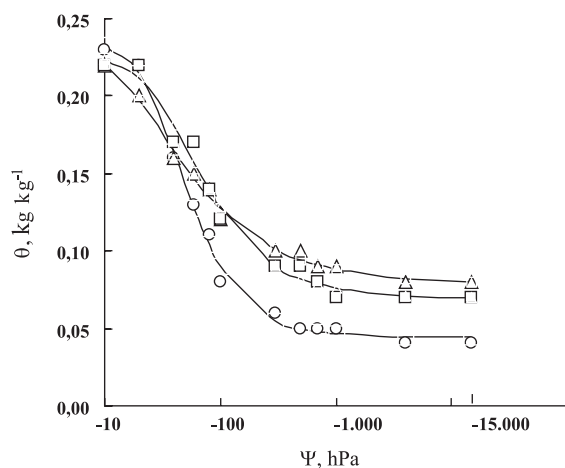


Figura 2. Curvas de retenção de água para diferentes horizontes do Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média.

Quadro 1. Características granulométricas e saturação por bases nos horizontes do Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média

Horizonte	Profundidade cm	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia g kg ⁻¹	V %
A	0-6	90	30	880	60
AB	7-25	70	20	910	25
Bt	26-55	180	20	800	30
Bw	56-200	210	20	770	17

As avaliações do teor de água do solo e das variáveis fisiológicas das laranjeiras 'Pêra' foram efetuadas na planta central de cada parcela experimental, em dois períodos distintos: (a) primeiro período (20/8/1999, 1/9/1999, 24/11/1999 e 5/4/2000); e (b) segundo período (23/5/2002, 18/7/2002 e 11/10/2002). Para o primeiro período de amostragem, a determinação do teor de água do solo consistiu da coleta de amostras de solo com trado tipo sonda de 2,5 cm de diâmetro, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, no centro da entrelinha do pomar sob as plantas de cobertura permanente dos respectivos tratamentos; para o segundo período de avaliação, amostragens similares foram feitas nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de

profundidade no centro das entrelinhas e sob a projeção da copa das plantas (sem vegetação). Estas amostras de solo foram secas em estufa a ± 105 °C por 24 h para obter a massa de água.

As avaliações fisiológicas das folhas de laranjeira consistiram de três a cinco leituras, da taxa de fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), da condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e do potencial da água das folhas (MPa) realizadas entre as 8:00 e 16:30 h. As leituras da taxa de fotossíntese e da condutância estomática das folhas foram obtidas com um aparelho portátil de medida de fotossíntese (LI-6200, LICOR Inc.), utilizando uma câmara com volume de 1 L, em duas folhas próximas, totalmente desenvolvidas, localizadas na porção mediana da copa das plantas e expostas à incidência direta da radiação solar. O potencial da água das folhas foi obtido em folhas próximas daquelas utilizadas para a determinação da taxa de fotossíntese e condutância estomática, utilizando uma câmara de pressão PMS-1000 SoilMoisture (Scholander et al., 1965).

Os dados originais das variáveis fisiológicas (taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água), obtidos nas folhas das laranjeiras úteis centrais de cada parcela experimental no primeiro período (20/8/1999, 1/9/1999, 24/11/1999 e 5/4/2000) e no segundo período (23/5/2002, 18/7/2002 e 11/10/2002), foram reduzidos a médias aritméticas, formando pares de dados com os teores de água no solo em diferentes camadas do solo. Excluíram-se as avaliações de 18/4/2002 e 23/8/2002 pela falta de dados da taxa de fotossíntese e, ou, da condutância estomática. Inicialmente, os dados originais das variáveis fisiológicas e dos teores de água no solo foram analisados por meio do modelo matemático de blocos ao acaso, obtendo-se as análises de variância e o teste de comparação de médias (Tukey; $\alpha = 0,05$). Posteriormente, esses dados foram submetidos à análise de trilha (Cruz et al., 2004), baseando-se no diagrama causal: variável dependente (taxa de fotossíntese, condutância estomática ou potencial da água nas folhas das laranjeiras 'Pêra') e variável independente ou explicativa (teor de água nas camadas de solo).

