**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relações hídricas em citrus irrigado por gotejamento sob estresse
hídrico contínuo e intermitente**

Eusímio Felisbino Fraga Júnior

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2012**

Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Engenheiro Agrônomo

**Relações hídricas em citrus irrigado por gotejamento sob estresse hídrico
contínuo e intermitente**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Fraga Júnior, Eusímio Felisbino

Relações hídricas em citrus irrigado por gotejamento sob estresse hídrico
contínuo e intermitente / Eusímio Felisbino Fraga Júnior. -- versão revisada de
acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2012.
93 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Deficiência hídrica 2. Estresse hídrico 3. Floração 4. Irrigação por gotejamento
5. Laranja 6. Transpiração vegetal I. Título

CDD 634.31
F811r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico este a meus pais, Eusímio (in memoriam) e Irani Fraga, que são os verdadeiros alicerces da construção de minha vida pessoal e profissional, nunca medindo esforços para que me fosse disponibilizado o melhor possível no que se diz respeito à educação.

DEDICO

À minha flor, Giovanna, estrela que surgiu para iluminar meu caminho...

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, Grande Arquiteto do Universo, por iluminar meu caminho, dando sua benção em minhas decisões, orientando-me nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu irmão Prof. Diego Fraga, pelo apoio e auxílio nos momentos difíceis e na formação do meu caráter.

À meus familiares, alicerce de minha vida, que direta e indiretamente contribuíram para esta conquista.

À minha namorada Giovanna, pelo apoio, carinho e compreensão durante a construção do experimento e vida de pós-graduação.

Ao meu orientador Prof. Rubens Duarte Coelho, pela oportunidade, por acreditar em meu potencial, pelas palavras de incentivo.

A meu amigo, Prof. André Luís Teixeira Fernandes, pelos anos de convivência, exemplo de determinação e garra, pela valiosa contribuição na minha formação e apoio à realização deste curso.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP), especialmente ao antigo Programa de Irrigação e Drenagem, hoje Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de continuar a minha formação.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas, pela confiança, orientação e pelos ensinamentos.

Ao meu amigo, Lucas Melo Vellame, pelo companheirismo, pelas palavras e atitudes que influenciaram na formação do meu olhar científico.

Aos meus colegas de pós-graduação: Adriano, Alexsandro, Antônio, Carlos, Cícero, Daniel Leal, Daniel Alves, Elenilson, Everaldo, Fernando, Jefferson, Jussálvia, Lígia, Marinaldo, Lucas, Rafael, Renato, Robson e Sérgio, pela ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos estagiários: Jéfferson (FAZU), Mirian (UFAL) e Felipe (ESALQ) pela grande ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

Por final agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

A todos o meu muito Obrigado!

“Se trabalhamos sobre o mármore, ele um dia acabará; se trabalhamos sobre o metal, um dia o tempo o apagará; se nós levantamos templos, eles um dia tornarão pó; mas se nós trabalharmos sobre almas jovens e imortais, certamente, nós gravaremos sobre elas algo que brilhará eternamente”

Rizzardo da Camino

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 DESENVOLVIMENTO	21
2.1. Revisão bibliográfica	21
2.1.1 Relações hídricas em citros	21
2.1.2 Irrigação e percentual da área molhada em citros	22
2.1.3 Estimativa da transpiração pela sonda de dissipação térmica	24
2.1.4 Fisiologia do estresse em citros	26
2.1.4.1 Indicadores de estresse hídrico.....	28
2.1.5 Sistema radicular no citros	29
2.2 Material e Métodos	31
2.2.1 Localização e caracterização do experimento.....	31
2.2.2 Delineamento experimental.....	34
2.2.3 Condução da cultura	35
2.2.4 Conteúdo de água no solo	36
2.2.5 Manejo da Irrigação.....	38
2.2.6 Variáveis meteorológicas	39
2.2.7 Análise das plantas	40
2.2.7.1 Consumo de água pelas plantas após a adaptação radicular	40
2.2.7.2 Avaliação do sistema radicular	40
2.2.7.3 Transpiração das plantas	41
2.2.7.3.1 Construção e instalação de sondas de dissipação térmica	41
2.2.7.3.2 Calibração	42
2.2.7.3.3 Gradientes térmicos naturais.....	43
2.2.7.3.4 Análise dos dados de transpiração.....	44
2.2.7.4 Crescimento vegetativo	44
2.2.7.5 Potencial da água na folha	45
2.2.7.6 Temperatura na folha	45
2.3 Resultados e Discussão	46
2.3.1 Avaliações referentes ao experimento anterior (Vellame, 2010)	46

2.3.1.1 Extração de água do solo após 6 meses de irrigação localizada.....	46
2.3.1.2 Extração de água pelo solo após 6 meses de irrigação em área total.....	48
2.3.1.3 Avaliação do solo.....	48
2.3.1.3.1 Densidade de raiz nos compartimentos (100% e 12,5% de A_w)	48
2.3.1.3.2 Fertilidade do solo.....	50
2.3.2 Avaliação do Estresse	51
2.3.2.1 Dados Meteorológicos	51
2.3.2.2 Conteúdo de água no solo.....	53
2.3.2.3 Potencial de água na folha	55
2.3.2.4 Área Foliar	59
2.3.2.5 Temperatura foliar.....	62
2.3.2.6 Transpiração das plantas.....	66
2.3.2.6.1 Calibração do fluxo de seiva e teste dos lisímetros de pesagem.....	66
2.3.2.6.2 Correção dos gradientes térmicos naturais	68
2.3.2.6.3 Transpiração corrigida	69
3 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS	81
ANEXO	89

RESUMO

Relações hídricas em citrus irrigado por gotejamento sob estresse hídrico contínuo e intermitente

Para que ocorra a indução floral em citros, as plantas necessitam passar por algum tipo de estresse hídrico ou térmico (baixas temperaturas). Apesar do estresse hídrico ser importante para o florescimento, condições extremas deste tipo de estresse podem prejudicar o desenvolvimento e a fixação dos frutos na planta posteriormente ao período de florescimento. Neste sentido, a redução da fração de área molhada do solo pode também ser uma fonte de estresses hídrico nas plantas. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito do estresse hídrico e da fração de área molhada (100% e 12,5%) nas relações hídricas da laranjeira Valência, sob dois tipos solo e dois porta-enxertos. O experimento foi conduzido na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) em ambiente protegido. Foi utilizado o delineamento em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ com os tratamentos dispostos em faixas, totalizando 16 tratamentos, constituídos da combinação de dois tipos de solos (argiloso e franco-arenoso), dois porta-enxertos (limoeiro ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’), duas frações de área molhada (100% e 12,5%) e dois níveis de deficiência hídrica: 1) Estresse Hídrico Contínuo (suspensão da irrigação por 30 dias) 2) Estresse Hídrico Intermitente (sub-lâmina) - aplicação de 30% da ET₀. As plantas foram conduzidas em caixas de 500 L internamente divididas em compartimentos. O início do experimento de estresse hídrico consistiu em realizar a irrigação do volume total do solo, elevando-o a capacidade de campo, sendo suspensas as irrigações durante o período de avaliação, sendo após realizado o acompanhamento diário do consumo hídrico em cada compartimento das caixas. Amostrou-se o sistema radicular das plantas, para cada compartimento existente para averiguar a existência de adaptação radicular em função da restrição de área molhada. Determinou-se simultaneamente a transpiração de todas as plantas através de sondas de dissipação térmica, o conteúdo de água no solo, o crescimento das plantas (área foliar e diâmetro de caule), o potencial de água na folha e a temperatura foliar. A extração de água no solo após 6 meses de irrigação localizada indica que o sistema radicular na zona irrigada consegue redistribuir parte da água absorvida, pelo sistema radicular da planta que se encontra na área seca, mantendo-o vivo. Observa-se que no solo argiloso as plantas apresentaram um maior comprimento total de raízes do que no solo arenoso. A média do módulo do potencial da água na folha das plantas sob condição simulada de irrigação por gotejamento, foi 31,5% maior quando comparado às plantas com 100% de solo molhado (-1,085 MPa e -0,7435 MPa). Em termos de área foliar, o estresse contínuo promoveu uma maior desfolha das plantas, sendo significativa a diferença entre os tipos de solo, as condições de estresses e a interação tipo de solo e porta-enxertos. Treze dias após a imposição dos estresses, a temperatura foliar, nos períodos de maior demanda atmosférica (14:00hs) tende a ser maior do que a temperatura do ar. Independente do tipo de estresse, para solo arenoso a transpiração diminui quanto se impõe a redução de área molhada (gotejamento). Esperava-se que os tipos de estresse hídrico impostos apresentassem uma diferenciação de consumo hídrico nas plantas, no período de retomada da irrigação, sendo o estresse intermitente o que deveria apresentar o maior consumo hídrico; nos resultados obtidos não ficou muito clara e estabilizada esta tendência, apesar do nível de desfolha e o potencial de água nas folhas confirmaram as hipóteses inicialmente formuladas. Existe a possibilidade de que o método de dissipação térmica tenha sofrido influência significativa da desfolha no gradiente térmico natural, o que pode ter ocasionado imprecisão nos dados coletados e resultado inconsistência nos fluxos de seiva calculados neste período de baixo índice de área foliar.

Palavras-chave: Deficiência hídrica; Indução floral; Transpiração; Irrigação

ABSTRACT

Water relations of citrus under drip irrigation: continuous and intermittent water stress

In order to present floral induction, citrus plants need to undergo some type of thermal (low temperature) or water stresses. However, despite a certain level of water stress is important for the flowering, excessive water stress can impair the development and fruit set in the plant. In this sense, to reduce the fraction of wetted area of the soil can also be a source of water stress in plants. This paper aims to study the effect of water stress and the fraction of wetted area (100% and 12.5%) in Valencia orange tree transpiration under two soil types and two rootstocks. The experiment was conducted at the Department of Biosystems Engineering at the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP) in a protected environment. It was used a randomized design in a factorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ with treatments arranged in strips, totaling 16 treatments combinations, consisting of two soil types (clay and sandy loam), two-door grafts (Rangpur lime and citrumelo 'Swingle'), two fractions of wetted area (100% and 12.5%) and two levels of water stress: 1) Continuous Stress (suspension of irrigation for 30 days) 2) Intermittent Stress (deficit irrigation: 30% ET₀). The plants were conducted in 500 L boxes divided into compartments inside. At the beginning of the water stress experiment, soil moisture was set to field capacity. Irrigation was suspended during the evaluation period, and it was monitoring every day the water consumption in each compartment boxes. Root systems of plants were sampled for each compartment to determine total length of roots in the soil. It were determined the individual transpiration of each plant using thermal dissipation probes (sap flow / Granier), the water content in soil, the plant growth (leaf area and stem diameter), the leaf water potential and leaf temperature. The extraction of water in the soil after 6 months of drip irrigation indicates that the root system in the irrigated area redistribute some of the absorbed water to the root system that is in the dry area, keeping it alive waiting for the raining period. It was observed for the clay soil a greater total length of roots compared to the sandy soil. The mean of leaf water potential for plants under simulated drip irrigation conditions (12.5 % wetted area) was 31,5% higher compared to plants with 100% of wetted area (-1,085 MPa and -0,7435 MPa). In terms of leaf area, the continuous stress promoted a greater leaf loss of plants, with a significant difference between soil types, stress types and the interaction of soil type and rootstock. Thirteen days after the imposition of the water stresses, leaf temperature at around 2:00 pm tends to be higher than air temperature. For sandy soil, independent of the water stress type, transpiration decreases as the wetted area is reduced (drip). It was expected for the water stress types imposed, a differentiation of plants water consumption after resuming irrigation for fruit set, being the intermittent stress the greatest water consumption treatment. The results obtained are unclear and non-stabilized for this trend, although leaf losses and leaf water potential confirmed the hypothesis initially formulated. There is a possibility that thermal dissipation probes suffered significant influence of leaf losses on the natural thermal gradient, which may have caused inaccuracies in the collected data, resulting inconsistent values of sap flow calculated for this period of low leaf area index.

Keywords: Water stress; Floral induction; Transpiration; Irrigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e vista geral do experimento	32
Figura 2 - Divisão interna dos vasos, plantio das mudas e irrigação na fase inicial e durante a imposição dos tratamentos de diferentes condições de área molhada. (Adaptado de VELLAME, 2010).....	33
Figura 3 - Croqui da área experimental.....	35
Figura 4 – Experimento nas suas diferentes épocas de desenvolvimento; Amostragem do solo.....	36
Figura 5 - Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (DELGADO-ROJAS, 2003)	41
Figura 6 - Detalhe dos passos para construção das sondas de dissipação térmica; Instalação das sondas de dissipação térmica.(Adaptado VELLAME, 2010) .	42
Figura 7 - Percentual médio de extração de água pelas plantas pelo compartimento irrigado (12,5%) após período de irrigação parcial	47
Figura 8 - Percentual médio de extração de água pelas plantas pelo compartimento irrigado (12,5 %) após readaptação	48
Figura 9 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmín), temperatura média (Tmed), umidade relativa máxima (URmax), umidade relativa mínima (URmin), umidade relativa média (URmed), radiação solar (Rs) e evapotranspiração de referência estimada(ET0).	52
Figura 10 – Média da umidade em base volume para solo arenoso e diferentes porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)	54
Figura 11 – Média da umidade em base volume para solo argiloso e diferentes porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)	54
Figura 12 – Potencial de água na folha para solo arenoso, nos diferentes estresses e porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)	55
Figura 13 – Potencial de água na folha para solo argiloso, nos diferentes estresses e porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)	56
Figura 14 – Planta antes (A) e após (B) a imposição dos estresses	60

Figura 15 – Temperatura foliar para 01/08 (A) e 13/08 (B), para os diferentes porta-enxertos no solo argiloso	63
Figura 16 – Temperatura foliar para 17/09 (A) e 01/10 (B), para os diferentes porta-enxertos e tipos de solo	65
Figura 17 - Análise de regressão da calibração dos lisímetros 1000 kg, relação variação de massa e diferença de potencial (DDP)	66
Figura 18 - Relação entre medidas de transpiração efetuadas com lisímetro e fluxo de seiva acumulado diário pela sonda de dissipação térmica	67
Figura 19 - Curso da temperatura do ar e radiação solar com a média da diferença térmica natural do caule (DTN) de 50 plantas de laranja 'Valência'	69
Figura 20 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, 100% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)	70
Figura 21 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso 12,5% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)	70
Figura 22 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, 12,5% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)	71
Figura 23 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, 100% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)	71
Figura 24 – Transpiração média das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	72
Figura 25 – Transpiração média das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	73
Figura 26 – Kc médio das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	74
Figura 27 – Kc médio das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	75
Figura 28 – Kc médio das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	76
Figura 29 – Kc médio das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de laranja e citros total e irrigada.....	19
Tabela 2 - Análise físico-hídrica dos solos utilizados no experimento: umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de água disponível (CAD), densidade do solo (Ds), densidade de partículas do solo (Dp), porosidade total do solo (PT) - (Fonte: CHAVES, 2009).....	32
Tabela 3 - Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r) e dos parâmetros (α , n e m) do modelo de van Genuchten para os solos utilizados no experimento (Fonte: CHAVES, 2009).....	37
Tabela 4 - ET ₀ acumulada no período, porcentagem média do consumo total, coeficiente de variação (CV) do total de extração de água em cada compartimento das caixas em um período de 8 dias, após a adaptação do sistema radicular	46
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para o comprimento de raízes para as plantas submetidas aos diferentes tipos de solo, área molhada (Aw) e porta-enxerto (PE).....	49
Tabela 6 - Análise de médias referente a densidade de comprimento de raiz (cm cm^{-3}), em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada.	49
Tabela 7 - Análise de médias referente a densidade de comprimento de raiz (cm cm^{-3}), em função do tipo de solo e porta enxerto.	50
Tabela 8 - Caracterização química do solo inicial (2008) e após irrigação parcial (2010).....	51
Tabela 9 - Resumo da análise de variância referente ao potencial de água na folha (MPa) das plantas submetidas a diferentes tipos de solo, estresse, área molhada e porta-enxerto	57
Tabela 10 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha (MPa), em função da porcentagem de área molhada	57
Tabela 11 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do porta-enxerto	57
Tabela 12 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de estresse	58
Tabela 13 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de solo	58

Tabela 14 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada para o dia 20 de agosto e 24 de setembro	58
Tabela 15 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha, em função do tipo de estresse e porta-enxerto para o dia 17 de setembro.....	59
Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a área foliar para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos testados.....	60
Tabela 17 - Análise de médias referente à área foliar inicial (m ²) em função do porta-enxerto	61
Tabela 18 - Análise de médias referente ao área foliar final (m ²) em função do tipo estresse	61
Tabela 19 - Análise de médias referente ao área foliar final (m ²) em função do tipo de solo	61
Tabela 20 - Análise de médias referente à área foliar após o estresse hídrico em função do tipo de solo e porta-enxerto.....	62
Tabela 21 - Características técnicas do lisímetro de pesagem.....	66
Tabela 22 - Radiação solar global e temperatura do ar máxima, mínima e média diária no período de medição das diferenças térmicas naturais no caule.....	68
Tabela 23 - Análise de médias referente à transpiração durante o estresse hídrico, agrupadas por demanda evaporativa em função do tipo de solo, porta-enxerto, estresse e área molhada.....	78
Tabela 24 - Análise de médias referente transpiração agrupadas por demanda evaporativa em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada durante o período de estresse	78

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, responsável por 50% da produção mundial do suco de laranja. O setor movimenta entre 1,5 e 2,5 bilhões de reais ao ano com as exportações e geram aproximadamente 230 mil empregos diretos e indiretos (NEVES et al., 2010). O Estado de São Paulo é responsável por cerca de 80% da produção brasileira e 72% da área colhida no País que é de aproximadamente 840 mil hectares (FNP, 2011).

