



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE DOUTORADO**

**AVALIAÇÃO DE COMBINAÇÕES COPA-PORTA-ENXERTO DE  
CITROS SOB DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO**

**ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JULHO- 2014**

# **AVALIAÇÃO DE COMBINAÇÕES COPA-PORTA-ENXERTO DE CITROS SOB DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO**

**ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal da Bahia, 2006.

Tese submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Manejo de Sistemas Hidroagrícolas.

**Orientador: Dr. Maurício Antonio Coelho Filho**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2014

## Ficha Catalográfica

S192a

Sampaio, Antonio Hélder Rodrigues.

Avaliação de combinações copa-porta-enxerto de citros sob déficit hídrico no solo: estudo de mecanismo de prevenção ao déficit hídrico / Antonio Hélder Rodrigues Sampaio. – Cruz das Almas, BA, 2014. 145f.; il.

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho.

Tese - (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Frutas cítricas – Cultivo. 2.Citros – Porta-enxertos. 3.Irrigação – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

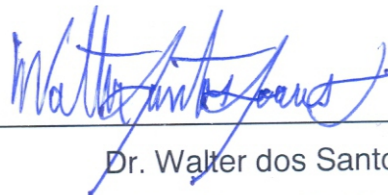
CDD: 634.3

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS


COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE  
ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO



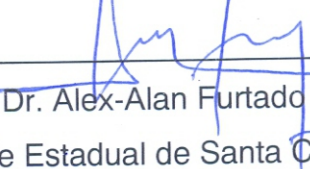
Dr. Maurício Antonio Coelho Filho  
Embrapa Mandioca e Fruticultura - CNPMF  
(Orientador)



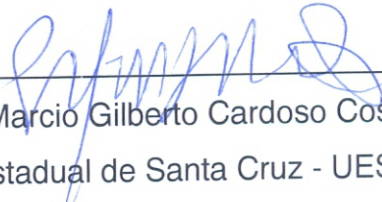
Dr. Walter dos Santos Soares Filho  
Embrapa Mandioca e Fruticultura - CNPMF



Dr. Abelmon da Silva Gesteira  
Embrapa Mandioca e Fruticultura - CNPMF



Prof. Dr. Alex-Alan Furtado de Almeida  
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC



Prof. Dr. Marcio Gilberto Cardoso Costa  
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

Tese homologada pelo Colegiado do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias  
em.....Conferindo o  
Grau de Doutor em Ciências Agrárias em.....

## **DEDICO**

*A minha esposa Cyntia Layane, pai Antonio Sampaio, mãe Maria do Carmo e irmã Léa Sampaio, pessoas fundamentais na minha vida, verdadeiros pilares que me mantêm sempre na busca de novas conquistas, justas aos olhos de Deus e do homem.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por cada segundo de vida, pelas vitórias alcançadas, pela paz e grandiosidade do seu perdão.

Em especial a minha família pelo apoio, amor e carinho.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias por oferecer a oportunidade de realização do curso. A todos os professores do programa que se dedicaram na formação de novos cientistas.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura pela infraestrutura e apoio durante a realização desse trabalho. Ao orientador Dr. Maurício Antonio Coelho Filho pela confiança e transferência de conhecimento. Aos pesquisadores colaboradores deste trabalho, Dr. Walter Soares Santos Filho, Dr. Laercio Duarte Souza, Dr. Abelmon da Silva Gesteira, Dr. Eduardo Augusto Girardi e Dr. Eugênio Ferreira Coelho.

A todos os colegas, estagiários e técnicos da Embrapa Mandioca e Fruticultura que apoiaram a realização deste trabalho. Não podia deixar de citar, personagens importantes como o colega de laboratório Roque Francisco Barbosa que apoiou em todas as etapas, Antonio Cavalcante que foi fundamental na gestão dos experimentos, Magno Guimarães parceiro da equipe de citros, Romário Santana, Ubirajara Oliveira, Ralph Brito, Edilon Jorge, Leandra Oliveira, Matheus Machado, e Roberval Oliveira que foram todos fundamentais para a conclusão da tese. Aos amigos Cristovam, Alisson Jadavi, Edvaldo Bispo e Erasto Gama que foram sempre solidários com a causa.

Os colegas de trabalho do Instituto Federal de Educação do Piauí, Campus Uruçuí, que incentivaram a finalização do curso. Aos professores Dayse, Mateus, Miguel, Isonaldo, Gabriela e o Fábio pela amizade e apoio.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, que apoiaram e torceram por mim e que porventura não foram citados, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1</b> PRODUÇÃO DE FRUTOS E RELAÇÕES HÍDRICAS DA LARANJEIRA 'PERA' EM COMBINAÇÃO COM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS SOB CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO.....	<b>10</b>
<b>Capítulo 2</b> CRESCIMENTO E RELAÇÕES HÍDRICAS DE GENÓTIPOS DE CITROS COMO PÉS-FRANCOS E ENXERTADOS COM LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOB DÉFICIT HÍDRICO.....	<b>53</b>
<b>Capítulo 3</b> INTERAÇÃO ENTRE A LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' E DIFERENTES PORTA- ENXERTOS EM CONDIÇÃO DE CAMPO SOB DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO.....	<b>101</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>136</b>

# **AVALIAÇÃO DE COMBINAÇÕES COPA-PORTA-ENXERTO DE CITROS SOB DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO**

Autor: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

**RESUMO:** A diversificação de porta-enxertos na citricultura brasileira para diferentes sistemas de produção e condições ambientais é um grande desafio. Experimentos foram conduzidos para avaliar características de tolerância ao déficit hídrico de porta-enxertos de citros, variedades e híbridos, em condição de pés-francos e enxertados com laranjeira ‘Pera’ e limeira ácida ‘Tahiti’. As plantas foram submetidas ao tratamento com irrigação e déficit hídrico, por secamento contínuo do solo em condição controlada e cultivo de sequeiro, em condição de campo. Foram determinados a umidade do solo, parâmetros de crescimento, parâmetros fisiológicos e densidade de raiz. Em condição de campo a produção e qualidade de frutos foram avaliadas. Entre os porta-enxertos avaliados, o limoeiro ‘Cravo’ apresentou melhor eficácia na extração de água e bom desempenho em relação aos parâmetros fisiológicos, tanto em condição de pé-franco como sob as copas ‘Pera’ e ‘Tahiti’. O híbrido LVK x LCR-038, quando submetido ao déficit hídrico, determinou à copa ‘Tahiti’ menores reduções na condutância estomática e no potencial de turgor, em condição de campo. O limoeiro ‘Cravo’, a tangerineira ‘Sunki Tropical’ e o citrandarin ‘Riverside’ apresentaram maior densidade de comprimento de raiz quando submetidos ao déficit hídrico. Diferentes níveis de ajustamento osmótico foram observados entre as combinações copa-porta-enxerto. O ‘Riverside’ se destacou como melhor combinação para laranjeira ‘Pera’ em relação à produção de frutos. O ‘Cravo Santa Cruz’, o ‘Riverside’ e os híbridos CLEO x LCR e LVK x LCR-038 induziram maior produção de frutos à copa ‘Thaiti’. Os resultados confirmam que diferentes mecanismos para evitar e/ou tolerar o déficit hídrico no solo são desenvolvidos de acordo com o porta-enxerto utilizado.

**Palavras-chave:** tolerância à seca, densidade de raiz, ajuste osmótico.



# EVALUATION OF DIFFERENTS SCION-ROOTSTOCK OF CITRUS PLANT UNDER SOIL WATER DEFICIT

Author: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Adviser: Maurício Antonio Coelho Filho

**ABSTRACT:** Diversification of rootstock in the brazilian citrus industry for different production systems and environmental conditions is currently the major challenge. Experiments were conducted to evaluate characteristics of water deficit tolerance of varieties and hybrids of citrus in conditions ungrafted and grafted 'Pera' sweet orange and 'Tahiti' lime. The plants were subjected to treatments with irrigation and water deficit by continuous soil drying, in controlled condition and rainfed crop, under field condition. Soil moisture, growth parameters, physiological parameters and root density were determined. Field study production and fruit quality were evaluated. Among the rootstocks, the 'Rangpur' lime showed better efficacy in the extraction of water and good performance in relation to physiological parameters, both in ungrafted condition and under the canopy 'Pera' and 'Tahiti'. The RL x VL-038 hybrid, when subjected to water deficit, provided to the canopy 'Tahiti' minor reductions in stomatal conductance and turgor potential in field condition. The 'Rangpur' lime, 'Sunki Tropical' mandarin and 'Riverside' citrandarin had greater root length density when subjected to water deficit. Different levels of osmotic adjustment were observed between the scion-rootstock combinations. The 'Riverside' was observed to be as the best combination for 'Pera' sweet orange in relation to fruit production. The 'Rangpur Santa Cruz' lime, 'Riverside' and CLEO x RL and RL x VL-038 hybrids induced higher production of fruits in the 'Tahiti'. The results confirm that different mechanisms to avoid/tolerate soil water deficit are developed according to the rootstock used.