Os coeficientes de correlação simples de Pearson, os coeficientes de correlação da análise de trilha (efeitos diretos) e os coeficientes de determinação (r^2) do modelo causal (Figura 3) foram estimados pelo programa estatístico Genes (Cruz, 2001). Previamente, foi testada a multicolinearidade das variáveis do modelo causal e, quando o valor do indicador de inflação da variância (VIF) apresentava-se superior a 10, adicionou-se um valor K na diagonal da matriz (Cruz et al., 2004), utilizando-se o procedimento "Análise de trilha com colinearidade" (Cruz, 2001; Cruz & Carneiro, 2003). Foram considerados, para discussão dos resultados, os coeficientes de correlações superiores a 0,50, os quais explicariam pelo menos 50 % do grau de dependência entre as variáveis.

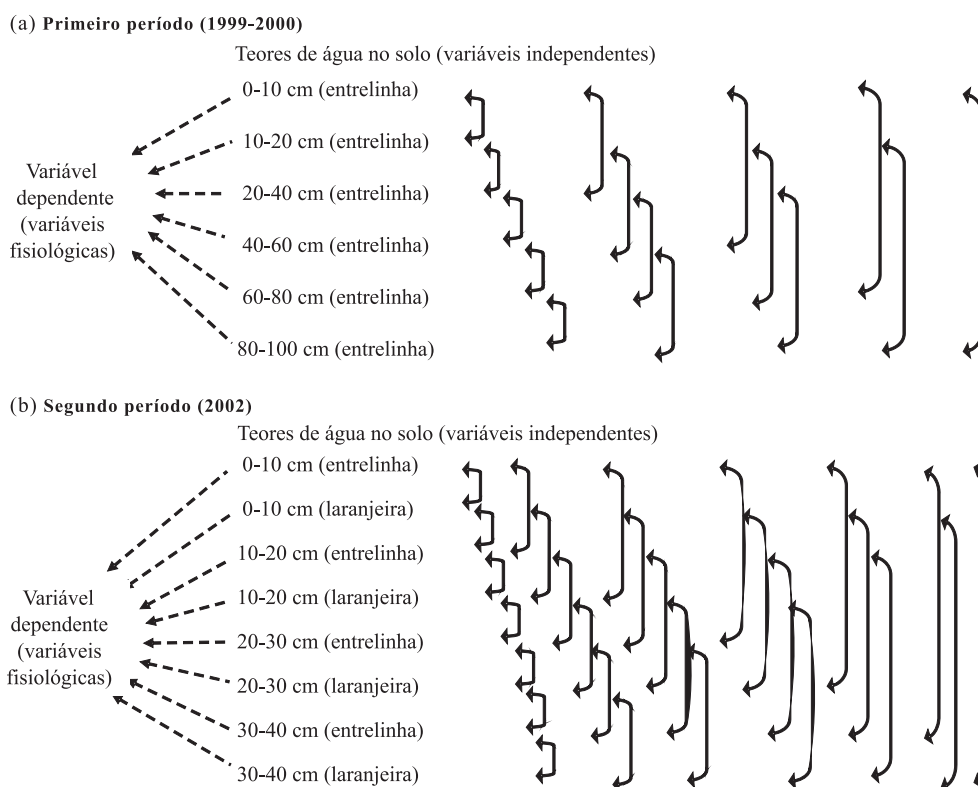


Figura 3. Esquema causal da análise de trilha para o primeiro e segundo período de avaliação entre a variável dependente (taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água nas folhas das laranjeiras) e a variável independente (teor de água no solo para as respectivas camadas de solo) nas posições de amostragem de solo centro da entrelinha (entrelinha) e sob limite externo da projeção da copa das laranjeiras (laranjeira), para o primeiro (a) e segundo período de avaliação (b). As linhas pontilhadas indicam o efeito direto do teor de água no solo sobre a variável dependente da análise de trilha.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No primeiro período de avaliação, em agosto e setembro de 1999, verificaram-se diferenças significativas do teor de água no solo nas camadas de 40–60 e 60–80 cm de profundidade, com maiores teores de água sob o tratamento gramínea em comparação aos tratamentos leguminosa e à vegetação espontânea no centro das entrelinhas do pomar de laranjeira (Quadro 2). Novamente, em novembro de 1999, o tratamento gramínea apresentou maior teor de água na camada de 40–60 cm que a leguminosa. A menor restrição hídrica ocorreu para o tratamento gramínea, à exceção de novembro de 1999, quando todos os tratamentos apresentaram teores de água no solo inferiores ao ponto de murcha permanente na camada de 0–10 cm (Quadro 2 e Figura 2).