Na citricultura brasileira a irrigação vem sendo utilizada desde meados dos anos 70, sendo que nos anos 90 a área de pomares irrigados representava cerca de 1% da área total. A partir de 2000 houve um aumento considerável dessa área, devido à morte súbita dos citros, que obrigou a troca do porta-enxerto limão Cravo (tolerante a seca) por outros porta-enxertos (menos tolerantes a seca), incentivando o uso da irrigação principalmente nos períodos críticos de florada e fixação de frutos. Hoje a área irrigada representa 26,6 % dos pomares (Tabela 1), sendo crescente a adoção de sistemas de irrigação localizada (FNP, 2007; IBGE, 2006).

Tabela 1 - Área de laranja e citros total e irrigada

	Laranja		Citrus	
	Área colhida Total (Hectares)	% Irrigada	Área colhida Total (Hectares)	% Irrigada
Brasil	596.918	26,39	629.245	26,62
Norte	7.923	34,29	9.262	32,79
Nordeste	64.774	5,90	71.228	9,39
Sudeste	495.544	29,80	518.977	29,69
Sul	23.696	3,81	24.268	3,88
Centro-Oeste	4.993	48,55	5.487	50,43

Fonte: IBGE - Censo Agropecuário (2006)

A irrigação localizada vem crescendo destacadamente no cenário mundial mostrando ser um mercado promissor quando comparado aos outros sistemas que já se encontram com sua demanda e oferta estabilizadas. Com esse sistema de irrigação, o volume de água aplicado é reduzido e restrito a uma parcela de solo, reduzindo-se as perdas por evaporação (ROCHA, 2008).

O estresse nas plantas induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do vegetal, sendo um fator externo que interage com a produção agrícola. Para que ocorra a indução floral em citros as plantas necessitam de algum tipo de

estresse. Esse estresse é ocasionado principalmente por déficit hídrico (estresse hídrico) e baixas temperaturas. O vigor do florescimento em citros é tão maior for a intensidade dos estresses hídricos e/ou térmico, sem que haja desfolha significativa da planta.

Entretanto, apesar da necessidade de considerar o estresse hídrico para o florescimento, condições extremas de seca podem prejudicar o desenvolvimento e produção, necessitando irrigação para amenizar efeitos drásticos (CASTRO, 1994).

Dessa forma, fundamentando-se na hipótese de que um estresse menos severo, na forma de irrigação intermitente, causa menores danos à cultura, reduzindo uma desfolha excessiva, preservando o sistema radicular e proporcionando uma menor temperatura foliar e módulo do potencial de água na folha, comparado com um estresse contínuo e prolongado, o presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito do estresse hídrico e da fração de área molhada (100% e 12,5%) nas relações hídricas da laranjeira Valência, sob dois tipos solo e porta enxertos de citrumelo Swingle e limão Cravo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Revisão bibliográfica

2.1.1 Relações hídricas em citros

O consumo anual de água pelas plantas cítricas varia de 600 a 1.200 mm. Os dados de diferentes regiões do mundo mostram que o consumo dos citros no inverno é em torno de 1,5 mm dia⁻¹ e no verão, de 3,2 a 4,7 mm dia⁻¹. A transpiração de árvores de lima ácida Tahiti, estimada pelo método do balanço de calor no caule (fluxo de seiva), nas condições de Piracicaba (SP), foi, em média, de 90 L planta⁻¹ dia⁻¹, no verão, e 36 L planta⁻¹ dia⁻¹, no inverno, para plantas com área foliar total de 90 m² (MARIN et al., 2002).

Plantas cítricas têm a capacidade de conservação de água nos seus tecidos, devido a sua elevada resistência à difusão de vapor d'água dos seus estômatos e a cerosidade das folhas, sendo que, quando a demanda de água pela atmosfera aumenta muito, a taxa de transpiração pode diminuir, em função do aumento da resistência estomática (BONAN, 1996).

Em relação a absorção de água as plantas cítricas possuem razão parte-aérea/radicular desfavorável. O crescimento das raízes ocorre em surtos, de forma semelhante ao da parte aérea, que, com frequência, mas nem sempre, alterna-se com os surtos dos ramos. Nos climas mais frios, o crescimento das raízes tem início na primavera, quando a temperatura supera os 13 °C, o que acontece primeiramente nos solos mais arenosos, que se aquecem mais rapidamente. Até 19 °C, a taxa de crescimento radicular é pequena, acelerando-se daí até 30 °C, tanto para as raízes pioneiras como para as fibrosas (MEDINA et al., 2005).

Os principais porta-enxertos alternativos ao limoeiro Cravo são o citrumelo Swingle representando 23% das novas áreas de plantio e de subenxertia, a tangerina Cleópatra com 15% e a tangerina Sunki com 7% (FUNDECITRUS, 2004). As diferentes combinações de porta-enxerto/copa apresentam comportamentos diferenciados em relação às trocas gasosas e às relações hídricas (CASTLE et al., 1989).

Diferenças no fluxo de seiva foram encontradas em plantas enxertadas com dois porta-enxertos (*Poncirus Trifoliata* L. e *Flying Dragon*) e diferentes número de frutos (YONEMOTO et al., 2004).

Medina; Machado e Pinto (1998) avaliaram, sob deficiência hídrica, a condutividade hidráulica dos porta-enxertos, a taxa de assimilação de CO₂ e o potencial da água nas folhas, em laranjeiras 'Valência' com 18 meses de idade, em vasos, enxertadas em quatro tipos de porta-enxertos: limoeiro 'Cravo', Trifoliata, citrange 'Troyer' e tangerina Cleópatra. Os autores observaram que após a suspensão da irrigação, a queda do potencial da água na folha foi semelhante em todas as plantas, independentemente dos porta-enxertos, porém, sobre 'Cravo', a taxa de assimilação de CO₂ decaiu mais rapidamente e recuperou-se mais vagarosamente. As plantas sobre Trifoliata recuperaram-se em três dias, enquanto as outras não se recuperaram totalmente. A condutividade hidráulica foi superior para o limoeiro Cravo e semelhante entre os demais porta-enxertos.

2.1.2 Irrigação e percentual da área molhada em citros

Para Bernardo; Soares e Mantovani (2006), a fração de área molhada (Pw) representa a relação entre a área molhada pelo(s) emissor(es) e a área representada pelo espaçamento entre plantas. O diâmetro máximo do bulbo molhado por emissor sempre que possível deve ser medido diretamente no campo, entretanto a literatura pertinente apresenta tabelas para estimativa do diâmetro máximo molhado em função da textura e do grau de estratificação do solo e da profundidade da raiz.

A área molhada por um emissor (AW) pode ser estimada pelo diâmetro máximo do bulbo molhado por emissor (W) por:

$$A_w = W^2 \frac{\pi}{4} \cong 0,8 W^2 \quad (1)$$

Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2006), a fração de área molhada para culturas mais espaçadas como a laranja deve ser maior que 33% em regiões áridas e maior que 20% em regiões úmidas, para evitar problemas de tombamento das árvores devido à ação do vento. Já para Pizarro (1990), valores de Pw na ordem de 30 a 40% são suficientes. Com valores menores, corre-se o risco de os mesmos

serem insuficientes em relação ao consumo de água pela planta, ao passo que acima dessa faixa a situação é mais segura, entretanto o custo de implantação do sistema torna-se mais elevado.

Essa relação depende do volume e da vazão em cada ponto de emissão, do espaçamento entre emissores e do tipo de solo que está sendo irrigado (KELLER; BLISESNER, 1990; PIZARRO, 1990), sendo este, um dos primeiros parâmetros a se definir em um projeto de irrigação localizada para culturas perenes.

De acordo com Intrigliolo; Coniglione e Germana (1994), em solos de textura média a arenosa, deve-se instalar de cinco a seis gotejadores por planta. Segundo esses autores, o rendimento da laranja 'Valência' foi maior quando se utilizaram cinco gotejadores por planta, dispostos ao longo da linha lateral, em comparação ao uso de três gotejadores por planta. O sistema com cinco gotejadores também foi melhor quando comparado ao da microaspersão. Os gotejadores podem ser dispostos em uma ou duas linhas laterais por fileira de plantas ou, ainda, em uma linha lateral com ramificação ao redor do tronco (disposição em anel ou rabo-de-porco).

Rocha (2008) avaliou as respostas fisiológicas de lima ácida 'Tahiti' a pequenas porcentagens de área molhada (2 a 17%), em um pomar de 1 ha de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) enxertada em citrumelo 'Swingle' (*Poncirus trifoliata* (L.) x *Citrus paradisi* Macf.) em Piracicaba, SP. As diferentes porcentagens de área molhada foram dadas por diferentes números e tipos de gotejadores, de forma a aplicar sempre a mesma lâmina de irrigação. Os resultados foram verificados que não houve diferença significativa entre os tratamentos para condutância estomática, transpiração e temperatura foliar, porém esta última foi sempre superior à temperatura do ar, podendo ser um indicador de estresse hídrico. Quanto ao potencial hídrico das folhas, o tratamento não irrigado apresentou menores valores em relação aos tratamentos de maior área irrigada. O tratamento não irrigado também apresentou menores teores de clorofila, principalmente o teor de clorofila b, na face sul (mais sombreada). A produção e a qualidade de frutos não apresentaram diferenças significativas.

Simões et al. (2006) avaliaram a produtividade e o peso médio dos frutos de um pomar de lima ácida Tahiti de quatro anos, submetido a três diferentes disposições de gotejadores em solo arenoso na região semi-árida do Norte de Minas Gerais. O trabalho envolveu três configurações de sistemas de gotejamento: uma

linha lateral por fileira de plantas, passando próxima ao caule; uma linha lateral por fileira de plantas, com ramificação em forma de anel, de 0,80 m de raio em torno da planta; e duas linhas laterais por fileira de plantas, uma de cada lado. Em todos os casos, empregaram-se doze gotejadores. Não observou-se diferença significativa entre os tratamentos quanto à produtividade, nem quanto ao peso médio dos frutos.

Vellame (2010) ao avaliar o efeito do molhamento parcial do solo para plantas jovens de laranja Valência sob porta-enxerto de citrumelo Swingle e limão Cravo em dois tipos de solo, verificou que ocorre redução da transpiração pela restrição da área de solo molhado, sendo esta redução influenciada não só pelo tipo de solo (arenoso e argiloso) e porta-enxerto, como também pelo número de dias após início da irrigação parcial, demanda evaporativa da atmosfera e fase fenológica da planta.

Souza et al. (2003) avaliaram a influência da porcentagem de área molhada sobre a produção de lima ácida 'Tahiti', em Visconde do Rio Branco, MG. Os tratamentos se constituíram de três porcentagens de área molhada (15, 31 e 46%). A porcentagem de área molhada não afetou significativamente a produção das árvores de lima ácida 'Tahiti'. A PW (fração de área molhada) 15% proporcionou frutos com teor de sólidos solúveis maior, seguida pela PW 31% e, por último, PW 46%, sendo que esta diferença significativa não influenciou a qualidade do fruto.

2.1.3 Estimativa da transpiração pela sonda de dissipação térmica

Granier (1985) desenvolveu um método que permite a determinação da densidade de fluxo de seiva no caule possibilitando, assim, a estimativa do fluxo de seiva. O autor relacionou a velocidade de dissipação de calor aplicado pontualmente no tronco com a densidade de fluxo de seiva, sob o pressuposto de que a variação temporal da diferença de temperatura entre este ponto e um ponto abaixo do mesmo é ocasionada pelo transporte convectivo de calor pela seiva.

Para a sonda de dissipação térmica as maiores fontes de erro estão correlacionadas à determinação da área da seção condutora de seiva, à distribuição espacial do fluxo no caule e à presença de gradientes térmicos naturais no tronco.

Delgado-Rojas et al. (2007), baseados em medidas lisimétricas em citros, concluíram que o método pode ser aplicado com adequada exatidão desde que os efeitos dos gradientes térmicos naturais no caule sejam corrigidos.

Em manga, Lu e Chacko (1998) encontraram boa concordância entre os valores de transpiração medidos por gravimetria e o fluxo de seiva em escala diária pelo método da sonda de dissipação térmica. Vellame et al. (2009), também em manga, encontraram boa concordância com a transpiração diária, ao corrigir os gradientes térmicos naturais e modificar os parâmetros empíricos da equação geral de Granier. Silva et al. (2004) ajustaram uma equação com os dados obtidos por gravimetria e pela sonda de dissipação térmica em plantas de kiwi, obtendo boa correlação.

Tem-se utilizado a densidade de fluxo de seiva para estimar a transpiração de grandes áreas vegetadas, com base em várias técnicas de integração (GRANIER; BRÉDA, 1996; WULLSHLEGER; WILSON; HANSON, 2000). O método também tem sido utilizado na investigação de efeitos ambientais na variação da transpiração em condições de campo, como em fisiologia do estresse (MASSAI et al., 2000) e fitossanidade (PORTEN; SCHMID; RUHL, 2000).

Vários métodos de correção foram propostos visando minimizar a influência de gradientes térmicos naturais em medidas de fluxo de seiva. Esses métodos, entretanto, podem ser ineficientes em condições de alta variabilidade espacial e temporal dos gradientes (DO; ROCHETEAU, 2002).

A determinação da área condutora do fluxo de seiva é uma fonte de erro do método e ao exigir a retirada de uma amostra do lenho ou da destruição total da planta, torna-se um procedimento desvantajoso. Essa determinação se faz necessária para a estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier visto que a sonda de dissipação térmica determina a densidade de fluxo no local de inserção (VELLAME, 2010).

O método da sonda de dissipação térmica, utilizando-se os coeficientes originais da equação de Granier (1985), subestimam os valores de fluxo de seiva em escala diária, sobretudo em condições de maior fluxo, em algumas espécies. Neste sentido, se faz necessário um ajuste com algum valor real. Silva et al. (2004), em plantas de kiwi, ajustaram uma equação polinomial de 2º grau aos valores de fluxo de seiva, com base em medidas lisimétricas, obtendo coeficientes de determinação aceitáveis.