**Key words:** drought tolerance, root density, osmotic adjustment.

## INTRODUÇÃO

### A importância dos porta-enxertos para a citricultura

O histórico da citricultura mundial deixa bem estabelecido que o uso de porta-enxertos proporciona muitas vantagens determinantes para a rentabilidade do pomar. A união entre copa e porta-enxerto, além de reduzir o estado juvenil das plantas, pode conferir uma maior adaptação a um ambiente limitante, seja por fatores bióticos ou abióticos. Castle (2010) enumerou 25 características positivas que os porta-enxertos podem agregar a uma variedade copa, abordando características relacionadas a fatores de produção, qualidade de frutos, tolerância aos diversos estresses e porte da planta.

Apesar de se tratar de uma técnica muito antiga, só a partir do início do século XX que o uso de porta-enxertos foi significativo, coincidindo com o período de grande crescimento da indústria de citros. Segundo Webber (1967), historicamente o uso de novos porta-enxertos sempre foi motivado por grandes perdas causadas por patógenos, a exemplo do ocorrido no Brasil, quando houve substituição do porta-enxerto laranjeira 'Azeda' (*Citrus aurantium* L.) pelo limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck), na maioria dos pomares, devido ao ataque do vírus da tristeza dos citros.

O predomínio de um ou poucos porta-enxertos, deixa o setor citrícola vulnerável a riscos bióticos e perde em competitividade por não diversificar o uso de porta-enxertos para os diferentes ecossistemas de produção. Em todo mundo é possível enumerar uma dezena de porta-enxertos que predominaram na formação de pomares comerciais, ao longo de um século, e parte deles ainda continua sendo utilizado. Segundo Castle (2010), a citricultura pode ser dividida em três fases, quanto ao uso de porta-enxertos. A primeira fase foi caracterizada pelo predomínio da laranjeira 'Azeda', em diversos pomares do mundo; na segunda fase, houve a inserção de novos porta-enxertos, como a

tangerineira 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. Ex Tanaka), limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), limoeiro 'Rugoso' (*C. jambhiri* Lush.) e limoeiro 'Cravo'; e na terceira fase, a seleção de porta-enxertos a partir de espécies oriundas de trifoliatas [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], citranges [*C. sinensis* (L.) Osbeck x *P. trifoliata*] e citrumelos (*C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*).

No Brasil, o limoeiro 'Cravo' é o mais utilizado, sendo o principal porta-enxerto da citricultura paulista (STUCHI et al., 2004), baiana e sergipana (PRUDENTE et al., 2004), que são o primeiro, segundo e quarto maiores produtores de citros do país, respectivamente. A preferência por esse porta-enxerto é devida às características de maior produção de frutos e de tolerância à seca, transmitida para diversas variedades copa (STUCHI et al., 2004; STENZEL et al., 2005; PRUDENTE et al., 2004; CASTLE, 2010; CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2011; 2012).

Após o surgimento da morte súbita dos citros (MSC) tem sido observada maior diversificação em relação ao uso de porta-enxertos na formação de mudas, mas ainda com predomínio do limoeiro 'Cravo', embora o uso da tangerineira 'Cleópatra' tenha tido um crescimento significativo, assim como o citrumelo 'Swingle' e, com menor participação, as variedades de *P. trifoliata* e a tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] (POMPEU JUNIOR et al, 2004; POMPEU JUNIOR, 2005).

Durante a evolução da citricultura, a maioria dos novos porta-enxertos foi proposta a partir da seleção de materiais já existentes e a criação de novos híbridos representa um grande potencial a ser explorado. Neste sentido, entre os diversos cruzamentos explorados, o *P. Trifoliata* tem sido um dos principais parentais escolhidos (CASTLE, 2010). O motivo para esse direcionamento é a possibilidade de redução do porte da copa, objetivando o adensamento dos pomares, sem, contudo, interferir na qualidade de frutos (PASSOS et al., 2006; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA et al., 2013).

Independente da característica que se busca na seleção dos porta-enxertos, mesmo diante dos avanços conseguidos até a atualidade, há muito que se descobrir em relação ao resultado obtido na interação entre copa e porta-enxerto, que são indivíduos geneticamente diferentes. Além do fator produção, a tolerância ao déficit hídrico tem sido considerada como o foco para formação de novos materiais. Neste aspecto, o sucesso do melhoramento genético está

diretamente relacionado com a caracterização criteriosa dos mecanismos de tolerância à seca utilizados por cada genótipo.

### **Ocorrência de déficit hídrico**

O cultivo dos citros no Brasil é conduzido, em maior parte, em sistema de sequeiro e ocorre em todos os estados brasileiros, com maior área plantada nos estados de São Paulo, Bahia, Sergipe, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná (IBGE, 2013). As variações climáticas nos últimos anos têm ocasionado um déficit no suprimento de água e provocado a redução na produtividade dos pomares. Segundo previsões, mudanças no clima indicam um aumento da variabilidade da precipitação nos próximos 40 anos, e aumenta o risco de ocorrência de altas temperaturas (IPCC, 2007; BATTISTI e NAYLOR, 2009).

O requerimento hídrico anual para uma boa produção de frutos em citros é de cerca de 900 mm a 1.200 mm, bem distribuídos ao longo do tempo, variando em função da demanda relacionada à evapotranspiração, características do solo, variedade copa utilizada e, principalmente, do porta-enxerto utilizado (DONATO et al., 2007). Mesmo em regiões com regime de chuvas de 1200 mm anuais, a má distribuição ocasiona períodos longos sem água disponível para as plantas (água retida abaixo de -1,5 MPa) até a profundidade de 1,5 m (PAIVA et al., 1998).

O déficit hídrico ocorre quando as raízes não conseguem suprir a parte aérea em relação à demanda de água, reduzindo a transpiração até níveis críticos. A água é transportada por meio do sistema solo-planta-atmosfera e é largamente controlada pelas resistências imposta pela raiz, caule, folha e estômatos. Algumas resistências, como as dos estômatos, são variáveis dependendo da resposta das plantas aos efeitos do ambiente e produção de ácido abscísico (NEVES et al., 2013). No geral, prevenir danos causados pelo déficit hídrico parece ser uma ação conjunta que envolve fatores hidráulicos e químicos e está relacionada à capacidade da planta manter o transporte de água, mesmo em nível limiar, contra as resistências do sistema solo-planta-atmosfera (TARDIEU et al., 2010; BLUM, 2011).

Estudos conduzidos em condição controlada, com objetivo de selecionar porta-enxertos com bom desempenho em situação de déficit hídrico, podem caracterizar os mecanismos de resposta utilizados pelos diferentes genótipos. É

importante considerar que avaliar o efeito do déficit hídrico, isoladamente, pode não representar fielmente o que acontece em condição de campo, pois, em ambiente natural, o déficit hídrico, muitas vezes está associado ao estresse por calor, que é determinante para as relações hídricas em nível foliar, além de existir a possibilidade de ocorrência de outros estresses, como os causados por salinidade, pH do solo e patógenos. Desta forma, é comum no meio científico o uso do termo estresse ambiental, que envolve os múltiplos fatores do estresse (KRASENSKY e JONAK, 2012).

Os citros, em condição natural, são submetidos a um grau de déficit hídrico quando ocorrem elevadas temperaturas e déficit de pressão de vapor (DPV) com efeito na redução da fotossíntese, mesmo que a umidade do solo esteja em níveis adequados (MEDINA et al., 1999). Este efeito é potencializado quando o potencial hídrico do solo diminui (BRAKKE e ALLEN, 1995). Alguns estudos relatam a queda na fotossíntese em níveis de DPV acima de 1,5 a 2,0 kPa e temperatura acima de 31°C (SINCLAIR e ALLEN, 1982; SOUZA et al., 2004). É muito provável que as reações de cada combinação copa-porta-enxerto sejam diferentes em relação a uma mesma demanda atmosférica.