No segundo período de avaliação, somente em março de 2002, sob a projeção da copa das laranjeiras, os teores de água no solo na camada de 10–20 cm foram menores no tratamento leguminosa e no tratamento gramínea nas camadas de 20–30 e 30–40 cm (Quadro 3). Esses resultados divergem dos de

Morgan et al. (2006), que verificaram maior absorção de água na camada arenosa de 0–15 cm, em decorrência da depleção de água na entrelinha vegetada com a predominância da gramínea avaliada no presente experimento (*Paspalum notatum*).

Os valores mínimos e máximos da taxa de fotossíntese e da condutância estomática (Quadro 4) foram semelhantes aos encontrados em laranjeira por Medina et al. (1999) e Machado et al. (1999, 2002) e inferiores ao potencial da água nas folhas (Medina et al., 1999; Machado et al., 1999, 2002; Chartzoulakis et al., 1999). Os valores médios da taxa de fotossíntese das folhas das laranjeiras não se diferenciaram entre os tratamentos no período de 1999-2002, mas observou-se o decréscimo no período de agosto a novembro (Quadro 4), com os menores valores em novembro de 1999 em decorrência de baixas precipitações pluviais e estiagem ocorridas a partir de agosto de 1999 (Figura 1).

No primeiro período de avaliação, em novembro de 1999, verificaram-se, no tratamento leguminosa, os menores valores de condutância estomática e potencial da água nas folhas das laranjeiras, associados aos teores de água no solo abaixo do ponto de murcha

Quadro 2. Teor de água no solo localizado em diferentes camadas no centro da entrelinha de laranjeira 'Pêra' com gramínea, leguminosa e vegetação espontânea, avaliadas em 1999-2000

Tratamento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
kg kg ⁻¹						
20/8/1999						
Gramínea	0,0493 a	0,0661 a	0,0907 a	0,1038 a	0,0934 a	0,0895 a
Leguminosa	0,0474 a	0,0820 a	0,0819 a	0,0740 b	0,0705 b	0,0817 a
Espontânea	0,0311 a	0,0564 a	0,0802 a	0,0789 b	0,0727 ab	0,0744 a
1/9/1999						
Gramínea	0,0493 a	0,0661 a	0,0907 a	0,1038 a	0,0934 a	0,0895 a
Leguminosa	0,0474 a	0,0820 a	0,0819 a	0,0740 b	0,0705 b	0,0817 a
Espontânea	0,0311 a	0,0564 a	0,0802 a	0,0789 b	0,0727 ab	0,0744 a
24/11/1999						
Gramínea	0,0391 a	0,0669 a	0,0797 a	0,0761 a	0,0708 a	0,0788 a
Leguminosa	0,0249 a	0,0445 a	0,0623 a	0,0632 a	0,0646 a	0,0619 a
Espontânea	0,0266 a	0,0595 a	0,0810 a	0,0859 a	0,0757 a	0,0644 a
5/4/2000						
Gramínea	0,0679 a	0,0855 a	0,0986 a	0,0968 a	0,0917 a	0,0853 a
Leguminosa	0,0374 a	0,0674 a	0,0778 a	0,0729 b	0,0806 a	0,0782 a
Espontânea	0,0412 a	0,0672 a	0,0809 a	0,0855 ab	0,0837 a	0,0840 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, e data não diferem entre si os tratamentos pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Teor de água no solo localizado em diferentes camadas no centro da entrelinha e limite externo da projeção da copa de laranjeira 'Pêra' com gramínea, leguminosa e vegetação espontânea, avaliadas em 2002