2.1.4 Fisiologia do estresse em citros

O estresse é definido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanentes (LARCHER, 2000). Para Taiz e Zeiger (2004), o estresse é um fator externo que exerce uma influência desvantajosa para a planta. O déficit hídrico é definido como um conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação. O estresse hídrico interfere em diversos fatores da planta, como a inibição da fotossíntese no cloroplasto. Além disso, pode causar diminuição da área foliar, abscisão foliar (síntese de etileno), acentuado crescimento da raiz e fechamento estomático (ácido abscísico).

O estresse hídrico pode trazer benefícios e prejuízos para cultura do citros. Como benefício, Southwick e Davenport (1987) apud Silva (2005), mostraram que plantas de lima ácida Tahiti podem ter sua florada induzida para produção intensificada e fora de época por um período curto de estresse hídrico seguido de boas condições para crescimento e desenvolvimento dos frutos. Como efeito negativo, o estresse pode diminuir a produtividade das plantas principalmente se ocorrer durante o período de florescimento e fixação dos frutos (CASTEL; BUJ, 1990). A redução de água no solo faz com que a planta feche os estômatos, diminuindo a evapotranspiração e as trocas gasosas, porém sabe-se que um suave estresse hídrico otimiza a partição de carboidratos para as partes reprodutivas e controla o crescimento vegetativo.

Quando a demanda de água da planta e da atmosfera é suprida pela intensidade de fluxo de água do solo para a raiz, a água encontra-se disponível para as plantas. A planta entrará em estresse hídrico quando esse fluxo de água não mais suprir essa demanda. A partir do início do estresse hídrico iniciam-se alterações bioquímicas nas plantas, que intensificam a síntese de etileno, provocando a queda de folhas, reduzindo a área foliar, diminuindo assim a perda de água pelas plantas por evapotranspiração e aumentando nas folhas remanescentes o seu potencial hídrico (CASTRO, 1994).

Pire e Rojas (1998), estudando o efeito do estresse hídrico na produção de brotações vegetativas e florais em lima ácida 'Tahiti', constataram que o crescimento de brotos vegetativos e reprodutivos com irrigação contínua (sem estresse hídrico),

foi bem menor em comparação com os tratamentos que tiveram 4, 8 e 12 semanas de estresse hídrico. Verificaram ainda que a atividade floral decresceu linearmente com a diminuição do estresse hídrico e que a atividade vegetativa na planta era grande até um potencial de água na folha de -2MPa, quando, a partir desse índice ocorreu um aumento da atividade floral em relação à atividade vegetativa.

A indução de florescimento em citros ocorre com a parada de crescimento vegetativo durante o período de seca, sendo que nessa fase as gemas vegetativas sofrem diferenciação para gemas florais. Em condições tropicais, com períodos de seca, o repouso vegetativo é motivado por estresse hídrico e dependendo da intensidade e de sua duração, pode resultar em florescimento concentrado em uma só uma época (ORTOLANI et al., 1991). Quanto menor o potencial de água nas folhas, maior será o crescimento de ramos com flores e maior o número de flores por inflorescência, consequentemente, quanto maior o período de estresse hídrico, maior o número de brotos florais em relação aos brotos vegetativos. Por outro lado, períodos longos de estresse hídrico podem provocar diminuição do crescimento das raízes que afetam diretamente a síntese de diversos hormônios alterando o balanço hormonal das plantas (BARBERA et al. 1985).

Medina et al. (1999) estudaram os efeitos da deficiência hídrica em laranja 'Valência' enxertada em limão 'Cravo' e em 'Trifoliata' e observaram ao voltar a irrigar as plantas após o estresse hídrico, que o potencial da água na folha recuperou-se em 12 horas na 'Valência' em 'Trifoliata' e em 36 horas na 'Valência' em 'Cravo'; a variedade 'Valência' sobre 'Trifoliata' teve uma recuperação total da taxa de fotossíntese, transpiração e da condutância estomática três dias após as irrigações, enquanto na 'Valência' em 'Cravo' a recuperação foi parcial. Esses resultados indicam que o porta enxerto 'Trifoliata' possibilitou nesse experimento uma maior demora para que tivesse início o efeito da deficiência hídrica sobre a taxa de fotossíntese e que sua recuperação foi mais rápida. Esse trabalho tende a comprovar os comportamentos diferentes de porta enxertos diante do estresse hídrico.

Silva (2005) cita a estratégia proposta por Chalmers et al. (1981) de irrigar com um déficit controlado (RDI) em períodos fenológicos que não são prejudiciais a cultura, sendo que, para tanto é necessário o bom conhecimento da supressão hídrica nesses períodos. Souza et al. (2004) avaliaram a influência do período de estresse hídrico sobre a distribuição temporal da produção da lima ácida 'Tahiti',

através de quatro diferentes durações do estresse e concluíram que o tempo de estresse hídrico proporciona aumento da produção no período subsequente do estresse, porém reduz a produção durante o seu período. A produção total anual não tem diferença significativa, porém a duração do estresse influenciou significativamente a época e sazonalidade da produção. A importância desses resultados está relacionada ao manejo a ser feito na irrigação para que se tenha produção no período de entressafra.

Silva (2005) desenvolveu um trabalho para estudar o efeito do esgotamento da água disponível no solo na evapotranspiração da cultura, transpiração, condutância estomática, assimilação de CO_2 , potencial de água na folha ao amanhecer e ao meio dia. O autor mostrou que com 43% de água disponível ocorreu uma diminuição na evapotranspiração, resultado próximo a 46% recomendado por Allen et al. (1998). Nesse momento o potencial de água na folha era de $-0,79\text{MPa}$. Quanto às trocas gasosas, mostrou que com 60% de água disponível e potencial de água na folha de $-0,62\text{MPa}$, os valores começaram a diminuir.

Souza et al. (2004) fez medições da absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela limeira ácida 'Tahiti' sob diferentes condições de estresse hídrico, e mostrou que as plantas irrigadas absorveram mais radiação fotossinteticamente ativa que plantas em condições de estresse. Os resultados confirmam os obtidos por outros autores, como Costa et al. (1997) e Collino et al. (2001), que trabalharam com outras culturas, como fava e amendoim respectivamente. Silva et al. (2006) estudaram a supressão hídrica em diferentes períodos fenológicos de plantas de lima ácida 'Tahiti', e não acharam diferença significativa no desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e qualidade de fruto pela supressão da irrigação para qualquer período fenológico.

Outro indicador de estresse hídrico é a temperatura foliar, pelo fato de que a água transpirada resfria a folha. Portanto, conforme o teor de água no solo diminui, a transpiração diminui e a temperatura das folhas aumenta, ficando mais alta que a temperatura do ar, devido à maior absorção da radiação (FOLEGATTI, 1988).

2.1.4.1 Indicadores de estresse hídrico

Esforços têm sido dirigidos cada vez mais, para determinar como a água se move através do sistema da solo-planta-atmosfera e como o metabolismo da planta

é afetado. Indícios de estresse hídrico na planta podem ser verificados por mudanças no crescimento da planta, dos diâmetros do caule/ramos e de biomassa.

A mensuração do potencial mátrico da água no solo tem sido adotada como uma ferramenta importante nos trabalhos relacionados ao manejo da irrigação, mostrando-se como bom indicador de déficit de água no solo. O potencial mátrico descreve o estado de energia da água no solo e é crítico para as análises de fluxos de água, estimativa do armazenamento de água no solo e para a relação solo-água-planta.

O potencial da água na folha é utilizado como bom indicador de estresse da planta (HSIAO, 1973). Entretanto, esse indicador apresenta uma acentuada variação diurna mesmo na ausência de estresse hídrico. O potencial da água na folha cresce rapidamente do nascer do sol ao meio da tarde, quando há boa disponibilidade de água no solo, ou seja, quando o potencial mátrico do solo é baixo. Neste momento a abertura dos estômatos não é mais dependente da radiação solar. (HARDIE; CONSIDINE, 1976; CARLSON et al., 1979).

O potencial da água na folha, antes do amanhecer, ou potencial de base, o qual corresponde à medição feita pela manhã, antes do sol nascer, descreve o estado hídrico da planta em equilíbrio com a água do solo e independe das condições ambientais (BERGONCI; PERREIRA, 2000).

A temperatura do dossel tem sido utilizada como indicador de estresse hídrico desde os anos 60 (BEN-GAL et al., 2009).

A temperatura foliar é uma técnica de fácil execução e não destrutiva. Para plantas sob as mesmas condições de demanda atmosférica, mas com diferentes condições de disponibilidade hídrica, podem apresentar temperatura foliar diferenciada, sendo a termometria por infravermelho uma das técnicas mais adequadas para essa avaliação, por permitir a determinação a distância, a temperatura de uma superfície, no caso, de um dossel vegetativo (ANGELOCCI, 2002).

2.1.5 Sistema radicular no citros

A compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando também se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no

perfil. (VASCONCELOS, 2003). As taxas de crescimento, a extensão, a distribuição e o volume total das raízes constituem informações fundamentais para aperfeiçoar tratamentos culturais como adubação, irrigação localizada e subsolagem (MACHADO; COELHO, 2000).

Coelho et al. (2002), nos tabuleiros costeiros, estudando a distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso, concluiu que a distribuição de água no solo, sob irrigação localizada, constitui uma variável determinante nos padrões de distribuição das raízes no solo.

Já Alves Júnior et al. (2004), em Piracicaba-SP, estudando a distribuição do sistema radicular de plantas de lima ácida 'Tahiti' submetidas a diferentes lâminas de irrigação, concluíram que em plantas com 33 meses de idade a irrigação não influenciou na distribuição de raízes em profundidade. Entretanto, a irrigação influenciou na distribuição horizontal. As plantas irrigadas com 75% e 100% da evapotranspiração da cultura mostraram distribuição horizontal de raízes concentradas a 0,6m horizontalmente distante do tronco.

Na região sudeste brasileira, principal produtora de citros, a estação seca coincide com período de baixa demanda atmosférica. Em contrapartida, períodos de alta demanda, acontecem na estação chuvosa, possibilitando o desenvolvimento do sistema radicular fora do bulbo molhado do sistema de irrigação localizada (COELHO, 2007).

Machado et al. (2001) realizaram um estudo para analisar a adaptação fisiológica a irrigação localizada do porta-enxerto limão 'Cravo' em plantas adultas de lima ácida 'Tahiti', submetidas a diferentes porcentagens de área molhada no solo, visando quantificar o aumento da atividade radicular à medida que se diminui o volume do solo irrigado. Nesse estudo concluíram que a atividade radicular do porta-enxerto limão 'Cravo' demorou aproximadamente cem dias para aumentar sua capacidade de absorção de água, comparando-se uma planta com 24,2% da projeção da copa irrigada a outra com 12,2%.

Barros (2007) estudou a distribuição da solução no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial verificando que em relação aos sistemas superficiais, os sistemas localizados enterrados apresentaram menor área superficial molhada e atingiram uma maior largura e profundidade em relação ao ponto de emissão.

Souza (2004) em um estudo de distribuição de água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento concluiu que ao se dobrar a vazão do gotejador, no caso 2L.h^{-1} para 4L.h^{-1} , diminui-se o movimento vertical da água e se aumentou o movimento horizontal, de forma a favorecer a redução por percolação. No mesmo trabalho o autor afirma que o volume aplicado por dois gotejadores sobrepondo os bulbos molhados, aumentou a uniformidade de distribuição de água no solo, porém ao mesmo tempo reduziu a umidade média dentro do volume de solo molhado, evidenciando-se a necessidade de se estudar espaçamento entre gotejadores.

Souza et al. (2007) ao avaliar o sistema radicular da laranjeira 'Pêra' *Citrus sinensis* (L.) Osb., enxertada em limoeiro 'Rugoso' *Citrus jambhiri* Lush., sob sistema irrigado com microaspersores e sob sequeiro, em um Neossolo Quartzarênico, verificaram que maiores densidades de raiz encontram-se na profundidade de 0–0,20 m, independentemente das condições hídricas do solo.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização e caracterização do experimento

O experimento foi conduzido de outubro de 2010 à setembro de 2011, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido, situado no município de Piracicaba - SP, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude $22^{\circ} 42' 32''$ S, longitude $47^{\circ} 37' 45''$ W e altitude de 548 m (Datum WGS84) (Figura 1).

O clima da região, na classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, isto é, subtropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto), caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio, inferior a 18°C .

A casa de vegetação tinha a cobertura de filme plástico de polietileno transparente, de $150\text{ }\mu\text{m}$ de espessura e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação luminosa. Foram distribuídas, em uma área útil de 160 m^2 , 56 caixas de cimento amianto de 500 L, nas dimensões: 0,92 m de largura, 1,08 m de comprimento e altura de 0,65 m, distribuídas em quatro faixas com 14 caixas cada, mantendo uma distância de 120 cm das laterais da estufa.

Figura 1 - Localização e vista geral do experimento

Os solos utilizados neste trabalho foram: Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, denominado “Série Sertãozinho” e Nitossolo Vermelho eutrófico, fase argilosa, denominado “Série Luiz de Queiroz”. As características físico-hídricas determinadas por Chaves (2009) estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise físico-hídrica dos solos utilizados no experimento: umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de água disponível (CAD), densidade do solo (D_s), densidade de partículas do solo (D_p), porosidade total do solo (PT) - (Fonte: CHAVES, 2009)

Camada (cm)	CC*	PMP*	CAD (mm)	D _s	D _p	PT (%)	Frações granulométricas			Classe Textural
							Areia	Silte	Argila	
	$g.g^{-1}$	$g.cm^{-3}$	%							
Latossolo Vermelho Amarelo “Série Sertãozinho”										
0 - 15	0,148	0,069	18,1	1,53	2,65	42,3	75,1	7,8	17,1	Franco- Arenoso
15 - 30	0,151	0,065	19,4	1,50	2,65	43,4	74,5	8,0	17,5	
30 - 45	0,143	0,078	16,5	1,69	2,64	36,0	74,4	8,6	17,0	
Nitossolo Vermelho eutrófico “Série Luiz de Queiroz”										
0 - 15	0,321	0,205	22,3	1,28	2,70	52,6	31,3	14,8	53,9	Argiloso
15 - 30	0,333	0,207	24,0	1,27	2,70	53,0	31,0	16,1	52,9	
30 - 45	0,340	0,218	24,0	1,31	2,71	51,7	30,1	17,3	52,6	

*CC - umidade correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 4,85 kPa para respectivos solos; PMP - umidade correspondente ao ψ_m de 1500 kPa

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, tipo botão autocompensado (PCJ-CNL) com três vazões diferentes em função do tratamento irrigado. Essas diferentes vazões visavam facilitar o controle do tempo de irrigação. Em cada gotejador adaptou-se um tê de derivação, microtubos e haste plástica na extremidade de cada microtubo para fixação no solo, permitindo assim melhor

distribuição da água em toda a superfície da caixa. A irrigação era realizada de forma independente para cada tratamento, utilizando-se de um sistema de controle composto de um programa computacional que comandava, através da porta serial do computador, um circuito eletro-eletrônico que acionava a moto-bomba e a válvula elétrica de cada caixa individualmente.

A condução dos primeiros 24 meses de idade das plantas compreendeu o desenvolvimento da tese de doutorado de Vellame (2010). Na ocasião, foram preparadas caixas para a execução da irrigação compartimentada (através da divisão das caixas em diferentes proporções de área (50; 25; e 12,5%), utilizando-se de placas de madeira processada - Eucatex - revestidas com lona plástica), bem como o transplântio das mudas (outubro de 2008), conforme a Figura 2.