A aclimatação às condições hídricas limitantes, em citros, está estreitamente relacionada com o porta-enxerto (SYVERTSEN e LEVY, 2005). Desta forma, a variedade utilizada como porta-enxerto tem um papel fundamental referente ao uso de água. A capacidade de uso da água pode significar o melhor ou pior desempenho da copa na ocorrência de déficit hídrico. Os distintos mecanismos de uso da água deixam em evidência o seguinte questionamento: o porta-enxerto ideal é aquele que apresenta maior capacidade de extração de água ou o que apresenta economia no seu uso em condição de déficit hídrico? A resposta para este questionamento envolve muitos fatores edáficos e fitotécnicos, relacionados à tolerância ao déficit hídrico, como a intensidade e duração do déficit, tipo de solo e sua profundidade, espaçamento de plantio, característica do sistema radicular, além de resistência a fatores bióticos, compatibilidade com a copa e maior capacidade de produção de frutos.

## Mecanismos de respostas ao déficit hídrico

Frequentemente as plantas são submetidas à condições de crescimento desfavoráveis. Suportar eventos de seca parece ser um dos maiores desafios para a prática da agricultura. Na corrida para seleção de espécies com bom desempenho sob déficit hídrico, a variabilidade entre genótipos é a principal motivação para os programas de melhoramento genético. Estudos com citros têm relatado diversas reações ao déficit hídrico no solo e muitas delas podem ser agrupadas dentro das características de retardo ou prevenção e tolerância (MAGALHÃES FILHO et al., 2008; RODRIGUES-GAMIR et al., 2010; NEVES et al., 2013).

As reações ao déficit hídrico podem ser classificadas como mecanismos desenvolvidos pela planta para se adequar às condições limitantes. Muitas terminologias são utilizadas referentes a um mesmo tipo de mecanismo, o que torna pouco didático o seu uso. Neste sentido, o presente estudo distinguirá os mecanismos segundo a recomendação de Blum (2011). Para este autor, que defende o uso do termo resistência à seca, os mecanismos de resistência são classificados como: 1 - prevenção à desidratação ou prevenção ao déficit hídrico; 2 – tolerância à desidratação ou tolerância ao déficit hídrico; e 3 – escape ao déficit hídrico.

Os mecanismos de prevenção ao déficit hídrico estão relacionados à capacidade da planta em manter sua hidratação. Enquanto que os mecanismos de tolerância conferem à planta a capacidade de manter suas funções no estágio de desidratação, o que é raro, mas pode ser importante em casos extremos de déficit (BLUM, 2011). E o mecanismo de escape é antecipação em todo ou parte do ciclo da planta que é uma característica desprezada na seleção de plantas perenes resistentes à seca.

A prevenção ao déficit hídrico pode ocorrer tanto pela eficácia na absorção de água pelo sistema radicular como pela redução do consumo (BLUM, 2005). Já os mecanismos de tolerância visam proteger a célula de danos muito graves quando os mecanismos de prevenção ao déficit não são mais suficientes (CLAYS e INZÉ). Segundo Tardieu (2012), os mecanismo de prevenção ao déficit são mais comuns no cenário agrícola, uma vez que condições muito extremas são raras. Neste sentido, este autor classifica como mecanismo de prevenção ao

déficit: o fechamento estomático, mudanças na arquitetura da planta, redução do crescimento, antecipação da abscisão de folhas e aumento da densidade de comprimento de raiz.

Outro mecanismo importante desenvolvido por plantas, sob déficit hídrico, é o ajustamento osmótico foliar, que atua na manutenção da hidratação e turgescência foliar. Para Blum (2011), este mecanismo é enquadrado como mecanismo de prevenção ao déficit hídrico, embora muitos estudos atribuem o ajustamento osmótico como responsável também pela proteção de enzimas, a danos oxidativos e à estabilidade da membrana celular, podendo ser enquadrado desta forma, como mecanismo de tolerância (DAMOUR et., 2008; CONDE et al., 2011).

Diante da importância da seleção de porta-enxertos, conforme já mencionado anteriormente, em três capítulos, este estudo faz uma caracterização dos mecanismos de respostas ao déficit hídrico no solo, desenvolvidos por diferentes porta-enxertos em combinação com as copas laranjeira 'Pera' (*C. sinensis*) e limeira ácida 'Tahiti' [*C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] e aborda aspecto de produção e qualidade de frutos.

## REFERÊNCIAS

BATTISTI D.S.; NAYLOR R.L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, v. 323, p. 240-244, 2009.

BLUM, A. Crop Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production In: *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. BLUM, A. (Ed.). Springer, p. 11-45, New York, 2011.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, p. 1159-1168, 2005.

BRAKKE, M.; ALLEN JR, L.H. Gas exchange of citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 120, n.3, p. 497-504, 1995.

CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; STUCHI, E.S.; SILVA, S.R.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; NETO, H.B. Rootstocks for high fruit yield and quality of 'Tahiti' lime under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae*, v. 142, p. 105-111, 2012.

CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; STUCHI, E.S.; SILVA, S.R.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E. Horticultural performance of 'Folha Murcha' sweet orange onto twelve rootstocks. *Scientia Horticulturae*, v. 129, p. 259-265, 2011.

CASTLE, W.S. A Career perspective on citrus rootstocks, their development, and commercialization. *HortScience*, v. 45, n. 1, p. 11-15, 2010.

CLAEYS, H.; INZÉ, D. The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. *Plant Physiology*, v. 162, p. 1768-1779, 2013.

CONDE, A.; CHAVES, M. M.; GERÓS, H. Membrane Transport, Sensing and Signaling in Plant Adaptation to Environmental Stress. *Plant Cell Physiology*, n. 52, v. 9, p. 1583-1602, 2011.

DAMOUR, G.; VANDAME, M.; URBAN, L. Long-term drought modifies the fundamental relationships between light exposure, leaf nitrogen content and photosynthetic capacity in leaves of the lychee tree (*Litchi chinensis*). *Journal Plant Physiology*, n. 165, p. 1370–1378, 2008.

DONATO et al. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 10, p. 1507-1510, 2007.

IPCC. 2007. Fourth Assessment Report: synthesis. Published online 17 November 2007, [www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm](http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm).

KAHN, I. (ed.). 2007. Citrus genetic, breeding and biotechnology. CAB International, Cambridge, MA.

KRASENSKY, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 4, p. 1593-1608, 2012.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes



em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v.67, p.75-82, 2008.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M.R.; IGLESIAS, D.J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, v. 27, p. 629-638, 2013.

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*, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

MOURÃO FILHO, F de A. A.; MISCHAN, M. M.; SALIBE, A. A. Efeito de diferentes porta-enxertos no vigor e produtividade da laranjeira 'pera' (*Citrus sinensis* L.) Osbeck. *Anais da Esalq, Piracicaba-SP*, n. 48, P. 167-184, 1991.

NEVES, D.M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B.S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. *Mol Biol Rep.*, publicação eletrônica, DOI: 10.1007/s11033-013-2634-z, 2013.

PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. Disponibilidade de água em uma topossequência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia e sua relação com indicadores do crescimento da laranjeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:367-377, 1998.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. *Citros*. Campinas: IAC; Fundag, 2005. cap.4, p. 61-104.

POMPEU JUNIOR, J.; SALVA, R. & BLUMER, S. Copas e porta-enxertos nos viveiros de mudas cítricas do Estado de São Paulo. *Laranja, Cordeirópolis*, v. 25, n. 2, p. 413-422, 2004.

PRUDENTE, R.M.; SILVA, L.M.S.; CUNHA SOBRINHO, A.P. da. Comportamento da laranjeira 'Pêra' D6 sobre cinco porta-enxertos em ecossistema de tabuleiros

costeiros, Umbaúba-SE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 1, p. 110-112, 2004.

RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER, J.B.; FORNER-GINER, M.A. Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, n. 126, p. 95–102, 2010.

SINCLAIR, T.R.; ALLEN, J.R. Carbon dioxide and water vapour exchange of leaves on field-grown citrus trees. *Journal of experimental Botany*, v. 33, p. 1166-1175, 1982.

SOUZA, G.M.; RIBEIRO, R.V.; PINCUS, S.M. Changes in network connectance and temporal dynamics of gas exchange in *Citrus sinensis* under different evaporative demands. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v. 16, n. 3, p. 119-130, 2004.

STENZEL, N.M.C.; NEVES, C.S.V.J. Rootstocks for ‘Tahiti’ lime. *Scientia Agricola*. v. 61, p. 151-155, 2004.