Tratamento	Centro da entrelinha				Limite externo da projeção da copa das laranjeiras			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
kg kg ⁻¹								
23/5/2002								
Gramínea	0,1007 a	0,1184 a	0,1266 a	0,1234 a	0,0831 a	0,0923 a	0,1068 a	0,1162 a
Leguminosa	0,0848 a	0,0943 a	0,1106 a	0,1135 a	0,0887 a	0,0941 a	0,1070 a	0,1153 a
Espontânea	0,0945 a	0,1062 a	0,1128 a	0,1205 a	0,0942 a	0,1093 a	0,1181 a	0,1222 a
18/7/2002								
Gramínea	0,0610 a	0,0677 a	0,0722 a	0,0796 a	0,0534 a	0,0578 a	0,0662 a	0,0688 a
Leguminosa	0,0515 a	0,0629 a	0,0692 a	0,0759 a	0,0514 a	0,0677 a	0,0644 a	0,0706 a
Espontânea	0,0380 a	0,0468 a	0,0624 a	0,0670 a	0,0438 a	0,0651 a	0,0661 a	0,0649 a
11/10/2002								
Gramínea	0,0370 a	0,0582 a	0,0748 a	0,0828 a	0,0236 a	0,0530 a	0,0557 b	0,0582 b
Leguminosa	0,0198 a	0,0381 a	0,0596 a	0,0654 a	0,0169 a	0,0403 b	0,0601 ab	0,0656 ab
Espontânea	0,0207 a	0,0452 a	0,0556 a	0,0697 a	0,0237 a	0,0495 a	0,0664 a	0,0758 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, e data não diferem entre si os tratamentos pelo teste de Tukey a 5 %.

permanente na profundidade de 20-100 cm (Quadro 2 e 4; Figura 2). De acordo com Gomes Filho et al. (2007), a presença desta leguminosa nas entrelinhas de mamoeiro com irrigação pode ter sido a causa da competição por água, reduzindo a sua produtividade.

No segundo período de avaliação, em outubro de 2002, verificou-se maior restrição hídrica no tratamento vegetação espontânea comparado à leguminosa, considerando a condutância estomática e o potencial da água nas folhas das laranjeiras (Quadro 4).

Quadro 4. Taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água das folhas de laranja 'Pêra' com gramínea, leguminosa e vegetação espontânea, avaliadas em 1999-2002

Tratamento	Taxa de fotossíntese	Condutância estomática	Potencial da água
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	MPa
		20/8/1999	
Gramínea	3,8226 a	0,0787 a	-1,0918 a
Leguminosa	3,3307 a	0,0765 a	-1,1577 a
Espontânea	3,5001 a	0,0743 a	-0,9996 a
		1/9/1999	
Gramínea	1,4966 a	0,0768 a	-1,7508 a
Leguminosa	1,4045 a	0,0735 a	-1,8049 a
Espontânea	1,3283 a	0,0750 a	-1,6515 a
		24/11/1999	
Gramínea	0,8980 a	0,0255 ab	-2,8646 a
Leguminosa	0,6287 a	0,0182 b	-3,4392 b
Espontânea	1,1559 a	0,0291 a	-2,7293 a
		5/4/2000	
Gramínea	7,0623 a	0,2216 a	-1,8590 a
Leguminosa	7,6652 a	0,2851 a	-1,8421 a
Espontânea	7,5779 a	0,2530 a	-1,9309 a
		23/5/2002	
Gramínea	9,9628 a	0,2437 a	-1,4309 a
Leguminosa	10,0631 a	0,2444 a	-1,3745 a
Espontânea	9,3133 a	0,2159 a	-1,4140 a
		18/7/2002	
Gramínea	5,2652 a	0,0973 a	-1,2886 a
Leguminosa	4,6275 a	0,0825 a	-1,2489 a
Espontânea	4,8138 a	0,0843 a	-1,2591 a
		11/10/2002	
Gramínea	2,6447 a	0,0786 b	-2,0930 ab
Leguminosa	2,8120 a	0,0923 a	-2,0120 a
Espontânea	2,2990 a	0,0807 b	-2,1361 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, e data não diferem entre si os tratamentos pelo teste Tukey a 5 %.

O modelo causal das análises de trilha explicou 51 a 93 % do ajuste dos dados entre as variáveis fisiológicas e os teores de água no solo (45 %), à exceção da taxa de fotossíntese no primeiro período de avaliação (Quadros 5, 6 e 7). Tais resultados indicam a pertinência da exploração das inter-relações entre as variáveis fisiológicas das laranjeiras e os teores de água no solo.