Até o 17º mês do transplântio, a irrigação foi efetuada em área total, em todas as parcelas, garantindo um desenvolvimento radicular proporcional nos compartimentos, realizando, logo em seguida, a imposição do tratamento de redução de área molhada (12,5%) durante um período de 7 meses (março à outubro de 2010). A partir disso, foram avaliados os efeitos desta imposição nas relações hídricas e frutificação dos diferentes cenários existentes de solo/porta-enxerto/copa (Figura 2).

Figura 2 - Divisão interna dos vasos, plantio das mudas e irrigação na fase inicial e durante a imposição dos tratamentos de diferentes condições de área molhada. (Adaptado de VELLAME, 2010)

Com os resultados deste trabalho, notou-se a importância da continuidade no estudo, através da avaliação de outros parâmetros relacionados ao comportamento das plantas quanto à condição hídrica, além da inclusão de uma nova componente: a deficiência hídrica, frente aos tratamentos já avaliados.

2.2.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ com os tratamentos dispostos em faixas, totalizando 16 tratamentos, constituídos da combinação de: dois tipos de solos (argiloso e franco-arenoso), dois porta-enxertos (limoeiro 'Cravo' e citrumelo 'Swingle'), duas frações de área molhada (100% e 12,5%) e dois níveis de deficiência hídrica: 1) Estresse Contínuo (suspensão da irrigação por 30 dias) 2) Estresse intermitente (sub-lâmina) - aplicação de 30% da ET₀ -. A unidade experimental é representada por uma caixa contendo uma planta de laranja. Na Figura 3 é apresentado o croqui da área experimental. Foram realizadas análise de variância e testes de médias para as variáveis estudadas.

arenoso			argiloso		Linha de Plantio
100% de área molhada	12,5% de área molhada		12,5% de área molhada	100% de área molhada	
Destruída	E2		E1	E3	1
E1	E2		E2	E1	2
E2	E1		E1	E2	3
E2	E2		E2	E2	4
E3	E1		E2	E1	5
E2	E2		E1	E2	6
E1	E1		E2	Ref. - Fluxo de seiva	7
E3	E1		E2	E1	8
E1	E2		E1	E2	9
E2	E1		E1	E1	10
E1	E2		E2	E3	11
E2	E1		E1	E1	12
E1	E2		E1	E2	13
E3	E1		E2	E3	14

Caixas com redução do volume de solo molhado

Caixas com porta enxerto limoeiro 'Cravo'

Caixas com porta enxerto citrumeiro 'Swingle'

Estresse Contínuo (30 dias)

Estresse Intermitente (30 % da ETPM)

Sem estresse (Irrigação elevando a Cc)

Figura 3 - Croqui da área experimental

As plantas com 100% de área molhada foram dispostas no perímetro externo a fim de evitar o molhamento das chuvas, já que a estufa não apresentava cortina lateral, para evitar elevadas temperaturas.

2.2.3 Condução da cultura

Após a realização das avaliações inerentes aos tratamentos de Vellame (2010), realizou-se a retirada de todos os frutos, bem como uma poda em todas as plantas, visando diminuir a variabilidade e, de forma geral, facilitar o manejo da condução das mesmas (Figura 4). Para realizar a poda, utilizou-se de podão e alicates, devidamente higienizados com solução de hipoclorito de sódio à 0,5 %. Nesta mesma época (Janeiro de 2011), amostrou-se o solo das caixas, nos diferentes tratamentos analisados anteriormente (solo, Aw, PE) para avaliação química do solo.

Figura 4 – Experimento nas suas diferentes épocas de desenvolvimento; Amostragem do solo

De posse desses resultados e corroborando com recomendações da literatura para espécies cítricas, realizaram-se as devidas adubações de correção e manutenção das plantas. Foi realizada adubação complementar mediante os estágios de desenvolvimento das plantas utilizando-se de fertilizantes sólidos (MAP, nitrato de cálcio e cloreto de potássio, sendo aplicados: 9,8; 6,8 e 19 g planta⁻¹ mês⁻¹, respectivamente) e fertilizantes foliares, sendo uma mistura de nutrientes contendo 10% de nitrogênio, 3% de enxofre, 1% de magnésio, 3% de zinco, 2% de manganês, 0,5% de boro e 0,1% de molibdênio, e de CaB, contendo 8% de cálcio e 0,5% de boro, aplicados com bomba costal e/ou via fertirrigação.

2.2.4 Conteúdo de água no solo

As características físico-hídricas determinadas por Chaves (2009) estão apresentadas na Tabela 1 e os parâmetros da curva de retenção (eq. 2) na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r) e dos parâmetros (α , n e m) do modelo de van Genuchten para os solos utilizados no experimento (Fonte: CHAVES, 2009)

Camada (cm)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	α (cm ⁻¹)	m	n
Latossolo Vermelho Amarelo "Série Sertãozinho"					
0 - 15	0,421	0,098	1,3464	0,1799	2,7175
15 - 30	0,412	0,085	1,5708	0,1648	2,5028
30 - 45	0,374	0,122	1,1291	0,2749	1,5619
Nitossolo Vermelho eutrófico "Série Luiz de Queiroz"					
0 - 15	0,529	0,246	0,4144	0,5187	0,8650
15 - 30	0,564	0,246	0,2187	0,8555	0,6068
30 - 45	0,561	0,261	0,2799	0,5997	0,6985

A umidade do solo foi calculada pela equação de van Genuchten (1980) (eq. 1), com base nos parâmetros apresentados anteriormente.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha |\psi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

em que:

$\theta (\psi_m)$ - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em m³ m⁻³;

θ_r - umidade volumétrica residual do solo, em m³ m⁻³;

θ_s - umidade volumétrica do solo saturado, em m³ m⁻³;

m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

α - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa⁻¹; e

ψ_m - potencial mátrico, em kPa.

A variação de volume de água armazenado no solo foi determinada pela variação na umidade volumétrica já que o volume total de solo é conhecido. O potencial da água no solo foi medido por meio de tensiômetros instalados a 0,15 e 0,45 m de profundidade em todos os compartimentos das caixas. Foram instalados transdutores de pressão (MPX5100 – Motorola) em 48 tensiômetros (6 caixas) a fim de um monitoramento contínuo. As leituras nos demais tensiômetros (leitura manual), foram realizadas em um intervalo máximo de três dias utilizando um tensímetro de punção. Com as leituras médias do potencial mátrico (ψ_m) para cada tratamento, foi calculada a necessidade de irrigação para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

2.2.5 Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base em dados de umidade do solo obtidos a partir de leituras de tensiômetro / curva de retenção, de acordo com os tratamentos adotados.

Durante o período de janeiro à julho de 2011, a irrigação foi realizada de forma a garantir um desenvolvimento uniforme do sistema radicular. Para tanto, no compartimento correspondente a 50% da caixa foi aplicada uma vazão de 4 L h^{-1} , no compartimento de 25% uma vazão de 2 L h^{-1} e para os compartimentos de 12,5%, 1 L h^{-1} . Nas caixas não divididas foram usados gotejadores de 8 L h^{-1} com divisores de descarga. A metodologia de manejo apresentada acima inicialmente foi adotada para todos os tratamentos. Para a época da diferenciação dos tratamentos de deficiência hídrica, a irrigação foi suspensa totalmente ou aplicada a uma razão de 30% da evapotranspiração de referência, determinada pelo método de Penman-Monteith (ET_0).

Ao final da imposição da deficiência hídrica foram retiradas 24 amostras de solo (uma para cada combinação de tratamentos) para quantificação da umidade através da metodologia gravimétrica, uma vez que os tratamentos chegaram a níveis baixos de umidade ($\psi_m < -90 \text{ kPa}$), não sendo possível a medida por tensiometria. As amostras retiradas foram colocadas em recipientes de alumínio com peso já determinado e com boa vedação, sendo posteriormente pesadas (m_u), levadas à estufa ($105 \text{ }^\circ\text{C}$) por 48 horas e pesadas novamente (m_s) e calculada a umidade atual do solo com a eq. (3).

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (3)$$

em que:

U - umidade gravimétrica, em g g^{-1} ;

m_u - massa de solo úmido, em g; e

m_s - massa de solo seco em estufa, em g.

Essa metodologia não foi realizada em todas as repetições por ser uma metodologia destrutiva, em que o solo é removido, alterando as condições da parcela amostrada e podendo danificar o sistema radicular das plantas.

2.2.6 Variáveis meteorológicas

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método padrão da FAO, conforme a eq. (4).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (DPV)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (4)$$

onde:

ET₀ - evapotranspiração de referencia, em mm dia⁻¹;

R_n - saldo de radiação na superfície, em MJ m⁻² dia⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, em MJ m⁻² dia⁻¹;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, em °C;

u₂ - velocidade do vento a 2 m de altura, em m s⁻¹;

DPV - déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor, em kPa °C⁻¹; e

γ - constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹;

As variáveis meteorológicas monitoradas foram radiação solar global, por meio de piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.) e umidade relativa e temperatura do ar, por meio de sensor Vaisala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Os sensores estavam instalados a 2,0 m de altura no centro da estufa. Os dados foram adquiridos a cada 30 segundos e integrados inicialmente a cada 15 minutos por meio de sistema de aquisição ou “datalogger” (Campbell CR1000).

Com os dados meteorológicos diários foi calculada a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹) pelo método padrão da FAO (ET₀). Como a velocidade do vento no interior da estufa é muito baixa, esse valor foi fixado em 0,5 m s⁻¹. O Boletim FAO 56 recomenda que, em geral, a velocidade do vento a 2 m (u₂) deve ser mantida em um valor mínimo de 0,5 m s⁻¹, quando utilizada na equação de ET₀. Isso é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar que promovem a troca de vapor à superfície quando o ar está calmo. Este efeito ocorre quando a velocidade do vento é baixa e a flutuação de ar

quente provoca a troca de ar na superfície. Estabelecendo-se o valor de u_2 igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$ na equação ET0, melhora-se a precisão da estimativa nas condições de velocidade do vento muito baixas (ALLEN et al., 1998).

2.2.7 Análise das plantas

2.2.7.1 Consumo de água pelas plantas após a adaptação radicular

Após 225 dias da imposição do tratamento de fração de área molhada (12,5% A_w), 69 dias após a adaptação do sistema radicular realizados por Vellame (2010), realizou-se a irrigação do volume total do solo, elevando-o a capacidade de campo, sendo suspensas as irrigações durante o período de avaliação, que consistiu no acompanhamento diário do consumo hídrico em cada compartimento das caixas pela variação no armazenamento de água.

2.2.7.2 Avaliação do sistema radicular

Em Janeiro de 2011, amostrou-se o sistema radicular de todas as plantas, para cada compartimento existente. A coleta foi realizada com um cilindro de aço de 20 cm de comprimento e 7,1 cm de diâmetro, com a umidade no solo, na profundidade de 0-20 cm, próxima da capacidade de campo. As raízes foram separadas do solo por imersão em água sendo, posteriormente, realizado o peneiramento em recipientes com malha de 2,0 mm. Após, foram secas à sombra, seguida de estufa com circulação forçada de ar, a 70°C , por 96 h, para estabilizar o peso das amostras. Em seguida, as raízes foram separadas das impurezas (solo e palha) e procedeu-se à pesagem em balança semianalítica.

Anteriormente a secagem à estufa, as amostras foram digitalizadas e processadas pelo programa Safira, desenvolvido pela EMBRAPA/Instrumentação Agropecuária (JORGE; SILVA, 2010), determinando o somatório do comprimento das raízes e a determinação da densidade de raízes (cm cm^{-3}).

2.2.7.3 Transpiração das plantas

A transpiração das plantas foi estimada por medidas de fluxo de seiva, oriundas de dados gerados pelo uso de sondas de dissipação térmica (método Granier). Um método que utiliza duas sondas instaladas no caule da planta, sendo uma delas aquecida a uma potência constante e a outra não aquecida (sonda de referência), conforme a Figura 5. As sondas foram instaladas no período do ensaio anterior (Janeiro de 2011), sendo realizada somente a manutenção (troca) de sensores defeituosos ou com problemas. A densidade de fluxo de seiva foi obtida, conforme Granier (1985), pela relação existente entre a densidade de fluxo de seiva (F_d) e a diferença de temperatura (Δt) entre as duas sondas, conforme eq. 5:

O fluxo de seiva – F_d ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) é calculado considerando a área da seção efetiva do caule que conduz a seiva bruta – AS (m^2), em que:

$$F_d = 118,99 \times 10^{-6} \left(\frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} AS \quad (5)$$

Figura 5 - Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (DELGADO-ROJAS, 2003)

2.2.7.3.1 Construção e instalação de sondas de dissipação térmica

Os sensores de dissipação térmica foram confeccionados em conformidade com Granier (1985). As sondas foram construídas com 1 cm de comprimento utilizando-se termopares de cobre e “constantan” de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de 1,0 mm, preenchidas com resina para fixação.

Para instalação das sondas foram feitos dois furos no caule de diâmetro igual ao da cápsula inserida. A cápsula de aço inox tem comprimento igual ao da sonda e diâmetro interno ligeiramente superior ao da sonda (1,5 mm). As sondas foram revestidas de pasta térmica para uma melhor condução do calor, e inseridas na cápsula. Para garantir uma boa fixação foi aplicado silicone externamente. Após a instalação das sondas, o segmento de caule foi revestido acima e abaixo com papel laminado e colocada, no local do sensor, uma proteção com papel laminado no formato de saia (Figura 6). Esse procedimento minimiza o efeito dos gradientes térmicos naturais, segundo Vellame et al. (2010).

Figura 6 - Detalhe dos passos para construção das sondas de dissipação térmica; Instalação das sondas de dissipação térmica. (Adaptado VELLAME, 2010)

2.2.7.3.2 Calibração

Para calibrar a equação de estimativa do fluxo de seiva foram efetuadas medidas de transpiração em uma planta com um lisímetro, o qual, para isso, teve a sua superfície coberta com lona plástica preta, para evitar perdas por evaporação. O coeficiente angular da equação 5 foi modificado a fim de minimizar os desvios absolutos entre o fluxo de seiva acumulado em 24h e a transpiração diária, medida pelo lisímetro.

2.2.7.3.3 Gradientes térmicos naturais

As diferenças térmicas naturais (DTN) foram medidas em todas as plantas com as sondas não aquecidas nos dias 20, 21 e 22 de julho de 2010 e correlacionadas com 1 sonda de referência, tomadas como referência, para gerar, por meio de regressão linear, modelos de estimativa para cada segmento de caule monitorado, conforme a eq 6.

$$DTN_E = a \times DTN_{ref} + b \quad (6)$$

em que,

DTNE - diferença térmica natural estimada para cada sonda, °C;

DTNref - diferença térmica natural da sonda de referência, °C;

a e b - coeficientes empíricos.

Todas as sondas, exceto as tomadas como referência para as DTN, foram ligadas às fontes de corrente constante para aplicação de uma potência elétrica de 0,1 W.

A diferença térmica com o sensor aquecido foi corrigida através da eq. 7.

$$\Delta T = \Delta T_m - DTN_E \quad (7)$$

em que,

ΔT - diferença térmica atual corrigida, °C;

ΔT_m - diferença térmica não corrigida medida pela sonda, °C; e

DTNE - diferença térmica natural estimada para cada sonda, °C.

Mediu-se o diâmetro do caule das plantas no local de inserção da sonda superior. O fluxo de seiva – F_d ($m^3 s^{-1}$) foi calculado com e sem correção das DTN pela equação de Granier. O período de comparação entre as medidas de fluxo de seiva com e sem compensação dos DTN foi de 17 a 30 de janeiro de 2011.

As medidas de diferenças térmicas foram realizadas a cada 30 segundos e se armazenaram as médias das leituras, a cada 15 minutos, em sistema de aquisição e armazenamento de dados ("datalogger" CR1000 Campbell SCi.) associado a dois multiplexadores de canais (AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi.).