STUCHI, E.S.; DONADIO, L.C.; SEMPIONATO, O.R.; DILERMANDO PERECIN. Produtividade e qualidade dos frutos da laranjeira ‘Pêra’ clone IAC em 16 porta-enxertos na região de bebedouro-sp. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 2, p. 359-362, 2004.

SYVERTSEN, J.P., LEVY, Y., 2005. Salinity interactions with other abiotic and biotic stresses in citrus. *HortTech*. 15, 100–103.

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 1, p. 25-31, 2012.

TARDIEU, F.; PARENT, B.; SIMONNEAU T. Control of leaf growth by abscisic acid: hydraulic or non-hydraulic processes? *Plant, Cell and Environment*, v. 33, p. 636-647, 2010.

WEBBER, H.J. History and development of the citrus industry. In: Reuther, W., H.J. Webber, and L.D. Batchelor (eds.). *The citrus industry*. v.1. Univ. Calif., Oakland, CA, p. 1-39, 1967.

# **CAPÍTULO 1**

## **PRODUÇÃO DE FRUTOS E RELAÇÕES HÍDRICAS DA LARANJEIRA 'PERA' EM COMBINAÇÃO COM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS SOB CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Scientia Horticulturae.

# **PRODUÇÃO DE FRUTOS E RELAÇÕES HÍDRICAS DA LARANJEIRA 'PERA' EM COMBINAÇÃO COM DIFERENTES PORTA-ENXERTOS SOB CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO**

Autor: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

**RESUMO:** Este trabalho objetivou avaliar, em condição de campo, diferentes combinações entre a copa laranjeira 'Pera' e oito porta-enxertos, sendo estes: o limoeiro 'Cravo' (LCR), limoeiro 'Volkameriano' (LVK), tangerineira 'Cleópatra' (CLEO), tangerineira 'Sunki Maravilha' (TSKMA), os citrandarins 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR (limoeiro 'Cravo')-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051. O potencial matricial do solo ( $\Psi_m$ ) foi caracterizado para todas as combinações copa-porta-enxerto nas profundidades 0,25 m, 0,50 m e 0,90 m, nos períodos seco e úmido. Medidas de potencial hídrico na folha ( $\Psi_w$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), temperatura foliar ( $T_f$ ) e teor relativo de água (TRA) foram realizadas e discutidas em relação às condições ambientais. Durante dois anos a produção de frutos foi monitorada e parâmetros de qualidade de frutos foram determinados. Diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as combinações copa-porta-enxertos para os parâmetros  $\Psi_m$ ,  $\Psi_w$  e  $g_s$  foram observadas no período seco. O menor  $\Psi_m$  do solo para limoeiro 'Cravo' e maior para o HTR-051 indicaram a existência de mecanismos diferenciados de extração de água. O limoeiro 'Cravo', apesar de determinar um menor  $\Psi_m$ , proporcionou à copa de laranjeira 'Pera', maiores valores de  $\Psi_w$ , não diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da CLEO e 'Riverside'. O porta-enxerto TSKMA, no período seco, determinou à copa menor  $\Psi_w$  e  $g_s$  e elevou  $T_f$  significativamente ( $p \leq 0,05$ ). Em relação à produção e qualidade de frutos, os porta-enxertos determinaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) e o 'Riverside' se destacou, em dois anos consecutivos, como a melhor combinação, seguido do 'Indio' e HTR-051.

**Palavras-chave:** Citros, potencial hídrico, tolerância à seca.

# **WATER RELATIONS AND YIELD OF 'PERA' SWEET ORANGE GRAFTED ON DIFFERENT ROOTSTOCKS UNDER SOIL WATER DEFICIT**

Author: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Adviser: Maurício Antonio Coelho Filho

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate, under field conditions, different combinations between 'Pera' sweet orange and eight rootstocks, being 'Rangpur' lime (RL), 'Volkamer' lemon (VL), 'Cleopatra' mandarin (CLEO), 'Sunki Maravilha' mandarin (SKM), 'Indio' and 'Riverside' citrandarins, hybrids VL x RL ('Rangpur' lime)-010 e HTR-051. The matric potential of soil ( $\Psi_m$ ) was characterized for all combinations of scion-rootstock in the depths 0,25 m, 0,50 m 0,90 m in the dry and wet seasons. The leaf water potential ( $\Psi_w$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), leaf temperature ( $T_f$ ) and relative water content (TRA) were performed and discussed in relation to the environmental conditions. For two years the fruit production parameters were monitored and the fruit quality was determined. Differences significant ( $p \leq 0,05$ ) between the scion-rootstock for  $\Psi_m$ ,  $\Psi_w$  and  $g_s$  parameters were observed in the dry season. The lowest soil  $\Psi_m$  for RL and greater for HTR-051 indicate different mechanisms of water extraction. The highest values of  $\Psi_w$  was found in 'Pera' sweet orange under the rootstocks RL, CLEO and Riverside. In dry period, the combination between 'Pera' and SKM determined lower  $\Psi_w$  and  $g_s$  and increased significant ( $p \leq 0,05$ ) the  $T_f$ . Rootstocks showed differences significant ( $p \leq 0,05$ ) on yield and quality of fruits. The 'Riverside' was considered excelled in two consecutive years as the best combination for producing of fruit, followed by the 'Indio' and HTR-051.

**Key words:** Citrus, water potential, drought tolerance.

## INTRODUÇÃO

A necessidade de diversificação do uso de porta-enxertos na citricultura brasileira para diferentes sistemas de produção e condições ambientais é, atualmente, o grande desafio para garantir o crescimento do setor, com redução dos riscos causados por fatores bióticos e abióticos. Segundo Passos et al. (2006), essa diversificação é imperiosa, pois a citricultura encontra-se com muitas ameaças, sobretudo devido ao surgimento de patógenos que afetam pomares enxertados com o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) porta-enxerto mais utilizado no país (STUCHI et al., 2004; PRUDENTE et al., 2004).

Após o surgimento da morte súbita dos citros (MSC), tem sido observada maior diversificação em relação ao uso de porta-enxertos na formação de mudas, mas ainda com predomínio do limoeiro 'Cravo', embora o uso da tangerineira 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka), tenha tido um crescimento significativo, assim como o do citrumeleiro 'Swingle' [*C. paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] e com menor participação variedades de *Poncirus trifoliata* e a tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] (POMPEU JUNIOR et al., 2004; POMPEU JUNIOR, 2005).

A recomendação de alternativas para substituição de porta-enxertos tradicionais na citricultura, a exemplo do limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), limoeiro 'Rugoso' (*C. jambhiri* Lush.) e limoeiro 'Cravo', deve ser muito criteriosa, pois além de virtudes em relação à tolerância a patógenos, os novos genótipos devem ser adaptados a condições ambientais adversas, como temperatura do ar mais elevada e solos com baixa disponibilidade de água e, ainda, tolerar alterações nos fatores edáficos ligados à química e à física do solo e, por fim, aumentar a produção e a qualidade dos frutos.

Programas de melhoramento genético de citros, a exemplo do desenvolvido pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, têm feito esforços para disponibilizar novas variedades, entre elas porta-enxertos resistentes a fatores bióticos e abióticos, sendo uma alternativa para aumentar a base genética para proteção da produção citrícola nacional. Neste sentido, a formação de híbridos de limoeiros, tangerineiras e de *Poncirus trifoliata* poderá suprir a necessidade atual de novos materiais, a exemplo de testes promissores já realizados com os híbridos HTR-051 (CERQUEIRA et al., 2004; PEIXOTO et al., 2006), TSKFL x CTTR-017 (SUASSUNA et al., 2012) e LVK x LCR-10 (CARVALHO et al., 2012).

Sendo o cultivo de citros no Brasil predominantemente sem irrigação, é desejável que se usem combinações (copa-porta-enxerto) que mostrem tolerância à seca, em vista da ocorrência de déficit hídrico temporário em várias regiões citrícolas (ORTOLANI et al., 1991; RIBEIRO et al., 2006). Especificamente no ecossistema de Tabuleiros Costeiros, onde se concentra a citricultura dos estados da Bahia e de Sergipe, segundo e quarto produtores do Brasil, instaladas sobre os solos Latossolos e Argissolos, que em função da sua gênese apresentam camadas coesas subsuperficiais e impedem que as plantas cítricas desenvolvam um sistema radicular mais profundo, o que as torna mais vulneráveis ao déficit hídrico, comum nos meses de novembro a março (PEIXOTO et al., 2006; SOUZA et al., 2004a).