A taxa de fotossíntese e a condutância estomática das folhas das laranjeiras apresentaram relação de causa e efeito com os teores de água do solo na camada de 60–80 cm no centro das entrelinhas, sob os tratamentos gramínea e leguminosa no primeiro período de avaliação (Quadros 5 e 6), evidenciando o aumento do crescimento e da atividade radicular das laranjeiras nesta camada de solo e tratamentos (Neves et al., 1998). No segundo período de avaliação, esta dependência repetiu-se para a condutância estomática

e para os teores de água do solo nas camadas de 20–30 cm sob a projeção da copa das plantas e a 30–40 cm no centro das entrelinhas do pomar sob o tratamento leguminosa (Quadro 6). A presença da leguminosa nas entrelinhas resultou na dependência das laranjeiras à água armazenada em maior quantidade nos horizontes Bt e Bw (Quadro 1 e Figura 2) que controlou a abertura e o fechamento dos estômatos nas folhas das laranjeiras (Quadro 4). A resposta fisiológica das laranjeiras aos teores de água em subsuperfície do solo deve-se possivelmente ao aprofundamento do sistema radicular das laranjeiras, verificado por Neves et al. (1998) com a leguminosa *Arachis prostrata* Bong ex. Benth nas entrelinhas do pomar de tangerineira 'Poncã'.

O potencial da água nas folhas das laranjeiras mostrou-se dependente dos teores de água do solo para os três tratamentos na camada de 0–10 cm

Quadro 5. Coeficientes de correlações simples (Pearson) entre as variáveis dependentes (taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água nas folhas de laranjeira 'Pêra') e as variáveis independentes do teor de água no solo^(a) e os coeficientes de correlações do efeito direto do teor de água no solo sobre as variáveis dependentes da análise de trilha^(b), em camadas de solo nas posições de amostragem de solo centro da entrelinha (entrelinha) e sob limite externo da projeção da copa das laranjeiras, no tratamento gramínea, para o primeiro (1999-2000) e segundo (2002) período de avaliação

Camada e posição de amostragem de solo	Taxa de fotossíntese		Condutância estomática		Potencial da água	
	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)
Primeiro período de avaliação (1999-2000)						
0-10 cm (entrelinha)	0,60**	0,26	0,61**	0,16	0,27ns	0,57
10-20 cm (entrelinha)	0,50*	0,08	0,52*	0,16	-0,03ns	-1,03
20-40 cm (entrelinha)	0,55*	0,28	0,57*	0,31	0,44ns	0,59
40-60 cm (entrelinha)	0,21ns	-0,21	0,20ns	-0,34	0,64**	0,50
60-80 cm (entrelinha)	0,39ns	0,51	0,40ns	0,72	0,69**	-0,01
80-100 cm (entrelinha)	0,14ns	-0,37	0,12ns	-0,49	0,48ns	-0,17
r ² ⁽¹⁾		0,45		0,52		0,67
Valor de K ⁽²⁾		0,05		0,02		0,04
Segundo período de avaliação (2002)						
0-10 cm (entrelinha)	0,82***	-0,05	0,77**	-0,26	0,62*	0,61
0-10 cm (laranjeira)	0,92***	0,46	0,84***	0,19	0,74**	0,90
10-20 cm (entrelinha)	0,72**	-0,20	0,72**	-0,17	0,41ns	-0,22
10-20 cm (laranjeira)	0,75**	-0,09	0,81***	0,17	0,38ns	-0,51
20-30 cm (entrelinha)	0,79**	-0,06	0,82***	0,11	0,29ns	-0,54
20-30 cm (laranjeira)	0,92***	0,29	0,93***	0,42	0,52ns	0,09
30-40 cm (entrelinha)	0,87***	0,23	0,88***	0,18	0,28ns	-0,30
30-40 cm (laranjeira)	0,95***	0,35	0,92***	0,32	0,50ns	0,42
r ² ⁽¹⁾		0,93		0,91		0,78
Valor de K ⁽²⁾		0,08		0,07		0,07

⁽¹⁾ Coeficiente de determinação do modelo causal de trilha. ⁽²⁾ Valor adicionado na diagonal da matriz para reduzir a variância e atender ao pressuposto de baixa multicolinearidade com fator de inflação de variância (VIF < 10). ns (p > 0,10), * (p < 0,10), ** (p < 0,05) e *** (p < 0,01).