2.2.7.3.4 Análise dos dados de transpiração

Para fins de comparação foram calculados valores de K_c (ALLEN et al., 1998) considerando nula a evaporação de água no solo. Foi assumida uma condição hipotética de campo com área ocupada pelas plantas (A) de 28 m^2 (espaçamento $7 \times 4 \text{ m}$). Sendo assim, a área sombreada pelas plantas (P_s) seria em torno de 3,6%. Calculou-se o valor K_i de acordo com a Eq. 9 (KELLER; BLIESNER, 1990)

$$K_i = 0,1\sqrt{P_s} \quad (9)$$

O valor de K_c foi calculado pela Eq. 10 assumindo que o consumo de água pela planta (V) é igual à transpiração média diária das plantas sem restrição de área molhada do solo

$$K_c = \frac{V}{ET_{o_{PM}} K_i A} \quad (10)$$

Após início do tratamento com restrição de área molhada, foram observadas as diferenças na contribuição de cada compartimento durante o processo de secagem do solo nos compartimentos não irrigados.

Após o secagem dos compartimentos não irrigados foi calculado o percentual da transpiração relativa ajustada para 100% de área molhada (P_{Tr}) pela relação entre transpiração de cada planta e a transpiração média das plantas com 100% de área molhada, em função dos estresses analisados. No mesmo sentido, realizou-se a estimativa do $K_{c_{relativo}}$ das plantas, considerando a sua correlação em um momento anterior (julho de 2011).

Os dados de transpiração (Tr) diária foram divididos em grupos de acordo com a ET_0 do dia, em valores com alta e baixa demanda evaporativa da atmosfera. O limite dessas classes foi determinado pelo valor de ET_0 em que a relação Tr/ET_0 muda, pela ação de controle de perda de água pela planta.

2.2.7.4 Crescimento vegetativo

Foram realizadas medidas de área foliar no início e no final das avaliações (agosto 2011 e outubro 2011). Foi contado o número total de folhas de todas as plantas e considerando uma amostragem ideal de 14,29% (1 a cada 7 folhas) das

plantas mediu-se o comprimento C (m) e largura – L (m) das folhas. Esse percentual foi estipulado com base na distribuição de frequência dos dados obtidos da planta considerada representativa, para um erro na estimativa menor que 5% (Vellame, 2010).

A área foliar de cada folha foi calculada pela eq. 8 (COELHO FILHO et al., 2005).

$$AF = 0,72 C L \quad (8)$$

Outra variável de crescimento monitorada foi o diâmetro de caule. Para medidas de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica, a determinação do diâmetro de caule é necessária para a determinação da área condutora de seiva no caule (área efetiva do xilema), podendo então estimar o fluxo de seiva por este método já que a sonda de dissipação térmica determina a densidade de fluxo no local de inserção da sonda.

2.2.7.5 Potencial da água na folha

Para obtenção do potencial da água na folha retirou-se semanalmente duas folhas da porção média de todas as plantas antes do amanhecer, começando 15 dias antes da imposição da deficiência hídrica e encerrando-se 30 dias após o término da mesma. As amostras foram acondicionadas e transportadas segundo os critérios relatados no trabalho de Melo et al. (2007), e as aferições de potencial da água na folha foram efetuadas utilizando uma câmara de pressão (Modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Bárbara, CA, EUA).

2.2.7.6 Temperatura na folha

Na mesma frequência e época das avaliações de potencial de água na folha, aferiu-se a temperatura foliar de folhas maduras da camada superior da planta e expostas ao sol, na direção sul, em uma distância média de 20 cm da folha, em três repetições por planta, sendo amostradas 3 plantas por tratamento+, com termômetro de infravermelho (quick TEMP), ao longo do dia (nos horários das 08:00, 11:00, 14:00 e 17:00). Calculou-se a diferença de temperatura do ar e da folha para todos os tratamentos.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Avaliações referentes ao experimento anterior (Vellame, 2010)

2.3.1.1 Extração de água do solo após 6 meses de irrigação localizada

Esta fase do experimento, teve por finalidade verificar como seria a extração de água do sistema radicular, nos compartimentos de solo que ficaram sem irrigação por 6 meses (compartimentos - 87,5 % Aw) no final da coleta de dados de Vellame (2010), após a umidade ser elevada no ponto de capacidade de campo, em toda zona do sistema radicular das plantas.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de ET₀ acumulado para cada período avaliado após o reumidecimento do solo seco, bem como a porcentagem média do consumo total dos compartimentos em intervalos após a irrigação de elevação da umidade do solo à capacidade de campo. São apresentados, ainda, os coeficientes de variação provenientes de cada avaliação.

Tabela 4 - ET₀ acumulada no período, porcentagem média do consumo total, coeficiente de variação (CV) do total de extração de água em cada compartimento das caixas em um período de 8 dias, após a adaptação do sistema radicular

Horas	ET0 Acumulada (mm)	Argiloso		Arenoso		C. V. (%)
		12,50% Aw	87,50% Aw	12,50% Aw	87,50% Aw	
		(% Consumo Total)				
0	0,00	100,0	0,0	100,0	0,00	-
48	6,44	49,7	50,3	80,3	19,7	52,0
72	9,29	29,7	70,3	16,6	83,4	35,9
96	11,91	20,0	80,0	14,9	85,1	14,8
120	13,84	19,4	80,6	17,0	83,0	28,5
144	16,30	17,8	82,2	15,6	84,4	18,4
168	20,00	15,7	84,3	15,5	84,5	16,1
192	21,58	13,0	87,0	15,1	84,9	18,1

Considerando a adaptação obtida por Vellame (2010), submeteu-se uma irrigação do volume total do solo, elevando-o a capacidade de campo. Nas primeiras 48 horas, observou-se que 50 e 80% da extração de água no solo argiloso e arenoso, respectivamente, procediam da posição em que o sistema radicular estava adaptado, isto é, 12,5% do volume total (Figura 7). Esta relação caiu de maneira drástica no solo arenoso (16,6%), após 72 horas da irrigação e, para o solo argiloso, esta redução foi menos acentuada (29,7%). Após 96 horas, verificou-se uma

estabilização da extração do solo arenoso (14,9%) e menor representação no solo argiloso (20%). Após 192 horas e 21,58 mm de ET₀ acumulada, observou-se uma estabilização na extração de água pelo compartimento de 12,5% do volume total do solo, sendo 15% para arenoso e 13% para argiloso, sendo bem próxima da sua proporcionalidade, mesmo após um longo período do compartimentos não irrigados (156 dias).

Figura 7 - Percentual médio de extração de água pelas plantas pelo compartimento irrigado (12,5%) após período de irrigação parcial

Estes resultados evidenciam que a porção do sistema radicular que ficou sob condição de irrigação localizada (compartimentos - 12,5 % Aw) conseguia redistribuir uma fração da água absorvida, por todo o sistema radicular da planta, em especial para a porção radicular que ficou sob condição de solo seco, mantendo a integridade do sistema radicular nestas regiões secas durante o longo período de déficit hídrico imposto aos compartimentos não irrigados. Segundo Burgess e Bledy (2006) as raízes, em condições de deficiência hídrica, para manter o crescimento tendem a ajustar a pressão mínima exigida nas células em expansão e ocorre o transporte de solutos para a região de alongamento celular na raiz. Este resultado demonstra a evidência desta propriedade de cultivos perenes, sugerindo que esta seja uma atividade importante das raízes: a redistribuição de água dentro da planta, para regiões onde o sistema radicular está seco. Tal processo apresenta-se importante em ambientes em que o regime de chuvas é altamente sazonal e onde são adotados métodos de irrigação localizada.

2.3.1.2 Extração de água pelo solo após 6 meses de irrigação em área total

Após 6 meses (janeiro à julho de 2010) do início da irrigação em área total (Aw 100%), As plantas que tiveram uma irrigação parcial (março a outubro de 2010) fora submetidas à uma irrigação do volume do solo total, elevando a umidade à capacidade de campo novamente, visando verificar se a extração de água no solo estava proporcional em todas as plantas. Na Figura 8, é possível observar que independente do tratamento, o compartimento de 12,5% Aw apresenta um percentual de extração de água no solo equivalente à sua área molhada, independente do tempo decorrente à irrigação.

Figura 8 - Percentual médio de extração de água pelas plantas pelo compartimento irrigado (12,5 %) após readaptação

2.3.1.3 Avaliação do solo

2.3.1.3.1 Densidade de raiz nos compartimentos (100% e 12,5% de Aw)

A análise de variância para este parâmetro indica que os fatores estudados apresentam interação independentemente, havendo interação significativa entre eles (Tabela 5). Ao avaliar os efeitos simples de cada tratamento (solo, área molhada e porta-enxerto), observa-se que somente a área molhada influencia significativamente a densidade de comprimento de raízes por cm^{-3} , indicando que a área molhada proporciona uma adaptação do sistema radicular dos citros. Também foi observado

que existe interação significativa entre o tipo de solo, área molhada (Aw) e porta-enxerto (PE) e entre área molhada e porta-enxerto.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para o comprimento de raízes para as plantas submetidas aos diferentes tipos de solo, área molhada (Aw) e porta-enxerto (PE)

FV	GL	Estatística F
Solo	1	0,01 ^{ns}
Porcentagem de área molhada	1	4,63*
Porta-enxerto	1	2,30 ^{ns}
Solo x Aw	1	12,64**
Solo x PE	1	4,83*
Aw x PE	1	5,43*
Resíduo	41	-
CV (%)		60,49

* Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo à 1% de probabilidade ^{ns}: não significativo.

Na Tabela 6, tem-se o desdobramento da interação solo e área molhada, em que é possível observar uma maior densidade de comprimento de raiz nas plantas do tratamento com 12,5% de área molhada para o tratamento com solo argiloso, sendo então não observada diferença estatística significativa entre a Aw para o solo arenoso. Analisando isoladamente Aw, o solo arenoso tem uma maior densidade de comprimento de raiz para 100% de área molhada (2,29 vezes maior) comparado a solos argilosos. Ao contrário é verificado quando considera-se 12,5% de área molhada, onde o solo arenoso apresenta menor densidade de comprimento de raiz quando comparado com o solo argiloso (40,37% menor).

Tabela 6 - Análise de médias referente a densidade de comprimento de raiz (cm cm^{-3}), em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada.

Tratamento	12,5%	100%
Arenoso	2,23 bA	2,84 aA
Argiloso	3,74 aA	1,24 bB

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Na interação solo e Aw com os porta-enxertos, apresentados na Tabela 7, não houve interação significativa entre os porta-enxertos com os tipos de solo. Porém para o solo argiloso, as plantas com o Cravo diferiram estatisticamente das com Swingle quanto a densidade de comprimento de raiz (98% maior).

Tabela 7 - Análise de médias referente a densidade de comprimento de raiz (cm cm^{-3}), em função do tipo de solo e porta enxerto.

Tratamento	Cravo	Swingle
Arenoso	2,38 aA	2,68 aA
Argiloso	3,30 aA	1,67 aB
12,5%	3,83 aA	2,14 aB
100%	1,86 bA	2,22 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Considerando a interação Aw e porta-enxerto, é verificada interação entre os PE, quando se considera 12,5% de Aw, sendo a densidade de comprimento de raiz 79% maior para o porta-enxerto Cravo. Não houve diferença significativa ao considerar-se 100% de Aw. Analisando os PE's isoladamente, para o porta-enxerto Swingle não houve diferença significativa entre os tratamentos de Aw, o mesmo não acontece para as plantas com limoeiro Cravo, sendo a densidade de comprimento de raiz 2 vezes maior para 12,5% de Aw.

Abreu e Salviano (2007) ao comparar a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil de diferentes porta-enxertos, constatou a superioridade do limão Cravo sobre os demais, sendo que este porta-enxerto apresentou 213 % a mais de raízes que o porta-enxerto citrumelo Swingle.

2.3.1.3.2 Fertilidade do solo

As características químicas do solo argiloso e arenoso e as concentrações de área molhada estão apresentadas na Tabela 8. Haja visto que, durante 9 meses (março à outubro de 2010) a irrigação foi realizada em um volume de restrito do solo, sendo possível observar uma variação entre a disponibilidade de nutrientes, quando contrasta-se 100% e 12,5% de área molhada para ambos os solos.

Neste sentido, tem-se a justificativa da necessidade da poda realizada, bem como a importância da realização de práticas culturais (adubação + manejo de pragas e doenças) na cultura do citros, onde as mesmas devem ser realizadas com maior cautela e rigor, devido à concentração de raízes existentes, considerando utilização de irrigação localizada.

Tabela 8 - Caracterização química do solo inicial (2008) e após irrigação parcial (2010)

Prof. (cm)	Época	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P - (mg dm ⁻³) -	S - (mg dm ⁻³) -	K ----- (mmol _c dm ⁻³) -----	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V %
Arenoso	2008	5,0m	18m	40a	191a	6,7a	24mb	4b	0b	28m	35b	63m	55m
Argiloso	2008	5,6m	14b	9b	311a	7,2a	48mb	14b	0b	25m	69a	97mb	73a
Argiloso (100%)	2010	4,1mb	11b	89ma	229a	4,1a	16m	5m	8m	88a	24	112mb	22mb
Argiloso (12,5%)	2010	3,7mb	13b	130ma	25a	0,6mb	5b	1mb	9m	55a	7b	62m	12mb
Argiloso (87,5%)	2010	3,7mb	12b	129ma	29a	0,8b	5b	1mb	14a	59	7b	66m	11mb
Arenoso (12,5%)	2010	3,8mb	15m	132ma	21a	0,5mb	5b	1mb	4b	51a	7b	58m	13mb
Arenoso (87,5%)	2010	3,9mb	14m	154ma	25a	1,1b	7b	2b	15a	53a	9b	61m	15mb
Arenoso (100%)	2010	3,5mb	11m	104ma	34a	0,5mb	4mb	1mb	12a	65a	5b	70m	8mb

Legenda: mb = muito baixo; b = baixo; m = médio; a = alto; ma = muito alto (Fonte: Raij, 1997)

2.3.2 Avaliação do Estresse

2.3.2.1 Dados Meteorológicos

Durante o período de condução do experimento (01/07/2011 a 30/09/2011), foi anotada a variação dos dados meteorológicos, conforme a Figura 9. Os dados diários de Temperatura, Umidade Relativa, Radiação Solar e Evapotranspiração de referência estão disponíveis no Anexo A.

Durante o período de imposição do estresse hídrico (01/08 a 31/08), o valor máximo de ET₀ ocorreu no dia 29/08/2011, (2,22 mm dia⁻¹), e o valor mínimo incidiu logo após, no dia 31/08/2011 (1,09 mm dia⁻¹), em função da queda abrupta da radiação solar e temperatura, e consequentemente, elevada umidade relativa do ar. Entretanto, em seguida, os valores de radiação solar e temperatura aumentaram, atingindo valor máximo no dia 05/09/2011 (2,79 mm dia⁻¹). As médias do período de imposição do estresse para radiação solar, temperatura média e ET₀ foram, respectivamente, 5,81 MJ m⁻² dia⁻¹, 21,61°C e 1,62 mm dia⁻¹.

Figura 9 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmín), temperatura média (Tmed), umidade relativa máxima (URmax), umidade relativa mínima (URmin), umidade relativa média (URmed), radiação solar (Rs) e evapotranspiração de referência estimada(ET0).

Segundo Pereira et al. (2002) e Sentelhas (2005), na fase de crescimento vegetativo, a maioria das espécies de citros tem seu crescimento, tanto da parte aérea como das raízes, sensivelmente reduzido a uma temperatura diurna constante entre 12°C e 13°C, paralisando-o por volta dos 5°C. Acima de 12°C, a taxa de crescimento da parte aérea da planta, expresso em termos de massa verde, aumenta gradativamente, alcançando a máxima por volta dos 23°C a 31°C. Acima de 32°C, a taxa de crescimento passa a decrescer, até que a partir dos 37°C o crescimento cessa, devido a danos fisiológicos. De acordo com o autor, a

temperatura do ar exerce influência sobre todas as fases de desenvolvimento das plantas cítricas, desde a germinação e crescimento das mudas até a maturação dos frutos.