O requerimento hídrico anual para a produção de frutos em citros é de cerca de 900 mm a 1.200 mm, bem distribuídos ao longo do tempo, variando em função da demanda relacionada à evapotranspiração, características do solo, variedade copa utilizada, e, principalmente, variedade porta-enxerto empregada (DONATO et al., 2007). Os citros apresentam bom desenvolvimento em temperaturas de 22 a 33 °C. Acima de 40 °C e abaixo de 13 °C, a taxa de fotossíntese diminui, o que acarreta perdas de produtividade (SYVERTSEN e LLOYD, 1994).

A combinação de uma mesma copa com diferentes variedades de porta-enxertos afetam, distintamente, as relações hídricas e as trocas gasosas de cada combinação (CASTLE et al., 1989; MACHADO et al., 2002). A produtividade é também afetada pela diferença de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera, pois quando está elevada inibe a abertura dos estômatos, o que reduz a difusão do CO<sub>2</sub> atmosférico para os sítios de fixação de carbono nos cloroplastos, reduzindo a taxa de fotossíntese (MEDINA et al., 1999).

Neste sentido, em condição de campo, plantas enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' são consideradas mais tolerantes à seca (POMPEU JUNIOR, 1991; MACHADO et al., 2002). Para atender ao objetivo de propor o uso de novos porta-enxertos, em condição de sequeiro, este trabalho avaliou a produção, a qualidade de frutos e as relações hídricas da laranjeira 'Pera' enxertada em oito diferentes indivíduos cultivados em Latossolo Amarelo Distrocoeso, em Cruz das Almas, BA.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização, solo e material vegetal**

O trabalho foi realizado no campo experimental de citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA (Latitude: 12°40'39"S, Longitude: 39°06'23"W, Altitude: 225m), entre julho de 2010 e dezembro de 2012. Considerando dados meteorológicos da série temporal de 1971 a 1997, D'Angiolella et al. (2011) caracterizaram o clima da região como Am (classificação de Köeppen), sub úmido, com precipitação pluvial média anual de 1.143 mm, apresentando um moderado excesso de água no inverno e chuvas inferiores a 60 mm no mês mais seco. A temperatura média, apesar das variações sazonais, está na faixa dos 23,7 °C, tendo a média máxima em torno de 28,7 °C, a média mínima de 20,1 °C e amplitude térmica de 8,6 °C.

Foram avaliadas plantas adultas de laranjeira 'Pera' [*C. sinensis* (L.) Osbeck], em pomar com nove anos de idade, cultivadas no espaçamento 6m x 4m e enxertadas em oito porta-enxertos: limoeiro 'Cravo' (LCR), limoeiro 'Volkameriano' (LVK), tangerineiras 'Cleópatra' (CLEO) e 'Sunki Maravilha' (TSKMA), citrandarins (*C. sunki* x *P. trifoliata* seleção 'English') 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-10 e HTR (híbrido trifoliado) - 051.

O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo Distrocoeso com os horizontes: Ap: 0-0,09 m, AB: 0,09-0,38 m, Bw1: 0,38-0,72 m e Bw2: 0,72-1,20 m (EMBRAPA, 2006). Foram coletadas, em trincheiras, amostras com estrutura deformada e indeformada para a caracterização física do solo a partir de análises de granulometria, retenção de água, condutividade hidráulica saturada, densidade e porosidade do solo (Tabelas 1 e 2). A análise química foi realizada com



amostras de solo compostas, coletadas na área de projeção da copa, nas profundidades de 0 - 0,25 e 0,25 - 0,50 m (Tabela 3).

**Tabela 1.** Granulometria dos horizontes Ap (0-0,09m), AB (0,09-0,38m), Bw1 (0,38-0,72m), Bw2 (0,72-1,20m) e classificação textural do Latossolo Amarelo Distrocoeso, campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Composição granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )									
Horizonte	Areia						Silte	Argila	Classificação Textural
	MG	G	M	F	MF	Total			
Ap	34	97	139	193	34	497	154	349	Argilo arenoso
AB	32	111	158	244	62	607	147	246	Franco argilo arenoso
Bw1	35	111	127	179	48	500	128	372	Argilo arenoso
Bw2	22	88	116	168	23	417	170	413	Argilo arenoso

Nota: MG – muito grossa, G – grossa, M – média, F – Fina, MF – muito fina.

**Tabela 2.** Retenção de água no solo realizada pela relação entre tensão e umidade volumétrica ( $\Theta$ ), condutividade hidráulica saturada ( $K\Theta_{Sat}$ ), densidade ( $D_s$ ) e porosidade dos horizontes Ap (0-0,09m), AB (0,09-0,38m), Bw1 (0,38-0,72m) e Bw2(0,72-1,20), de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Horizonte	Tensão (kPa) x $\Theta$ (cm cm <sup>-3</sup> )					$K\Theta_{Sat}$ mm h <sup>-1</sup>	$D_s$ kg dm <sup>-3</sup>	Porosidade (%)	
	10	33,3	100	300	1500			Macro	Micro
Ap	0,206	0,190	0,190	0,179	0,156	463	1,52	11,6	24,6
AB	0,179	0,162	0,161	0,157	0,134	23	1,56	9,8	22,0
Bw1	0,245	0,227	0,236	0,213	0,185	7	1,63	5,3	26,8
Bw2	0,228	0,209	0,183	0,178	0,166	34	1,46	12,8	26,1

**Tabela 3.** Análise química do Latossolo Amarelo Distrocoeso, campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Profundidade (m)	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V %	M.O g kg <sup>-1</sup>
0 - 0,25	5,2	58	0,23	1,70	0,70	0,2	0,03	2,75	2,66	5,41	49	4,86
0,25 - 0,50	4,9	13	0,12	1,10	0,80	0,2	0,03	2,42	2,05	4,47	46	6,73

Foi realizada periodicamente, quando necessário, a retirada de plantas daninhas na linha de plantio e podas de ramos secos. No início do experimento foi realizada a aplicação de calcário dolomítico utilizando a relação de 1,3 t ha<sup>-1</sup> para elevar a saturação de bases do solo a 70%, conforme recomendação de

Magalhães et. al. (2009). As adubações de cobertura foram realizadas na área de projeção da copa com fontes de nitrogênio (600g de ureia/planta) e potássio (300g de cloreto de potássio/planta), parceladas duas vezes no ano, de acordo ao período da chuva (AZEVEDO, 2003).

### Dados climáticos

As informações de precipitação, temperatura do ar, umidade realtiva do ar, radiação solar foram obtidas da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e convencional, ambas localizadas na Embrapa Mandioca e Fruticultura. Para definição do período seco e úmido foi realizado o balanço hídrico de água no solo de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955). Considerou-se para cálculo de armazenamento de água no solo a profundidade até 1,2 m e os limites de retenção de água no solo, capacidade de campo e ponto de murcha.

O déficit de pressão de vapor do ar (DPV) foi calculado de acordo com as Equações 1, 2 e 3:

$$DPV = ea - es \quad (1)$$

$$ea = \frac{UR \times es}{100} \quad (2)$$

$$es = 0,6108 \frac{17,3t}{237,3+t} \quad (3)$$

Sendo

DPV- déficit de pressão de vapor (kPa)

ea - pressão atual de vapor (kPa)

es - pressão de vapor saturante (kPa)

UR - umidade relativa do ar (%)

t - temperatura (°C)

### Umidade do solo

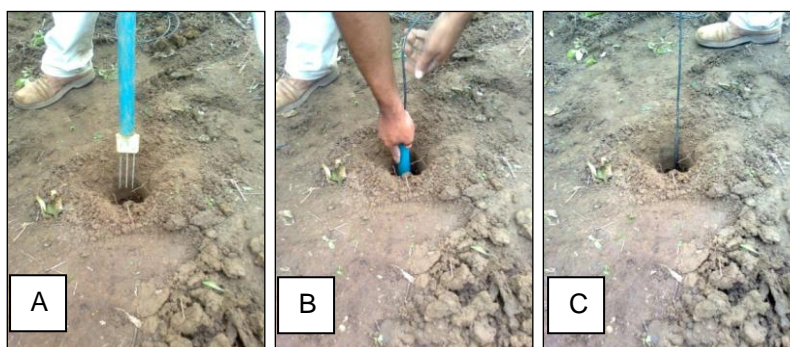
A umidade do solo foi obtida a partir de valores de constante dielétrica com uso de TDR (Time Domain Reflectometry). As sondas de TDR foram construídas no Laboratório de Irrigação e Drenagem da Embrapa Mandioca e Fruticultura com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável com comprimento efetivo de 0,1 m, espaçadas entre si por 0,017 m, fixas a um bloco de resina de

poliéster com dimensões de 0,05 x 0,045 x 0,015 m e conectadas a um cabo coaxial de 50 ohms de 1,5 m de comprimento. Foram realizados testes de determinação da constante dielétrica ( $K_a$ ) em meio saturado (areia + água) para descartes das sondas defeituosas (Figura 1).