(Quadros 5, 6 e 7). Nesta camada de solo arenoso (Quadro 1), somente no tratamento gramínea a análise de trilha explicou a dependência do potencial da água nas folhas das laranjeiras com os teores de água nas duas posições de amostragem de solo: projeção da copa das laranjeiras e centro da entrelinha (Quadro 5), indicando que, nesta condição de manejo, ampliou-se a utilização da água no solo do pomar (Quadros 2 e 3) de modo a compensar provável competição por água pela gramínea com as laranjeiras. A constatação dessa dependência das laranjeiras nas duas posições supramencionadas é atribuída a melhoria da qualidade física do solo (Fidalski & Tormena, 2007a,b, Fidalski et al., 2007a), comparado aos resultados das restrições físicas impostas pelo tráfego de trator de pneu na entrelinha em pomar de laranjeira 'Valência' em solo semelhante sob o manejo da vegetação espontânea (Fidalski et al., 2007b).

Os menores teores de água do solo (Quadros 3 e 4), associados à menor qualidade física do solo (Fidalski & Tormena, 2007a,b; Fidalski et al., 2007a) na camada superficial sob o tratamento leguminosa, potencializaram a utilização da água armazenada na camada subsuperficial do solo nos horizontes Bt e Bw com maiores teores de argila (Quadro 1 e Figura 2). Contrariamente, no tratamento gramínea, a melhoria da qualidade física e hídrica do solo (Fidalski & Tormena, 2007a,b, Fidalski et al., 2007a) na camada de 0-15 cm do centro da entrelinha do pomar, possibilitou melhor utilização e eficiência de absorção de água do solo pelas laranjeiras. Os resultados de Fidalski et al. (2007a) mostraram que, com o secamento do solo, a resistência do solo à penetração apresentou menor incremento de acordo com a densidade do solo sob o tratamento gramínea comparado aos tratamentos: leguminosa e vegetação

Quadro 6. Coeficientes de correlações simples (Pearson) entre as variáveis dependentes (taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água nas folhas de laranjeira 'Pêra') e as variáveis independentes do teor de água no solo^(a) e os coeficientes de correlações do efeito direto do teor de água no solo sobre as variáveis dependentes da análise de trilha^(b), em camadas de solo nas posições de amostragem de solo centro da entrelinha (entrelinha) e sob o limite externo da projeção da copa das laranjeiras, no tratamento leguminosa, para o primeiro (1999-2000) e segundo (2002) período de avaliação

Camada e posição de amostragem de solo	Taxa de fotossíntese		Condutância estomática		Potencial da água	
	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)
Primeiro período de avaliação (1999-2000)						
0-10 cm (entrelinha)	0,15ns	0,07	0,12ns	0,11	0,88***	0,55
10-20 cm (entrelinha)	0,16ns	0,01	0,10ns	-0,08	0,88***	0,36
20-40 cm (entrelinha)	0,25ns	0,50	0,21ns	0,46	0,71**	0,31
40-60 cm (entrelinha)	0,27ns	-0,05	0,24ns	-0,04	0,63**	-0,21
60-80 cm (entrelinha)	0,64**	1,00	0,66**	1,00	0,39ns	0,41
80-100 cm (entrelinha)	0,29ns	-0,66	0,27ns	-0,63	0,72***	-0,18
r ² ⁽¹⁾		0,57		0,58		0,92
Valor de K ⁽²⁾		0,09		0,10		-
Segundo período de avaliação (2002)						
0-10 cm (entrelinha)	0,86***	-0,08	0,75**	-0,24	0,77**	0,54
0-10 cm (laranjeira)	0,91***	0,16	0,79**	-0,02	0,76**	0,42
10-20 cm (entrelinha)	0,89***	0,04	0,80**	-0,11	0,73**	0,34
10-20 cm (laranjeira)	0,93***	0,32	0,83***	0,28	0,71**	0,31
20-30 cm (entrelinha)	0,82***	0,00	0,80***	-0,05	0,51ns	0,05
20-30 cm (laranjeira)	0,95***	0,34	0,95***	0,51	0,43ns	-0,42
30-40 cm (entrelinha)	0,82***	-0,15	0,80***	-0,02	0,54ns	-0,03
30-40 cm (laranjeira)	0,96***	-0,33	0,95***	0,54	0,43ns	-0,54
r ² ⁽¹⁾		0,93		0,90		0,79
Valor de K ⁽²⁾		0,10		0,08		0,10

⁽¹⁾ Coeficiente de determinação do modelo causal de trilha. ⁽²⁾ Valor adicionado na diagonal da matriz para reduzir a variância e atender ao pressuposto de baixa multicolinearidade com fator de inflação de variância (VIF < 10). ns (p > 0,10), * (p < 0,10), ** (p < 0,05) e *** (p < 0,01).