2.3.2.2 Conteúdo de água no solo

A variação da umidade do solo nos tratamentos, durante o período avaliado, encontra-se apresentada na Figura 10 e 11. Os dados de umidade estão agrupados, mediante a estimativa da umidade pelo potencial mátrico (Tensiometria) exceto para a data de 29 de agosto, período em que foram obtidos os menores valores, sendo que, para esta ocasião, foi adotado o método gravimétrico. De maneira geral, a umidade do solo para o estresse intermitente (E2) foi maior para todos os tratamentos e avaliações, quando comparada com a umidade das plantas submetidas à estresse contínuo (E1).

Na última avaliação pelo método de tensiometria (15 dias após imposição dos tratamentos), é evidente a baixa umidade do solo em todos os tratamentos, sendo o potencial mátrico amostrado no limite do método (< -90 kPa), constituindo mais de 50% da AD (água disponível) total consumida (CC-PMP).

Figura 10 – Média da umidade em base volume para solo arenoso e diferentes porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)

Figura 11 – Média da umidade em base volume para solo argiloso e diferentes porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)

2.3.2.3 Potencial de água na folha

De acordo com a Figura 12 e 13, podemos observar que o estresse hídrico contínuo (E1) influenciou mais o conteúdo de água na folha, causando maior redução em seus teores em comparação ao tratamento sob estresse intermitente (E2). No início do experimento, quando a umidade do solo era próxima entre os tratamentos, a variação do potencial de água na folha era mínima, aumentando com a imposição do estresse hídrico.

Figura 12 – Potencial de água na folha para solo arenoso, nos diferentes estresses e porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), após o solo atingir valores de umidade muito baixos, o fluxo de água do solo para as raízes é bem lenta, pois a condutividade hidráulica do solo é baixa. Mais tarde, essa reidratação é impedida pela resistência dentro da planta, que é muito maior que aquela dentro do solo. Dessa forma, a redução do potencial de água na folha deve-se a maior resistência que a água encontra para atravessar o solo e as células vegetais.

Na Tabela 9 é apresentada a análise de variância para o potencial da água na folha na folha medido ao alvorecer dos dias 01/08, 13/08, 20/08, 04/09, 11/09, 17/09, 24/09, 01/10 e 19/10. Todos os tratamentos apresentaram significância quanto à variável em pelo menos uma das avaliações realizadas, sendo possível verificar algumas inter-relações entre as mesmas.

Figura 13 – Potencial de água na folha para solo argiloso, nos diferentes estresses e porta-enxertos para estresse contínuo (E1) e intermitente (E2), considerando a área molhada (100% e 12,5%)

O potencial da água na folha das plantas com área de solo molhado reduzido foi 31,5% maior que nas plantas com 100% de solo molhado (-1,085 MPa e -0,7435 MPa). Esse resultado indica uma influência da área molhada do solo na hidratação da planta.

Estes resultados, entretanto, são relativamente altos. Cerqueira et al. (2004), estudando porta enxertos cítricos, apresentam valores médios de -0,8 MPa para as mudas irrigadas e de -2,7 MPa após 12 dias de déficit hídrico.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância referente ao potencial de água na folha (MPa) das plantas submetidas a diferentes tipos de solo, estresse, área molhada e porta-enxerto

FV	Estatística F								
	GL	01/08	13/08	20/08	04/09	11/09	17/09	24/09	01/10
Solo	1	0,27 ^{ns}	16,65**	0,86 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,95 ^{ns}	2,23 ^{ns}	28,46**	35,45**
Estresse	1	1,50 ^{ns}	7,93**	34,16**	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Aw	1	5,47*	0,83 ^{ns}	0,02 ^{ns}	6,99*	39,64**	9,63**	126,47**	2,62 ^{ns}
PE	1	0,12 ^{ns}	9,46**	0,01 ^{ns}	0,869 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,48 ^{ns}
SoloxAw	1	0,17 ^{ns}	0,57 ^{ns}	5,64*	0,06 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,93 ^{ns}	10,88**	1,48 ^{ns}
Estresse x PE	1	0,14 ^{ns}	2,51 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,22 ^{ns}	5,58*	0,94 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Resíduo	32	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		20,41	42,61	25,67	13,2	38,32	42,93	26,31	42,38

* Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo à 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo.

Analisando os tratamentos isoladamente, na Tabela 10, observa-se que a partir do reinício das irrigações (01/09), o potencial de água na folha diferiu estatisticamente mediante os tratamentos de área molhada, sendo que os mesmos sempre menores para 100% de área molhada.

Tabela 10 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha (MPa), em função da porcentagem de área molhada

Tratamento	04 setembro	11 setembro	17 setembro	24 setembro
12,5%	-1,25 b	-0,69 b	-0,38 b	-0,64 b
100%	-0,41 a	-0,34 a	-0,26 a	-0,26 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Os porta-enxertos utilizados também apresentaram variação no potencial de água nas folhas (MPa), conforme a Tabela 11. Esta análise demonstra que o porta-enxerto citrumelo Swingle apresentou-se 69% superior que o limoeiro Cravo, sendo esta variação significativa durante o período inicial após a imposição dos estresses às plantas.

Tabela 11 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do porta-enxerto

Tratamento	13 de agosto
Cravo	-0,93 b
Swingle	-0,64 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

A partir destes resultados pode-se observar que a diferença de potencial de água na folha foi superior estatisticamente para Citrumelo Swingle quando comparado ao limoeiro Cravo. Durante o período de estresses, (13 e 20 de agosto), conforme a Tabela 12, nota-se que há diferença significativa entre o estresse contínuo e o estresse intermitente, sendo que o potencial de água na folha foi estatisticamente superior para o estresse intermitente. Isto indica que a reposição de 30% da ET₀ favoreceu as plantas, devido ao menor estresse ao qual estavam submetidas.

Tabela 12 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de estresse

Tratamento	13 de agosto	20 agosto
E1 Contínuo	-0,92 b	-2,45 b
E2 Intermitente	-0,65 a	-1,58 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Observando a Tabela 13, verifica-se que o potencial de água na folha variou significativamente entre os tipos de solo analisados, nos dias 13/08, 24/09 e 01/10, sendo os maiores valores encontrados para o solo argiloso.

Tabela 13 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de solo

Tratamento	13 de agosto	24 de setembro	01 de outubro
Arenoso	-0,98 b	-0,54 b	-0,67 b
Argiloso	-0,59 a	-0,36 a	-0,31 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Pode-se observar que para estas datas, o solo argiloso apresentou menores médias no potencial de água presente nas folhas, diferindo significativamente do solo arenoso. Para melhor compreender estes resultados, observa-se, na Tabela 14, o desdobramento da interação entre os tipos de solo estudados e a porcentagem de área molhada (Aw).

Tabela 14 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada para o dia 20 de agosto e 24 de setembro

Tratamento	20 de agosto		24 de setembro	
	100%	12,5%	100%	12,5%
Arenoso	-2,11Aa	-1,77Ab	-0,78Aa	-0,29Ba
Argiloso	-1,89Aa	-2,27Aa	-0,49Ab	-0,22Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Para o dia 20 de agosto, observa-se que 12,5% da área molhada à diferença significativa, sendo o potencial de água na folha do solo arenoso 22% maior o argiloso. No dia 24 de setembro, 20 dias após o reinício da irrigação, a imposição de redução de área molhada foi significativamente superior comparada à 100% de área molhada, para ambos os solos. Verificou-se uma interação significativa entre porta-enxertos e estresse submetido, aos 17 dias após o término da imposição dos estresses (Tabela 15).

Tabela 15 - Análise de médias referente ao potencial de água na folha, em função do tipo de estresse e porta-enxerto para o dia 17 de setembro

Tratamento	Cravo	Swingle
E1 (30 dias)	-0,24Bb	-0,35Aa
E2 (intermitente)	-0,37Aa	-0,30Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

No porta-enxerto limão Cravo é observado que o potencial de água na folha é 65% maior comparando estresse intermitente com o contínuo e para este, também há diferença significativa quanto ao porta-enxerto analisado: 69% maior, comparando Cravo com Swingle.

Carbonneau et al. (2004) afirmam que o potencial hídrico de base (antes do alvorecer) pode ser considerado um indicador muito sensível de estresse hídrico, quando o conteúdo de água disponível no solo for inferior a 50%. Segundo Deloire et al. (2004), quando os valores de potenciais são superiores a - 0,2 MPa, o manejo de água é considerado adequado, uma vez que a ocorrência de estresse hídrico é suave ou nula. Como os valores de potencial da água na folha, ao alvorecer, foram superiores a este, pode-se inferir que as plantas encontravam-se sob estresse moderado a severo.

2.3.2.4 Área Foliar

Para este parâmetro houve diferenças quanto à época avaliada (antes (AF1) e depois do estresse (AF2), devido a desfolha, conforme a Figura 14, quando considera-se a imposição do estresse (Tabela 16).

Figura 14 – Planta antes (A) e após (B) a imposição dos estresses

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para a área foliar para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos testados

FV	Estatística F		
	GL	AF 1	AF 2
Solo	1	0,49 ^{ns}	11,07**
Estresse	1	2,13 ^{ns}	15,51**
Aw	1	2,75 ^{ns}	0,74 ^{ns}
PE	1	7,665**	1,61 ^{ns}
Solo x PE	1	2,52 ^{ns}	0,005*
Resíduo	32	-	-
CV (%)		20,52	33,45

* Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo à 1% de probabilidade ^{ns} não significativo

Pode-se observar que houve variação, para AF1, entre os porta-enxertos utilizados. Entretanto, para a AF2 houve diferença significativa entre os tipos de solo, as condições de estresses e na interação entre os tipos de solo e porta-enxertos. Abaixo, será apresentado o desdobramento destas interações.

De maneira geral, antes da imposição dos tratamentos, a variabilidade de área foliar é pequena, porém, há uma maior área foliar entre os porta-enxertos (15%

maior para Swingle), possivelmente devido a ao potencial de exploração em ambiente reduzido (Tabela 17).

Tabela 17 - Análise de médias referente à área foliar inicial (m²) em função do porta-enxerto

Tratamento	Área foliar (m ²)
Limão Cravo	6,88 b
Citrumelo Swingle	8,11 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Ao final da imposição do estresse, a área foliar foi amostrada novamente, sendo verificada interação significativa entre porta-enxertos e nível de estresse submetido, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Análise de médias referente ao área foliar final (m²) em função do tipo estresse

Tratamento	Área Foliar (m ²)
Estresse Contínuo	3,55 b
Estresse Intermitente	5,22 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

A avaliação isolada do tipo de solo quanto a área foliar final é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de médias referente ao área foliar final (m²) em função do tipo de solo

Tratamento	Área Foliar (m ²)
Arenoso	3,68 b
Argiloso	5,09 a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Observando os resultados, observa-se que o solo argiloso apresentou maior concentração foliar na condição de estresse hídrico, diferindo do solo arenoso, devido à maior queda de folhas neste último. Desdobrando a interação entre porta-enxerto e tipo de solo na avaliação de área foliar final (Tabela 20), observa-se que para ambos porta-enxertos há uma redução de área foliar para o tipo de solo arenoso.

Tabela 20 - Análise de médias referente à área foliar após o estresse hídrico em função do tipo de solo e porta-enxerto

Tratamento	Cravo	Swingle
Arenoso	3,42 Ab	3,95 Ab
Argiloso	4,82 Aa	5,37 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

É possível observar que os porta-enxertos que se encontravam em vasos de solo arenoso, apresentaram menor concentração de área foliar após o estresse hídrico, o que caracteriza este solo na retenção foliar sob condições de escassez de água. Taiz e Zeiger (2004) mencionam que as plantas apresentam mecanismos para amenizar os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento vegetal, entre os quais citam a redução da área foliar, uma vez que a redução do turgor das células é o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, que afeta diretamente a expansão foliar e juntamente com a senescência das folhas, a planta reduz a perda de água por transpiração.

2.3.2.5 Temperatura foliar

Nas Figuras 15 e 16, verifica-se o comportamento da temperatura foliar em diferentes épocas, frente ao período de estresse avaliado e considerando os diferentes cenários entre os tratamentos.

Figura 15 – Temperatura foliar para 01/08 (A) e 13/08 (B), para os diferentes porta-enxertos no solo argiloso

A diferença da temperatura foliar durante o período de estresse mostrou a mesma tendência, onde nas primeiras horas do dia a temperatura foliar tende a estar

em igualdade com a temperatura do ar. Nas avaliações subsequentes durante o dia, nota-se um aumento da temperatura do ar e, eventualmente, da demanda evaporativa, onde em condições de disponibilidade hídrica maior, a planta responde a essa variação, resfriando a folha, independente do porta-enxerto e tipo de solo. Porém, 13 dias após a imposição dos estresses, o cenário é alterado, onde a temperatura foliar, em períodos de maiores demandas (14:00hs) tende a ser maior que a temperatura do ar, corroborando os resultados de queda das folhas e consequentemente redução da área foliar.

Resultados semelhantes de aumento de temperatura da folha em milho sob estresse hídrico foram encontrados em estudo realizado por Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005), com valores máximos de 38°C ao meio-dia solar; Os autores verificaram, ainda, uma estreita relação entre a temperatura da folha e a resistência estomática.

De acordo com estes autores, a manutenção da temperatura da folha igual ou ligeiramente inferior à temperatura do ar comprova a capacidade de resfriamento das diversas cultivares ou espécies e altamente é desejável. Vieira Junior et al. (2007) verificaram boa relação entre a temperatura da folha e o potencial da água na folha de sorgo e milho, todavia, não observaram repetibilidade e estabilidade suficientes para o emprego da medida de temperatura no monitoramento do status hídrico da planta em cultivo irrigado.

Após o período de estresse (Figura 16), com a reidratação das plantas, verificou-se que as relações de temperatura foliar e temperatura do ar se reajustaram, onde as plantas que foram submetidas a estresse, voltaram a apresentar a temperatura da folha menor que a temperatura do ar, demonstrando novamente a capacidade de resfriamento das folhas de citros, no intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas, cessando a queda da área foliar.

Figura 16 – Temperatura foliar para 17/09 (A) e 01/10 (B), para os diferentes porta-enxertos e tipos de solo

2.3.2.6 Transpiração das plantas

2.3.2.6.1 Calibração do fluxo de seiva e teste dos lisímetros de pesagem

A equação de calibração do lisímetros de 1000 kg (Figura 17) foi obtida a partir dos dados de carregamento com massas padrões. Com esses dados, realizou um estudo das características técnicas, apresentando uma incerteza de 0,07% e repetitividade de 0,61kg (Tabela 21). Carvalho et al. (2007) obtiveram coeficientes de determinação em duas curvas (carregamento e descarregamento) semelhantes.

Figura 17 - Análise de regressão da calibração dos lisímetros 1000 kg, relação variação de massa e diferença de potencial (DDP)

Tabela 21 - Características técnicas do lisímetro de pesagem

Característica	Valor
Histerese	0,28 kg
Repetitividade	0,61 kg
Incerteza	0,07 %

Optou-se por modificar o coeficiente linear da equação geral de Granier, aproximando os valores em escala diária, devido a variação das medidas lisimétricas em escala horária (Marinho, 2010). O coeficiente β (1,231) da Eq. 5 foi mantido no valor ajustado por Granier (1985).

$$F = 0,000247 k^{1,231} AS \quad (9)$$

Na Figura 18 é apresentada a relação entre as medidas de transpiração efetuadas com lisímetro e o fluxo de seiva calculado pela Eq. 23 e pela equação geral de Granier (Eq. 12). O desvio médio entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária no período estudado foi de 10,08%. Tendo em vista que a transpiração, assim como diversas outras variáveis ambientais, apresenta grande variabilidade espacial, erros de medição em torno 10% são aceitáveis quando se dispõe de um elevado número de medidas.