**Figura 1.** Testes de sondas de TDR (Time Domain Reflectometry) com determinação da constante dielétrica ( $K_a$ ) em caixa de areia saturada.

No período de agosto de 2010 a julho de 2011, a umidade do solo foi monitorada em conjunto com as determinações de variáveis fisiológicas, medidas em planta, com frequência mensal, de forma a caracterizar a variação entre combinações de copa-porta-enxerto na época seca e úmida. As sondas de TDR foram instaladas em duas plantas para cada porta-enxerto e em três profundidades (0,25, 0,50 e 0,90 m), representando o perfil médio dos horizontes AB (0,09-0,38m), Bw1 (0,38-0,72m) e Bw2 (0,72-1,20m) e posicionadas próximas (1,0 m) do porta-enxerto (Figura 2).



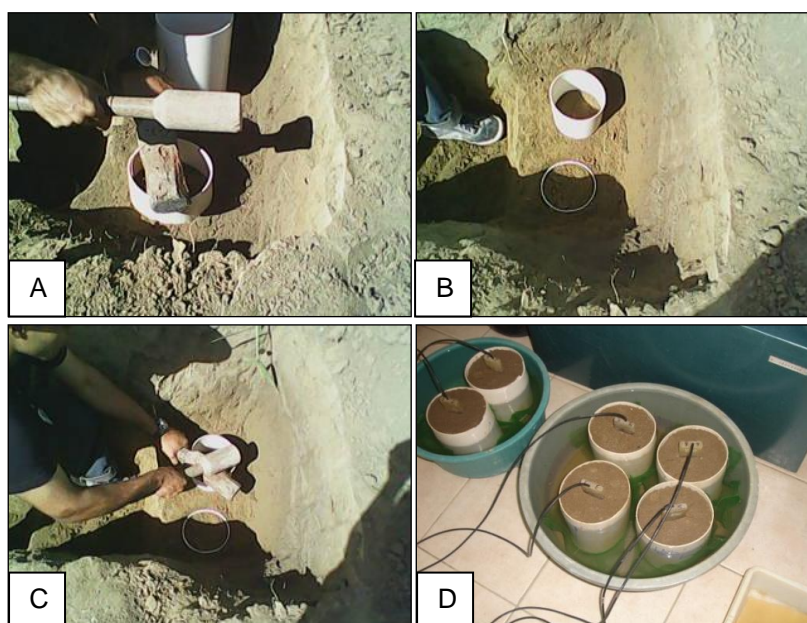
**Figura 2.** Instalação de sondas de TDR (Time Domain Reflectometry) no campo (A), com auxílio de tubo de PVC de 36 mm para fixação das hastas metálicas na profundidade desejada (B) e orientação do cabo coaxial para o fechamento do orifício (C).

### Calibração das sondas de TDR

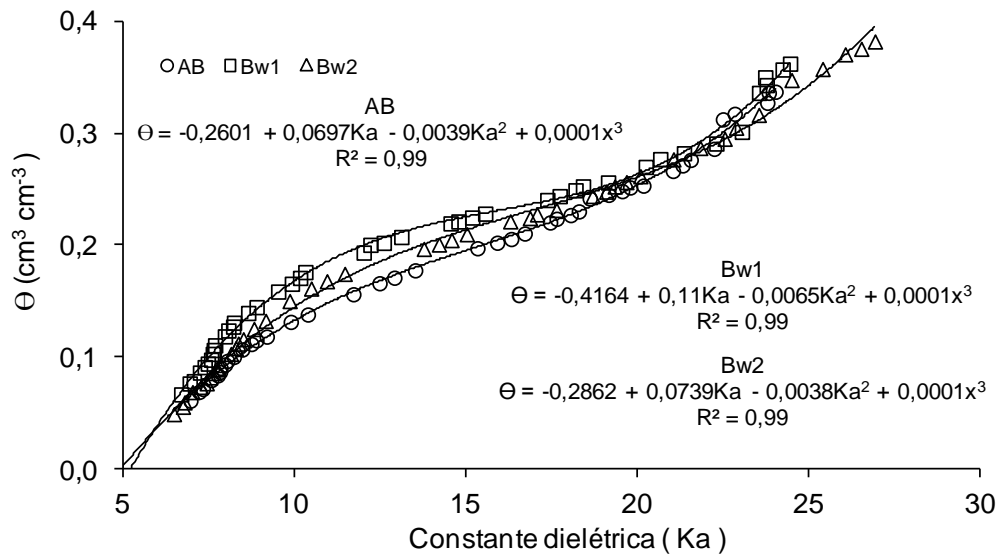
A calibração das sondas de TDR para o solo da área experimental foi realizada em amostras indeformadas coletadas em trincheira com tubos de PVC de 0,25 m de altura e 0,15 m de diâmetro. Para cada horizonte (AB, Bw1 e Bw2) foram coletadas duas amostras e, em seguida, revestidas com tela de nylon na parte inferior para posterior saturação durante 24 h (Figura 3).

Após a saturação das amostras de solo procedeu-se a calibração com a determinação de sua massa em balança semianalítica e constante dielétrica do solo ( $K_a$ ) com o uso de TDR. Essas medidas foram repetidas com maior frequência (10 – 20 min) logo após a saturação e com intervalos maiores (1 – 2 h) com o secamento da amostra, caracterizando a faixa entre a saturação até a umidade crítica (solo seco). Após a massa da amostra e a constante dielétrica do solo ( $K_a$ ) permanecerem constantes, o solo foi colocado em estufa a 105 °C durante 72 h.

Foi ajustado o modelo entre a constante dielétrica do solo ( $K_a$ ) e a umidade volumétrica ( $\Theta$ ) (Figura 4). A umidade volumétrica foi obtida pela equação:  $\Theta = U_g \times d_s$ , sendo  $U_g$  a umidade a base de massa, obtida pela massa seca ( $m_s$ ) e úmida ( $m_u$ ) das amostras, de acordo a equação:  $U_g = (m_u - m_s) / m_s$ , e  $d_s$  a densidade do solo.



**Figura 3.** Etapas da coleta de amostra indeformada com tubos de PVC em trincheira (A, B e C) e saturação da amostra em laboratório para a realização da calibração do solo com sondas de TDR (Time Domain Reflectometry) (D).



**Figura 4.** Relação entre constante dielétrica do solo ( $K_a$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) para os horizontes AB, Bw1, Bw2 do Latossolo Amarelo Distrocioso, campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

### Potencial matricial do solo ( $\Psi_m$ )

O potencial matricial ( $\Psi_m$ ) do solo foi estimado com uso do modelo de Van Genuchten (1980) a partir dos valores de umidade do solo (Equação 4).

$$\Psi_m = \frac{\left[ \left( \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\Theta - \Theta_r} \right)^{\frac{1}{m} - 1} \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo:

$\Psi_m$  – Potencial matricial (kPa)

$\Theta_s$  – Umidade de saturação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\Theta_r$  – Umidade residual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\Theta$  - Umidade observada ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  – coeficientes adimensionais

Os parâmetros de ajuste do modelo foram estimados por meio da ferramenta Solver do programa Microsoft Excel, considerando as informações da curva de retenção de água no solo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes da equação de Van Genuchten para ajuste de modelo que relaciona umidade ( $\Theta$  -  $\text{cm cm}^{-3}$ ) e potencial matricial do solo ( $\Psi_m$  - kPa) para os horizontes AB (0,09-0,38m), Bw1 (0,38-0,72m), Bw2(0,72-1,20).