Quadro 7. Coeficientes de correlações simples (Pearson) entre as variáveis dependentes (taxa de fotossíntese, condutância estomática e potencial da água nas folhas de laranjeira 'Pêra') e as variáveis independentes do teor de água no solo^(a) e os coeficientes de correlações do efeito direto do teor de água no solo sobre as variáveis dependentes da análise de trilha^(b), em camadas de solo nas posições de amostragem de solo centro da entrelinha (entrelinha) e sob o limite externo da projeção da copa das laranjeiras, no tratamento vegetação espontânea, para o primeiro (1999-2000) e segundo (2002) período de avaliação

Camada e posição de amostragem de solo	Taxa de fotossíntese		Condutância estomática		Potencial da água	
	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)	r ^(a)	r ^(b)
Primeiro período de avaliação (1999-2000)						
0-10 cm (entrelinha)	0,48ns	0,49	0,51*	0,55	0,08ns	0,47
10-20 cm (entrelinha)	0,35ns	0,39	0,35ns	0,36	-0,11ns	-0,15
20-40 cm (entrelinha)	0,03ns	-0,42	0,06ns	-0,35	-0,04ns	0,43
40-60 cm (entrelinha)	0,10ns	-0,55	0,12ns	-0,61	-0,41ns	-0,79
60-80 cm (entrelinha)	0,39ns	0,43	0,40ns	0,47	-0,23ns	-0,31
80-100 cm (entrelinha)	0,48ns	0,14	0,47ns	0,08	0,20ns	0,37
r ² ⁽¹⁾		0,54		0,53		0,51
Valor de K ⁽²⁾		0,05		0,05		0,05
Segundo período de avaliação (2002)						
0-10 cm (entrelinha)	0,95***	0,15	0,90***	0,01	0,55ns	0,47
0-10 cm (laranjeira)	0,97***	0,28	0,89***	0,02	0,58ns	0,52
10-20 cm (entrelinha)	0,91***	-0,01	0,93***	0,06	0,37ns	-0,28
10-20 cm (laranjeira)	0,96***	0,35	0,89***	0,18	0,55ns	0,40
20-30 cm (entrelinha)	0,93***	0,12	0,94***	0,13	0,44ns	0,28
20-30 cm (laranjeira)	0,91***	0,11	0,96***	0,24	0,33ns	0,16
30-40 cm (entrelinha)	0,85***	0,11	0,92***	0,19	0,27ns	-0,21
30-40 cm (laranjeira)	0,80***	-0,15	0,91***	0,14	0,18ns	-0,62
r ² ⁽¹⁾		0,92		0,90		0,58
Valor de K ⁽²⁾		0,09		0,09		0,09

⁽¹⁾ Coeficiente de determinação do modelo causal de trilha. ⁽²⁾ Valor adicionado na diagonal da matriz para reduzir a variância e atender ao pressuposto de baixa multicolinearidade com fator de inflação de variância (VIF < 10). ns (p > 0,10), * (p < 0,10), ** (p < 0,05) e *** (p < 0,01).

espontânea, o que pode explicar a maior atividade radicular das laranjeiras nas entrelinhas.

CONCLUSÕES

1. As respostas fisiológicas das folhas da laranjeira 'Pêra' apresentaram dependência específica aos teores de água das camadas de solo e dos sistemas de manejo da cobertura permanente nas entrelinhas.

2. A condutância estomática das folhas da laranjeira dependeu dos teores de água da camada subsuperficial de textura média manejada com a leguminosa *Arachis pintoi* no centro da entrelinha da entrelinha.

3. O potencial da água nas folhas da laranjeira mostrou-se dependente dos teores de água do solo na camada superficial arenosa sob o manejo da gramínea *Paspalum notatum* no centro da entrelinha e no limite externo da projeção da copa das laranjeiras.

4. A manutenção das entrelinhas vegetadas com a gramínea no horizonte superficial arenoso aumentou a disponibilidade de água para as laranjeiras.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária do estado do Paraná, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa: Manejo do solo e caracterização das relações hídricas em plantas de citros na região do Arenito Caiuá, Noroeste do Estado do Paraná. Ao Sr. Osmar Ferrari e família, pela cessão e manutenção da área experimental.