Figura 18 - Relação entre medidas de transpiração efetuadas com lisímetro e fluxo de seiva acumulado diário pela sonda de dissipação térmica

Silva et al. (2004) verificaram, em plantas de kiwi, que a equação geral de Granier apresentou forte subestimativa dos valores de fluxo de seiva, sobretudo em condições de maior fluxo. Os autores ajustaram uma equação polinomial de 2º grau aos valores de k (Eq. 9), em relação à densidade de fluxo calculada com base em medidas lisimétricas e na área da seção radial condutora do caule, e obtiveram um coeficiente de determinação de 0,8252. A tendência de subestimativa do fluxo de seiva pelo método também foi verificada por Delgado-Rojas (2003) em plantas cítricas.

Vellame et al. (2009) constataram que o método da sonda de dissipação térmica, utilizando-se os coeficientes originais da equação de Granier (1985), subestimou em média 31% os valores de fluxo de seiva em escala diária.

2.3.2.6.2 Correção dos gradientes térmicos naturais

Os dados do interior da estufa de temperatura do ar e radiação solar global dos dias em que foram medidas as diferenças térmicas naturais presentes no caule (DTN) são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Radiação solar global e temperatura do ar máxima, mínima e média diária no período de medição das diferenças térmicas naturais no caule

Data	Radiação global (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Temperatura do ar (°C)		
		Máxima	Mínima	Média
26/06/2011	4,07	27,95	14,38	20,19
27/06/2011	6,31	20,89	7,31	14,70
28/06/2011	7,79	25,18	4,31	12,11

O curso da diferença térmica média natural (DTN) do caule das plantas e da temperatura do ar no período de avaliação (26 à 28/06/2010) é ilustrado na Figura 19. Observa-se que as DTN são predominantemente crescentes e positivas (temperatura da sonda superior maior que a da sonda inferior) durante o período da manhã, com pico coincidente com a temperatura do ar. Ao anoitecer as DTN decrescem mais rapidamente que a temperatura do ar, com valores mínimos em torno de -0,6°C às 22h00, provavelmente pelo resfriamento do caule pelo fluxo de seiva.

Santos et al. (1999) observaram em milho, com o método do pulso de calor, que quando o ar ambiente em torno do caule muda rapidamente, o que é muito comum no início da manhã e da tarde, gradientes de temperatura se desenvolvem ao longo do tronco.

Figura 19 - Curso da temperatura do ar e radiação solar com a média da diferença térmica natural do caule (DTN) de 50 plantas de laranja 'Valência'

Foi escolhida uma sonda de referência para todas as plantas em função do maior coeficiente de correlação (0,85), observado por Vellame (2010). O mesmo autor observou uma mudança dos valores de DTN ao longo do tempo, nas diferentes fases do desenvolvimento do citros.

Quando se corrigem as diferenças térmicas pela subtração das diferenças térmicas naturais estimadas, a tendência de subestimativa do fluxo pelo método diminui (DELGADO-ROJAS, 2003).

2.3.2.6.3 Transpiração corrigida

Nas Figuras 20 à 23, são apresentados os resultados de transpiração para os diferentes tratamentos analisados.

Figura 20 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, 100% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)

Figura 21 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso 12,5% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)

Figura 22 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, 12,5% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)

Figura 23 – Transpiração das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, 100% Aw e PE (A – Cravo; B – Swingle)

Nota-se que a transpiração apresenta uma variabilidade entre os tratamentos de solo mesmo antes da imposição do estresse, sendo maior para as plantas em solo arenoso. Para tanto, realizou-se a devida filtragem dos dados, considerando a variabilidade existente entre os tratamentos, principalmente por se tratar de um método que envolve várias condicionantes ambientais. Após esta fase, agrupou-se novamente os dados, com os tipos de estresses e porta-enxertos, em função da área molhada, conforme a Figura 24 e 25.

Figura 24 – Transpiração média das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)

Figura 25 – Transpiração média das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)

A variabilidade entre os dados existiu em todo o período amostral, sendo mais acentuada, durante o período em que os estresses foram realizados (10 à 20 de agosto) e logo após a reidratação das plantas (01 à 5 de setembro). O período em que a variabilidade foi pequena coincidiu com o período em que o estresse estava mais marcante, conforme observado nos resultados de potencial de água na folha (27 à 29 de agosto).

Nas Figuras 26 e 27, observa-se o K_c (coeficiente da cultura) das plantas de laranja Valência, em função dos tratamentos testados.

Figura 27 – K_c médio das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e A_w (A – 100%; B – 12,5%)

Neste sentido, considerando uma planta que não apresentou restrição hídrica durante todo período, correlacionou-se a sua transpiração com as das plantas submetidas à estresse, gerando resultados de $K_{c\text{relativo}}$ (esperado), em vista da média apresentada em um período anterior (01 à 19 de julho). Estes resultados estão apresentados na Figura 28 e 29.

Exceto no período da realização do estresse, o percentual de transpiração esperado das plantas, sempre esteve próximo ao da planta de referência ou abaixo, Porém, no período em que realizou-se a indução dos estresses, ocorreram vários picos de transpiração (16, 20, 25 e 29 de agosto), onde as plantas sob estresse transpiraram mais que a planta sem restrições hídricas (com irrigação plena). Este fenômeno pode ser explicado pelas diferenças fenológicas entre as plantas, variação das relações do gradiente térmico natural (em função da perda de área foliar) ou

também pela busca de reidratação da parte aérea em períodos onde o potencial de água da folha estava altamente severo.

Figura 28 – K_c médio das plantas agrupadas por estresse, solo argiloso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)

Figura 29 – Kc médio das plantas agrupadas por estresse, solo arenoso, PE e Aw (A – 100%; B – 12,5%)

Para melhor entendimento destas relações, realizou-se a análise estatística dos tratamentos no período de imposição do estresse hídrico, conforme a Tabela 23. Os dados foram agrupados conforme a classe de demanda evaporativa, seguindo o observado por Vellame (2010), onde verificou-se que uma ET_0 (evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith) de 2 mm é o limite para haver correlação, onde acima de certo valor existe uma tendência de estabilização da transpiração. Houve interação significativa entre os fatores solo e porta-enxerto para as duas demanda de ET_0 .

Tabela 23 - Análise de médias referente à transpiração durante o estresse hídrico, agrupadas por demanda evaporativa em função do tipo de solo, porta-enxerto, estresse e área molhada

FV	Estatística F		
	GL	<2mm	>2mm
Solo	1	0,23 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Estresse	1	1,31 ^{ns}	1,57 ^{ns}
Aw	1	0,76 ^{ns}	0,29 ^{ns}
PE	1	2,81 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Solo x Estresse	1	0,32 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Solo x Aw	1	5,29*	5,79*
Solo x PE	1	0,93 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Estresse x Aw	1	0,03 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Estresse x PE	1	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}
AW x PE	1	0,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo	37	-	-
CV (%)		44,97	61,28

* Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo à 1% de probabilidade ^{ns} não significativo

Ao analisar o efeito das interações, observa-se que para o solo argiloso não há diferença significativa entre a área molhada (100% e 12,5%) para ambas as demandas evaporativas (ET₀). Para o solo arenoso, a redução da área molhada (12,5%) causou redução significativa na transpiração para ambas as demandas, conforme a apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Análise de médias referente transpiração agrupadas por demanda evaporativa em função do tipo de solo e porcentagem de área molhada durante o período de estresse

Tratamento	< 2mm		> 2 mm	
	12,5%	100%	12,5%	100%
Arenoso	1,93 aB	3,24 aA	1,21 aB	2,16 aA
Argiloso	2,85 aA	2,02 aA	1,76 aA	1,32 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com um nível nominal de significância (α) de 5%.

A redução na transpiração para as plantas submetidas a redução de área molhada no solo arenoso pode ser atribuída a menor capacidade deste solo de armazenar água comparado com o solo argiloso e também pela maior concentração do sistema radicular no compartimento irrigado, antecipando o esgotamento da água disponível no solo.

3 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente estudo foi desenvolvido e a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A absorção de água pelas raízes localizadas dentro do bulbo molhado da irrigação por gotejamento permite manter viva e ativa a porção radicular que se encontra fora do bulbo molhado no solo (região seca), através da redistribuição interna de água no sistema radicular das plantas;
- Após o reumidecimento da área total (chuvas), as plantas sob irrigação por gotejamento (12.5 % de área molhada) que apresentavam de 50 a 80% da extração de água dentro do bulbo molhado, no período seco, recuperam rapidamente a capacidade de absorção de água na porção radicular que estava na zona seca (após 20 mm de ET₀ acumulada);
- O módulo do potencial de água na folha das plantas sob irrigação por gotejamento (12.5 % de área molhada) foi 31,5% maior que nas plantas com 100% de área molhada (-1,085 MPa e -0,7435 MPa). A partir do reinício das irrigações (01/09), o módulo do potencial de água na folha variou em função os tratamentos de área molhada, sendo que os mesmos foram em torno de 50 % menores na condição de 100% de área molhada; o estresse hídrico contínuo apresentou um maior módulo de potencial foliar quando comparado ao estresse hídrico intermitente.
- No momento em que o estresse hídrico está acentuado, o efeito de resfriamento da folha pela transpiração é insignificante. No período de maior demanda atmosférica (14:00 horas) a temperatura foliar tende a ser de 0,5 à 3°C maior do que a temperatura do ar nos tratamentos estressados; O estresse hídrico contínuo apresentou um maior temperatura foliar quando comparado ao estresse hídrico intermitente.
- O estresse hídrico contínuo ocasionou uma maior desfolha das plantas quando comparado ao estresse hídrico intermitente
- Independente do tipo de estresse, para solo arenoso a transpiração diminui quanto se impõe redução de área molhada (irrigação gotejamento 12,5 %).

- Esperava-se que os tipos de estresse hídrico impostos apresentassem uma diferenciação de consumo hídrico nas plantas, no período de retomada da irrigação, sendo o estresse intermitente o que deveria apresentar o maior consumo hídrico; nos resultados obtidos não ficou muito clara e estabilizada esta tendência, apesar de que o nível de desfolha e o potencial de água nas folhas confirmaram as hipóteses inicialmente formuladas. Existe a possibilidade de que o método de Granier tenha sofrido influência significativa da desfolha sobre o gradiente térmico natural, o que pode ter ocasionado imprecisão nos dados coletados e resultado inconsistência nos fluxos de seiva calculados neste período de baixo índice de área foliar.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration: Guides for computing crop water requirements** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO; Rome, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.)
- ABREU, F.L.G. de; SALVIANO, A.A.C. Sistema radicular de três porta-enxertos para lima ácida 'tahiti' no estado do Piauí. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 187-194, 2007.
- ALVES JUNIOR, J.; LOURENÇÃO, M.S.; SILVA, T.J.A.; SILVA, C.R.; FOLEGATTI, M.V. Distribuição do sistema radicular de plantas jovens de lima ácida tahiti sob diferentes níveis de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 3, p. 270-281, 2004.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Balanço hídrico da planta. Piracicaba: O autor, 2002. 272 p.
- BARBERA, G., FATTA, G., CASCIO, B. Effects of water stress on lemon Summer bloom: The forzata technique in the Sicilian citros industry. **Acta Horticulturae**, Pisa, v. 171, n. 1, p. 391-97, 1985.
- BARROS, A.C. **Estudo da distribuição da solução do solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial**. 2007. 61p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BEN-GAL, A.; AGAM, N.; ALCHANATIS, V.; COHEN, Y.; YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; PRESNOV, E.; SPRINTSIN, M.; DAG, A. Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. **Irrigation Science**, Berlin, v. 27, n. 5, p. 367-376, 2009.
- BERGONCI, J.I.; PEREIRA, G.B. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 229, 2002.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BONAN, G.B. **A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological and atmospheric studies: Technical description and User's Guide**. Oak Ridge: NCAR Tech note, 1996. 150 p.
- BURGESS, S. S. O.; BLEBY, T. M. Redistribution of soil water by lateral roots mediated by stems tissues. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, p. 3283-3291, 2006.
- CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A.; COSTANZA, P. Leaf water potential: meaning of different modalities of measurements. **Journal International des Sciences de la vigne et du vin**, Bordeaux, v. 38, n. 1, p. 15-19, 2004.

CARVALHO, F.D.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CRUZ, F.A.; SOUZA, A.P. Instalação, calibração e funcionamento de lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2007.

CARLSON, R.E.; MOMEN, N.N.; ARJMAND, O.; SHAN, R.H. Leaf conductance and leaf-water potential relationship for two soybean cultivars grown under controlled irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 321-325, 1979.

CASTEL, J.R. BUJ, A. Response of Salestiana Orange to high frequency deficit irrigation. **Irrigation Science**, New York, v.11, p.121-127, 1990.

CASTLE, W.S.; TUCKER, D.P.H.; KREZDORN, A.H.; YOUTSEY, C.O. **Rootstocks for Florida citrus**. Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences – University of Florida, 1989. 92 p.

CASTRO, P.R.C. Comportamento do Citros sob déficit hídrico. **Laranja**, v. 2, n.15, p.139-154, 1994.

CERQUEIRA, E.C.; CASTRO NETO, M.T. de; PEIXOTO, C.P.; SOARES FILHO, W.S.; LEDO, C.A.S.; OLIVEIRA, J.G. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 515-519, 2004.

CHAVES, S.W.P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do "mulching" plástico na produção da pimenta 'Tabasco' fertirrigada por gotejamento**. 2009. 153 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V.; BERNARDES, M.S.B. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 240-247, 2005.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; ARAÚJO, E.C.E.; VASCONCELOS, L.F.L. Distribuição de raízes de laranja ‘Pêra’ sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.603-611, 2002.

COELHO, R.D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COLLINO, D.J.; DARDANELLI, J.L.; SERENO, R.; RACCA, R.W. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress. Light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 177-184, 2001.

COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and **growth of faba bean** (*Vicia Faba L.*) growing under field conditions. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 9-16, 1997.

DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R.; FOLEGATTI, M.V. ; COELHO FILHO, M.A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

DELGADO-ROJAS, R.S. **Avaliação do uso de fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, com base para o manejo de irrigação**. 2003. 129 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A.; WANG, Z.; OJEDA, H. Vine and water. A short review. **Journal International des Sciences de la vigne et du vin**, Bordeaux, v.38,n.1, p.1-13, 2004.

DO, F.; ROCHETEAU, A. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes, 1, Field observations and possible remedies. **Tree Physiology**, Victoria, v. 22, p. 641–648, 2002.

FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS. **Agrianual 2007**: anuário da agricultura Brasileira. São Paulo, 2007. 504 p.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Citros. 2011. **Agrianual 2011**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2011. p. 245-306.

FOLEGATTI, M.V. **Avaliação do desempenho de um “scheduler” na detecção do estresse hídrico em cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris, L.) Irrigadas com diferentes lâminas**. 1988. 188p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

FUNDECITRUS. Subenxertia. **Revista do Fundecitrus**, Araraquara, n. 124, p. 12-14, 2004.

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

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. **Annales Sciences Forestieres**, Versailles, v.42, n. 2, p.193-200, 1985.

GRANIER, A.; BRÉDA, N. Modeling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. **Annales Sciences Forestieres**, Versailles, v.53, n. 2, p. 537-546, 1996.

HARDIE, W.J.; CONSIDINE, J.A. Response of grapes to water deficit stress in particle stages of development, **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 27, p. 55-61, 1976.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

INTRIGLIOLO, F.; CONIGLIONE, L.; GERMANA, C. Effect of fertigation on some physiological parameters in orange trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 1., 1992, Acireale. **Proceedings...** Acireale: International Society of Citriculture, 1994. v.2, p.584-589.