Horizonte	$\Theta_{\text{saturado}}$	$\Theta_{\text{residual}}$	Alfa	m	n	$r^2$
AB	0,3099	0,1164	0,4821	0,3030	1,4931	0,997
Bw1	0,3360	0,1606	0,4591	0,2645	1,3959	0,996
Bw2	0,3615	0,1506	0,2536	0,4146	1,4821	0,998

De acordo com as informações de balanço hídrico climatológico (BH) e valores de água disponível (AD) nas profundidades de 0,25; 0,50 e 0,90 m, os dados de  $\Psi_m$  foram agrupados, utilizando o critério para a época seca de AD no perfil até 0,9 m de profundidade < 35% e época úmida >50%. Os percentuais de água disponível no solo (AD), nas três profundidades, foram calculados para os períodos seco e úmido, de acordo com a equação 5.

$$AD(\%) = \frac{(\Theta_i - \Theta_{pm})}{(\Theta_{cc} - \Theta_{pm})} \times 100 \quad \text{Eq.5}$$

Sendo:

AD – água disponível (%)

$\Theta_i$  – umidade volumétrica instantânea ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$\Theta_{pm}$  – umidade volumétrica no ponto de murcha ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$\Theta_{cc}$  – umidade volumétrica no capacidade de campo ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

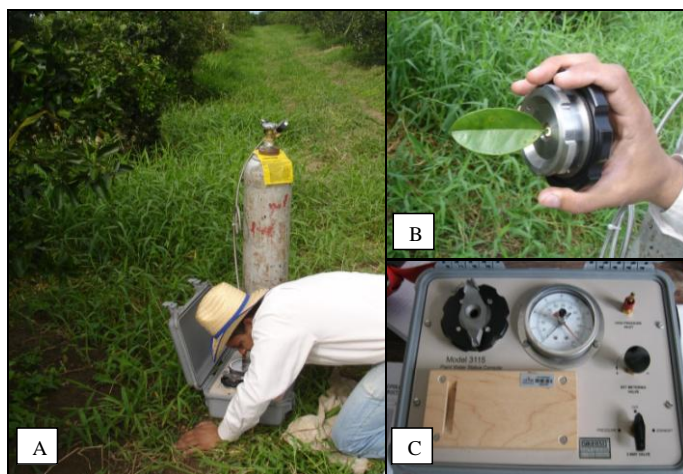
### Variáveis Fisiológicas

As variáveis fisiológicas, condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ), potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), temperatura foliar ( $T_f$ ), teor relativo de água na folha (TRA) foram determinados conjuntamente, com duração para cada procedimento de 45 a 60 min, caracterizando o estado hídrico da planta nos períodos seco e úmido, entre julho de 2010 a julho de 2011.

A condutância estomática ( $g_s$ ) foi estimada mensalmente com uso de porômetro modelo LI-1600 (Li-cor, Nebraska, USA) em três horários do dia (8, 12 e 15h). As medidas foram realizadas em uma folha totalmente expandida, situada entre a primeira e a quinta folha após o ápice do ramo. Foram selecionados dois

ramos por planta localizados na parte externa e em lados opostos da copa (quadrantes leste e oeste), a partir de 1,5 m de altura do solo.

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi determinado mensalmente com câmara de pressão tipo 'Scholander' modelo 3115 (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA). As análises foram realizadas nos horários de 10h, com amostragem de duas folhas fisiologicamente maduras, localizadas em diferentes ramos na parte externa e em lados opostos da copa (quadrante leste e oeste), a partir de 1,5 m de altura do solo. As determinações ocorreram em campo com folhas seccionadas no pecíolo, com auxílio de uma tesoura e, imediatamente colocadas na câmara de pressão para a realização da leitura. Foi registrada a pressão, lida no manômetro do equipamento, suficiente para forçar a saída da seiva na base do pecíolo foliar (Figura 5A, B e C).



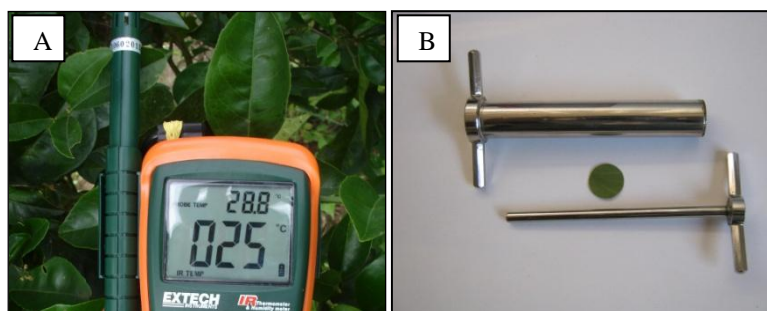
**Figura 5.** Determinação do potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) no campo em plantas de laranja 'Pera' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) com câmara de pressão tipo 'Scholander' (A). Folha selecionada para determinação de  $\Psi_w$  com pecíolo fixado na tampa da câmara de pressão (B); Interface da câmara de pressão utilizada nas medições com detalhe do manômetro e válvulas de abertura do gás para acionamento da pressão (C).

A temperatura foliar ( $T_f$ ) foi determinada às 10h, com medições no período seco e úmido, com uso de termômetro de infravermelho (Figura 6A), sendo amostradas folhas completamente expandidas e na parte externa da copa, a partir de 1,5 m de altura do solo, nos quatro quadrantes da planta (norte, sul, leste e oeste). A  $T_f$  foi medida em três folhas por quadrante, totalizando 12 folhas por planta. A distância do termômetro em relação à folha foi de 5 a 10 cm.

O teor relativo de água na folha (TRA) foi determinado nos períodos seco e úmido, a partir da retirada de discos no limbo foliar (Figura 6B). As medidas



ocorreram no final da tarde, entre 17 e 18h, com seleção de uma folha completamente expandida e madura em cada quadrante da planta (norte, sul, leste e oeste), localizada em ramos na parte externa da copa, sendo amostrados quatro discos por folha, totalizando 16 discos em cada planta. Os discos foram armazenados em tubos de vidro totalmente fechados e acondicionados em caixa térmica contendo gelo. A massa fresca de cada amostra foi determinada em balança analítica, imediatamente após a realização da amostragem. Para obtenção da massa túrgida foram adicionados 3 mL de água em cada tubo de vidro para saturação completa dos discos, os quais foram novamente pesados depois de 24 h, com a remoção do excesso de água, cuidadosamente. A massa seca das amostras foi obtida com a secagem dos discos, em estufa de circulação forçada de ar, durante três dias com temperatura média de 60-80 °C. O TRA foi calculado com a seguinte equação:  $TRA = [(massa\ fresca - massa\ seca) / (massa\ túrgida - massa\ seca) \times 100]$ .



**Figura 6.** Termômetro infravermelho para medições de temperatura foliar (A) e coletor de discos em folha para estimar o teor relativo de água (B).

### **Produção e qualidade de frutos**

A produção de frutos ( $kg\ planta^{-1}$ ) foi contabilizada, em colheitas realizadas nos anos de 2011 e 2012. Para determinação da qualidade de frutos, foram utilizados frutos da colheita realizada no mês de junho de 2011. Foram coletados, em cada combinação copa-porta-enxerto, dez frutos por planta na parte externa da copa, obedecendo ao critério de uniformização das amostras a partir da coloração da casca. Em seguida foram encaminhados ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-colheita da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, para determinação de parâmetros físicos: altura (cm), diâmetro (cm),



massa dos frutos (g), rendimento de suco [RS = (massa de suco/massa de fruto) x 100].

Também foram determinados os parâmetros químicos: sólidos solúveis totais (SST), medidos em °Brix, por meio de leitura direta em refratômetro de bolso, com os valores corrigidos para 20 °C; acidez titulável total (ATT) do suco, determinada por titulometria com solução de NaOH a 0,1 N e indicador fenolftaleína (AOAC, 1990), sendo os resultados expressos em g/100g de ácido cítrico (Figura 7). Foi determinada a razão entre SST e ATT, e o índice tecnológico (IT), equivalente à quantidade de sólidos solúveis totais no suco (kg), em uma caixa de colheita de frutos de 40,8 kg, obtido pela Equação 5, conforme Di Giorgi et al. (1990).

$$IT = \frac{(RS \times SST \times 40,8)}{10^4} \times 100 \quad \text{Eq.5}$$

Sendo:

IT – Índice tecnológico

RS – Rendimento de suco (%)

SST – Sólidos solúveis totais (°Brix)



**Figura 7.** Amostra de frutos (A), avaliação de °brix com refratômetro (B), amostras de suco em triplicata para determinação de acidez total (C) e (D) pipeta automática para dosagem de NaOH.

### Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, considerando para o  $\Psi_m$  do solo o fatorial 8 x 3, sendo oito porta-enxertos e três profundidades, analisando separadamente para o período seco e úmido com  $n = 2 \times 4$ , sendo duas plantas monitoradas e quatro avaliações para cada período.