LITERATURA CITADA

- CRUZ, C.D. & CANEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. v.2. 585p.
- CHARTZOULAKIS, K.; MICHELAKIS, N. & STEFANOUDAKI, E. Water use, growth, yield and fruit quality of 'Bonanza' oranges under different soil water regimes. Adv. Hortic. Sci., 13:6-11, 1999.
- CRUZ, A.C.R.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. & ROCHA, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. R. Bras. Ci. Solo, 29:1-10, 2005.
- CRUZ, C.D. Programa GENES: versão windows. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 642p. (Versão 2005.0.0)
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. & CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 480p.

DANE, J.H. & HOPMANS, J.W. Pressure plate extractor. In: DANE, J.H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002. v.4. p.688-690.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FIDALSKI, J.; MARUR, C.J.; AULER, P.A.M. & TORMENA, C.A. Produção de laranja com plantas de cobertura permanente na entrelinha. Pesq. Agropec. Bras., 41:927-935, 2006.

FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. Ci. Rural, 37:1316-1322, 2007a.

FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. R. Bras. Ci. Solo, 31:637-645, 2007b.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Qualidade física do solo em pomar de laranjeira no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. R. Bras. Ci. Solo, 31:423-433, 2007a.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. & SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. R. Bras. Ci. Solo, 31:9-19, 2007b.

GEE, G. & OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002. v.4. p.255-293.

GOMES FILHO, A.; OLIVEIRA, J.G.; VIANA, A.P. & PEREIRA, M.G. Lâminas de irrigação e cobertura do solo sobre a incidência da mancha fisiológica e produtividade de mamão "Golden". Ci. Rural, 37:1654-1660, 2007.

GROSSMAN, R.B. & REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002. v.4. p.201-228.

HOGUE, E.J. & NEILSEN, G.H. Orchard floor vegetation management. Hortic. Rev., 9:377-430, 1987.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Cartas climáticas do Paraná: edição ano 2000, versão 1.0. Londrina, 2000. CD-ROM

LIPECKI, J. & BERBEC, S. Soil management in perennial crops: Orchards and hop gardens. Soil Till. Res., 43:169-184, 1997.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L. & GOMES, M.M.A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira 'Valência'. Bragantia, 58:217-226, 1999.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A. & HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'Valência'. Sci. Agric., 59:53-58, 2002.

- MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. & GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. R. Bras. Fisiol. Veg., 11:29-34, 1999.
- MORGAN, K.T.; OBREZA, T.A.; SCHOLBERG, J.M.S.; PARSONS, L.R. & WHCATON, T.A. Citrus water uptake dynamics on a sandy Florida Entisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 70:90-97, 2006.
- NEVES, C.S.V.J.; DECHEN, A.R.; FELLER, C.; SAAB, O.J.G. & PIEDADE, S.M.S. Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira 'Poncã' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' em Latossolo Roxo. R. Bras. Frutic., 20:246-253, 1998.
- PACHECO, E.B.; SILVA, T.C.A.; SANTOS, H.L.; FELDMANN, R.O. & TEIXEIRA, S.L. Efeito do manejo de um Latossol Vermelho-Amarelo, fase cerrado, sobre o crescimento e produção da laranjeira (*Citrus sinensis* Osbeck cv. 'Baianinha'). Experimentiae, 19:211-238, 1975.
- ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A. & CRUZ, A.C.R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. R. Bras. Ci. Solo, 29:41-50, 2005.
- ROMANO, N.; HOPMANS, J.W. & DANE, J.H. Suction table. In: DANE, J.H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002.v.4. p.692-698.
- SAS Institute. SAS/STAT User's guide. Version 8.2. Cary, 2001. 943p.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D. & HEMNINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. Science, 148:339-346, 1965.
- SOUZA JR., J.O.; KER, J.C.; MELLO, J.W.V. & CRUZ, C.D. Produtividade do cacauzeiro em função de características do solo. II. Características físico-morfológicas e alguns elementos extraídos pelo ataque sulfúrico. R. Bras. Ci. Solo, 23:873-880, 1999.
- 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. Frutic., 26:69-73, 2004.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.