JORGE, L.A.C; SILVA, D.J.C.B. **SAFIRA**: Manual de utilização. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 29p.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 652 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Trad. de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LU, P.; CHACKO E. Evaluation of Granier's sap flux sensor in young mango trees. **Agronomie**, Paris, v. 18, n. 7, p. 461-471, 1998.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D.; COELHO FILHO, M.A. Adaptação radicular do porta-enxerto limão 'Cravo' à irrigação localizada. **Laranja**, Cordeirópolis, v.22, n.1, p.215-229, 2001.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v.21, n.2, p.359-380, 2000.

MASSAI, R.; REMORINI, D.; FERREIRA, M.I.; PAÇO, T.A. Sap flow in peach trees during water stress and recovery in two environmental conditions. **Acta Horticultural**, Leuven, v. 537, p. 351-358, 2000.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.11, p.29-34, 1999.

MEDINA, C.L.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, D.L.; MACHADO, E.C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR. J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, 2005. p. 148-195.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; MILAN, P.; LOPES, F.F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. **O retrato da citricultura brasileira**. São Paulo: CitrusBR, 2010. 137p.

OLIVEIRA, A.D. de; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

ORTOLANI, A. A., ALFONSI, R. R., PEDRO, JR. M J. Agroclimatologia e o cultivo dos Citros. In: RODRÍGUEZ, O. & VIEGAS, F. C. P. **Citricultura Brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, p. 153-95, 1991.

PEREIRA, A.R. ; ANGELOCCI, L.R. ; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. v.1. 478 p.

PIRE, R.; ROJAS, E. Effects of drought stress and urea sprays on production of flower and vegetative buds of Tahiti lime. **Fruits**, Paris, v. 54, p.177-82, 1998.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión. exudación**. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

PORTEN, M.; SCHMID, J.; RUHL, E.H. Sap flow measurements on phylloxera infested grapevines. **Acta Horticultural**, Leuven, v. 537, p. 367-373, 2000.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico. 1997. (Boletim Técnico, 100).

ROCHA, F.J. **Resposta da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) a diferentes porcentagens de área molhada**. 2008. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SANTOS, A.O.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; BERGONCI, J.I.; RADIN, B. Assessment of corn water uptake based on sap heat tracing, under water-stressed conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 145-149, 1999.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia dos citros. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, D.; PIO, R.M.; POMPEU JR., J. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/FUNDAG, 2005. cap. 11, p. 317-344.

SILVA, C.R. da ; ROCHA, F.J. ; ALVES JÚNIOR, J. ; SILVA, T.J.A. da; FOLEGATTI, M.V.; MASCHIO, R. Respostas de limeira ácida 'Tahiti' a suspensão da irrigação em diferentes períodos fenológicos. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 27, p. 321-339, 2006.

SILVA, C.R. **Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida 'tahiti' na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 85p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, R.M.; FERREIRA, M.I.; PAÇO, M.T.; OLIVEIRA, A.V.; OLIVEIRA, M. Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do Entre Douro e Minho. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004, Lisboa. **Anais eletrônicos...** Lisboa: LNEC, 2004. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/108.PDF>>. Acesso em: 22 set. 2010.

SIMÕES, W.L.; COELHO, E.F; COELHO FILHO, M.A.; MARTINEZ, M.A. influência de três disposições de gotejadores na produtividade da lima ácida Tahiti. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C.A. da S. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1373-1381, 2007.

SOUZA, L.D.; RIBEIRO, L.S.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S.; SOBRINHO, A.P.C. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em latossolo amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.87-91, 2006.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004.

SOUZA, M.J.H.; RAMOS M.M.; SIQUEIRA D.L.; COSTA L.C.; LHAMAS A.J.M.; MANTOVANI E.C.; CECOM P.R.; SALOMÃO L.C.C. Estresse hídrico e época de produção da lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.31-38, 2004.

SOUZA, M.J.H.; RAMOS, M.M.; SIQUEIRA, D.L.; COSTA, L.C.; LHAMAS, A.J.M.; MANTOVANI, E.C.; CECOM, P.R.; SALOMÃO, L.C.C. Produção e qualidade dos frutos da limeira ácida 'Tahiti' submetida a diferentes porcentagens de área molhada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 245-250, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p. 849-848, 2003.

VELLAME, L.M.; COELHO FILHO, M.A.; PAZ, V.P.S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VELLAME, L.M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo**. 2010. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

VIEIRA JUNIOR, P.A.; DOURADO-NETO, D.; OLIVEIRA, R.F.; PERES, L.E.P.; MARTIN, T.N.; MANFRON, P.A.; BONNECARRÉRE, R.A.G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.555-561, 2007.

WULLSCHLEGER, S.D.; WILSON, K.B.; HANSON, P.J. Environmental control of whole-plant transpiration, canopy conductance and estimates of the decoupling factor for large red maple trees. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 157-168, 2000.

YONEMOTO, Y.; MATSUMOTO, K.; FURUKAWA, T.; ASAKAWA, M.; OKUDAA, H.; TAKAHARA, T. Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of 'Shirakawa Satsuma' mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 102, n. 3, p. 295–300, 2004.

ANEXO

ANEXO A - Dados de radiação solar global - R_s ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, máxima e média - $T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{med} ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa mínima, máxima e média - $UR_{\min}$, $UR_{\max}$, UR_{med} (%); déficit de pressão de vapor - DPV (kPa); e evapotranspiração de referência - ET_0 (mm dia^{-1}) do interior da estufa em cada dia Juliano (J)

(continua)

DATA	J	R_s	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T_{med}	$UR_{\min}$	$UR_{\max}$	UR_{med}	DPV	ET_0
1/7	182	5,94	14,08	33,62	21,83	37,37	98,10	74,33	1,65	1,75
2/7	183	5,14	15,27	31,82	22,31	40,21	97,20	77,18	1,43	1,60
3/7	184	4,59	17,46	31,08	22,22	46,89	95,80	75,56	1,24	1,48
4/7	185	3,27	12,90	24,08	16,85	49,42	92,60	77,83	0,71	1,13
5/7	186	5,47	11,36	26,91	17,13	45,78	95,60	78,18	0,99	1,44
6/7	187	5,71	12,77	27,51	18,26	39,97	96,80	76,18	1,13	1,52
7/7	188	5,74	11,75	26,38	17,77	41,26	96,50	76,75	1,03	1,48
8/7	189	6,27	9,05	26,72	14,74	25,76	97,30	75,63	1,32	1,65
9/7	190	6,44	6,36	29,57	14,33	27,33	97,10	74,99	0,41	1,24
10/7	191	6,78	8,69	32,90	18,91	30,69	96,00	71,04	0,49	1,41
11/7	192	6,62	13,58	34,97	21,85	29,55	95,70	71,00	0,67	1,52
12/7	193	5,66	15,08	33,70	21,55	29,13	96,10	72,80	0,71	1,41
13/7	194	6,54	13,80	33,11	21,09	25,83	96,60	70,98	0,67	1,49
14/7	195	6,55	13,59	33,97	21,19	27,02	94,30	69,32	0,72	1,52
15/7	196	6,76	13,01	32,82	20,28	22,96	95,70	66,18	0,68	1,52
16/7	197	6,86	11,31	32,87	20,12	19,61	92,10	63,73	0,74	1,54
17/7	198	5,80	12,39	35,06	21,32	26,84	91,70	67,01	0,76	1,45
18/7	199	5,08	13,67	30,44	20,45	38,07	97,00	73,67	0,55	1,26
19/7	200	6,55	15,47	33,44	23,08	31,73	96,80	69,23	0,68	1,54
20/7	201	6,49	15,46	34,93	22,58	31,39	96,70	71,69	0,69	1,54
21/7	202	8,43	12,00	32,43	21,73	30,08	95,60	67,96	0,60	1,72
22/7	203	1,34	16,46	24,42	20,13	68,85	92,90	81,97	0,40	0,80
23/7	204	6,67	14,75	29,32	20,16	43,78	90,80	72,19	0,66	1,49
24/7	205	6,30	13,70	31,34	20,87	33,96	95,90	69,58	0,61	1,45
25/7	206	6,59	12,79	30,39	20,71	36,03	96,20	69,90	0,55	1,46
26/7	207	6,31	13,97	31,27	20,88	31,59	91,30	67,10	0,74	1,51
27/7	208	6,68	13,09	33,69	21,15	29,38	94,30	67,64	0,68	1,55
28/7	209	6,69	12,25	31,93	20,11	27,41	95,40	68,92	0,63	1,52
29/7	210	6,35	14,35	33,31	22,08	24,92	92,00	62,46	0,82	1,57
30/7	211	3,69	16,02	30,08	21,56	36,30	93,60	67,14	0,72	1,20
31/7	212	4,38	17,56	31,15	22,27	46,80	96,60	79,34	0,61	1,24
1/8	213	4,48	16,61	28,94	21,71	46,91	96,70	76,85	1,09	1,47
2/8	214	2,61	15,54	23,76	19,19	62,97	95,60	82,41	0,58	1,05
3/8	215	1,97	8,55	21,27	14,35	35,42	95,00	77,61	0,84	1,18
4/8	216	8,03	5,29	21,66	12,11	26,10	97,40	69,88	0,72	1,53
5/8	217	7,67	5,22	30,37	15,45	19,14	95,50	64,43	1,77	2,06
6/8	218	7,14	10,19	35,71	21,68	27,13	93,20	64,52	2,17	2,17
7/8	219	6,40	15,65	38,33	25,07	24,49	96,70	63,50	2,58	2,22
8/8	220	5,84	17,54	36,74	24,89	23,10	90,40	62,58	2,47	2,13
9/8	221	3,31	15,07	30,18	20,12	46,36	96,90	81,97	0,53	1,08
10/8	222	5,53	15,83	28,38	20,53	44,70	97,50	74,09	0,55	1,37
11/8	223	7,59	12,22	32,60	21,40	30,05	96,80	68,94	0,58	1,68

Dados de radiação solar global - R_s ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, máxima e média - $T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{med} ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa mínima, máxima e média - $UR_{\min}$, $UR_{\max}$, UR_{med} (%); déficit de pressão de vapor - DPV (kPa); e evapotranspiração de referência - ET_0 (mm dia^{-1}) do interior da estufa em cada dia Juliano (J).

(continuação)

DATA	J	R_s	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T_{med}	$UR_{\min}$	$UR_{\max}$	UR_{med}	DPV	ET_0
12/8	224	7,31	12,36	34,10	21,28	25,02	96,20	68,18	0,64	1,67
13/8	225	7,54	12,88	37,69	23,24	18,24	94,80	59,40	0,78	1,82
14/8	226	7,21	13,62	36,02	23,15	25,83	91,70	63,45	0,83	1,77
15/8	227	7,33	13,98	35,60	23,32	21,21	94,90	61,59	0,78	1,78
16/8	228	7,71	13,78	34,09	22,41	15,18	89,80	53,11	0,94	1,86
17/8	229	7,34	12,76	37,63	24,25	15,64	79,84	45,53	1,28	1,97
18/8	230	7,22	14,29	36,84	24,18	16,83	90,60	54,84	0,97	1,85
19/8	231	6,02	14,40	36,58	24,14	19,36	95,00	56,83	0,81	1,62
20/8	232	1,82	16,79	27,86	21,46	66,76	94,20	85,37	0,43	0,87
21/8	233	2,45	14,38	20,47	16,50	60,37	94,80	76,09	0,39	0,95
22/8	234	4,84	13,79	27,51	18,16	40,48	88,60	72,00	0,68	1,36
23/8	235	4,47	13,08	29,33	18,78	43,46	96,10	79,84	0,51	1,24
24/8	236	6,26	14,87	33,76	22,42	34,89	96,90	72,71	0,63	1,57
25/8	237	3,69	15,72	31,82	22,15	42,68	96,50	75,72	0,59	1,19
26/8	238	6,25	17,45	37,05	24,58	24,63	95,10	68,06	0,91	1,71
27/8	239	7,72	14,95	36,54	24,12	21,13	96,40	62,29	0,78	1,89
28/8	240	7,85	15,33	38,13	25,43	19,28	89,80	54,10	1,04	2,03
29/8	241	7,69	18,60	39,66	27,24	17,00	77,86	49,11	1,69	2,22
30/8	242	7,73	18,94	39,19	27,98	17,73	80,10	45,77	1,60	2,20
31/8	243	1,13	11,62	20,99	18,61	65,43	95,00	81,98	0,30	0,78
1/9	244	9,21	8,62	28,97	17,31	26,94	95,80	63,54	1,48	2,21
2/9	245	9,24	9,01	27,01	16,45	28,64	89,60	61,67	1,33	2,14
3/9	246	9,10	8,05	33,50	19,01	20,31	92,70	60,09	2,10	2,49
4/9	247	8,87	9,86	38,41	21,79	11,12	92,80	54,74	2,07	2,51
5/9	248	8,86	11,23	38,38	23,35	11,37	89,00	48,34	3,07	2,79
6/9	249	8,29	12,39	37,62	23,23	16,88	87,60	56,53	2,79	2,66
7/9	250	7,93	13,62	34,92	23,12	25,44	93,90	63,82	2,13	2,40
8/9	251	7,79	14,39	37,37	24,46	13,92	95,50	53,17	2,79	2,60
9/9	252	7,17	16,74	35,45	24,75	24,63	86,00	53,53	1,12	1,96
10/9	253	6,31	18,16	35,01	25,03	29,95	83,70	59,68	1,19	1,86
11/9	254	3,74	17,73	30,62	22,22	42,61	89,60	71,01	0,81	1,33
12/9	255	8,96	12,28	35,11	22,66	25,71	94,10	59,88	0,70	2,07
13/9	256	8,10	13,51	37,59	24,18	28,28	91,40	60,53	0,83	2,03
14/9	257	6,49	16,28	28,70	21,08	43,58	84,10	67,21	0,84	1,73
15/9	258	8,46	15,95	34,77	24,31	29,79	90,00	61,98	0,91	2,10
16/9	259	5,74	15,35	31,46	22,88	35,93	92,80	66,22	0,72	1,60
17/9	260	8,70	14,62	33,87	23,56	25,71	93,70	61,31	0,78	2,09
18/9	261	9,00	13,41	35,10	23,44	19,61	91,60	57,61	0,86	2,16
19/9	262	8,80	13,57	35,22	23,03	19,07	91,10	55,19	0,88	2,14

Dados de radiação solar global - R_s ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, máxima e média - $T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{med} ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa mínima, máxima e média - $UR_{\min}$, $UR_{\max}$, UR_{med} (%); déficit de pressão de vapor - DPV (kPa); e evapotranspiração de referência - ET_0 (mm dia^{-1}) do interior da estufa em cada dia Juliano (J).

(conclusão)

DATA	J	R_s	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T_{med}	$UR_{\min}$	$UR_{\max}$	UR_{med}	DPV	ET_0
20/9	263	7,93	13,63	36,77	23,82	19,58	83,60	50,83	1,14	2,11
21/9	264	3,86	16,57	33,83	22,08	25,29	91,70	63,65	0,92	1,39
22/9	265	8,46	14,56	36,87	24,50	24,15	94,10	62,06	0,81	2,10
23/9	266	7,35	15,89	38,58	25,07	16,27	93,70	62,48	0,97	1,98
24/9	267	5,34	15,08	27,10	20,79	49,58	95,30	74,68	0,52	1,45
25/9	268	9,76	12,65	31,28	20,73	28,86	90,70	61,80	0,73	2,18
26/9	269	9,25	14,23	35,46	23,44	25,44	86,20	58,68	1,00	2,28
27/9	270	8,45	13,63	34,86	23,92	29,18	91,40	60,54	0,79	2,09
28/9	271	8,92	15,60	36,50	24,60	24,82	85,40	57,06	1,11	2,29
29/9	272	8,99	13,48	39,02	24,59	17,36	90,80	56,73	0,96	2,27
30/9	273	8,98	14,54	41,22	27,19	13,53	88,50	46,05	1,17	2,39