Em relação aos parâmetros fisiológicos,  $\Psi_w$  e  $g_s$  da folha, foi realizada análise estatística para cada avaliação mensal. Para o parâmetro  $\Psi_w$  foi utilizado

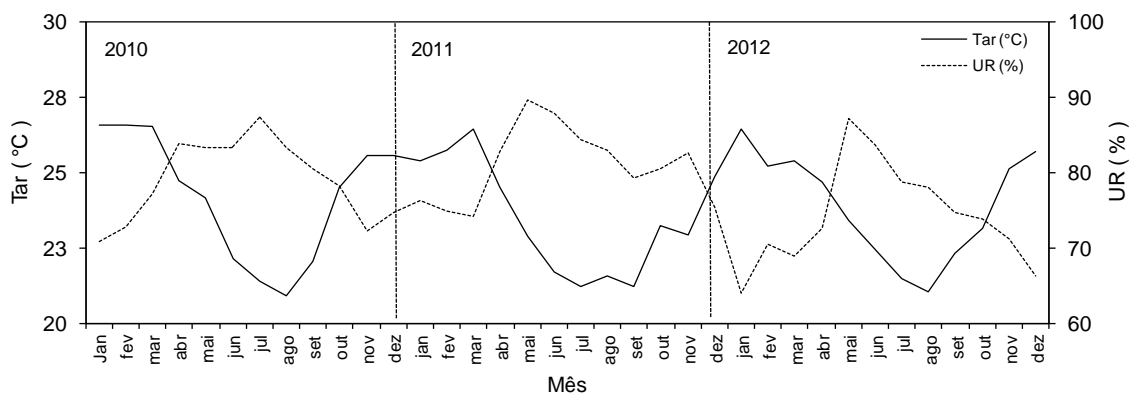
um fator simples (porta-enxerto) e três repetições; e para  $g_s$ , utilizou-se o fatorial  $8 \times 3$ , sendo oito porta-enxertos, três horários de avaliação e três repetições. Para os parâmetros  $T_f$  e TRA a análise estatística foi composta pelo fatorial  $8 \times 2$ , sendo oito porta-enxertos, duas épocas de avaliação (período seco e úmido) e três repetições.

A análise de produção de frutos constou de oito porta-enxertos como tratamentos e quatro repetições. Realizou-se análise de variância dos dados e teste de médias a 5% de probabilidade. Além disso, foi realizada análise de regressão e correlação entre os valores de umidade do solo e  $\Psi_w$  da folha e análise de classe entre os porta-enxertos para  $g_s$ .

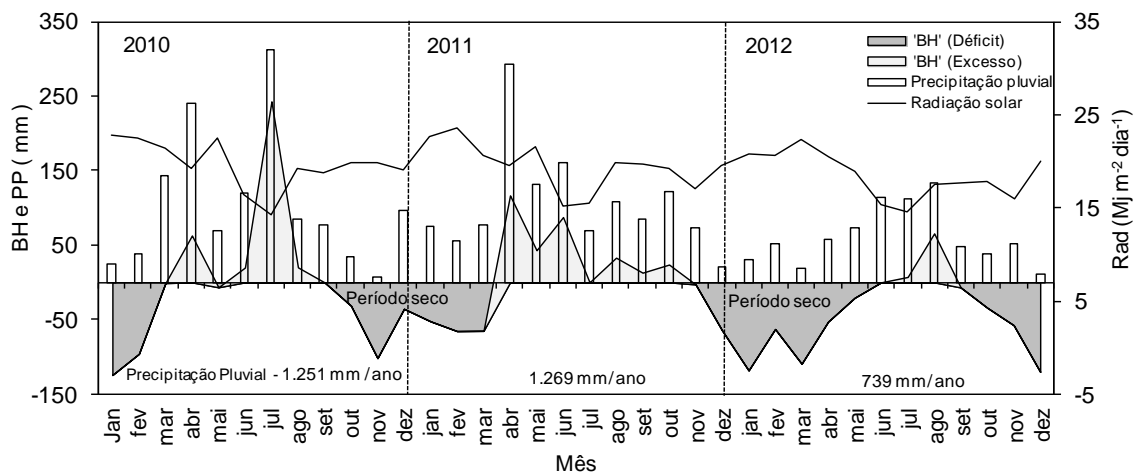
## RESULTADOS

### Condição Climática

As condições climáticas no período de realização do experimento seguiu a tendência da média histórica da região do Recôncavo Baiano (D'ANGIOLELLA et al. 2011) nos anos de 2010 e 2011, com período mais úmido definido entre abril a julho, com menor média de temperatura do ar e maior UR, além de concentrar os maiores índices de precipitação pluviométrica e uma reduzida taxa de radiação incidente (Figuras 8 e 9). Entre os anos de 2010 e 2011, o período mais seco ocorreu de outubro a março com a média diária de UR próxima de 70% e temperatura média de 26 °C e alta taxa de radiação solar (Figuras 8 e 9). No ano de 2012, considerado atípico para região do Recôncavo, ocorreu maior duração do período seco e a precipitação anual foi de 739 mm (Figura 9).



**Figura 8.** Dados de temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR), medidas em diferentes meses do ano, de 2010 a 2012, obtidos na estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.



**Figura 9.** Balanço hídrico mensal (BH), precipitação pluvial (PP) e radiação solar (Rad) de diferentes meses do ano, de 2010 a 2012, a partir de dados da estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

### Potencial matricial do solo ( $\Psi_m$ )

Foi observado no período seco (Figura 9),  $\Psi_m$  do solo menor que -1500 kPa para a combinação 'Pera' e porta-enxerto LCR, na profundidade de 0,5 m (Tabela 5). Neste caso foi considerado valor mínimo -1500 kPa, pois o modelo matemático utilizado para estimativa do  $\Psi_m$  tem o seu ajuste entre as umidades do solo correspondente ao intervalo de potenciais de -10 a -1500 kPa.

Não houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores porta-enxerto e profundidade do solo, onde foram medidos os potenciais matriciais do solo. Apenas no período seco, houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre o  $\Psi_m$  do solo onde foram cultivadas as combinações copa-porta-enxerto.

Os valores de  $\Psi_m$  do solo foram menores para a combinação laranja 'Pera' e porta-enxerto LCR, e maiores para combinação com HTR-051 e estes não diferenciaram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) dos outros genótipos avaliados (Tabela 5). No período úmido, apesar de não ser constatada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os porta-enxertos, observou-se menores valores para o porta-enxerto LCR e maiores para o HTR-051, cujos respectivos percentuais de água disponível, foram de 51% e 77%, nas três profundidades avaliadas. As demais combinações copa-porta-enxerto apresentaram valores intermediários.

**Tabela 5.** Potencial matricial do solo ( $\Psi_m$  - kPa) e água disponível (AD - %) nas profundidades de 0,25m, 0,50m e 0,90m, em laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, estimado a partir de medidas de umidade (n=2x4), no período seco (27/10/10, 24/11/10, 26/01/11, 11/02/11) e no período úmido (28/04/11, 26/05/11, 17/06/11, 28/07/11).

Porta-enxerto	Prof (m)	Período seco		Período úmido	
		$\Psi_m$	AD	$\Psi_m$	AD
LCR	0,25	-837	13,6	-46	66,5
	0,50	-1500	0,0	-357	30,0
	0,90	-702	9,3	-49	57,0
Média		-1013 a	7,6	-150 a	51,2
LVK	0,25	-514	23,7	-27	86,1
	0,50	-877	21,2	-75	59,1
	0,90	-169	31,6	-25	80,9
Média		-520 ab	25,5	-42 a	75,34
CLEO	0,25	-524	23,3	-23	93,0
	0,50	-885	21,1	-59	63,8
	0,90	-222	27,3	-38	65,1
Média		-543 ab	23,9	-40 a	73,9
TSKMA	0,25	-783	15,0	-18	100,0
	0,50	-834	21,9	-240	36,2
	0,90	-773	7,8	-37	65,9
Média		-797 ab	15,0	-98 a	67,4
Indio	0,25	-771	15,3	-15	100,0
	0,50	-1157	17,7	-80	58,0
	0,90	-788	7,5	-29	74,8
Média		-905 ab	13,5	-41 a	77,5
Riverside	0,25	-294	35,4	-14	100,0
	0,50	-851	21,6	-239	36,2
	0,90	-740	8,5	-49	57,0
Média		-628 ab	21,8	-100 a	64,4
LVK x LCR 10	0,25	-650	18,9	-15	100,0
	0,50	-799	22,4	-117	50,3
	0,90	-109	38,5	-25	80,8
Média		-519 ab	26,6	-52 a	77,1
HTR 051	0,25	-216	41,8	-22	95,0
	0,50	-864	21,4	-70	60,4
	0,90	-160	32,49	-27	77,7
Média		-413 b	31,9	-39 a	77,7

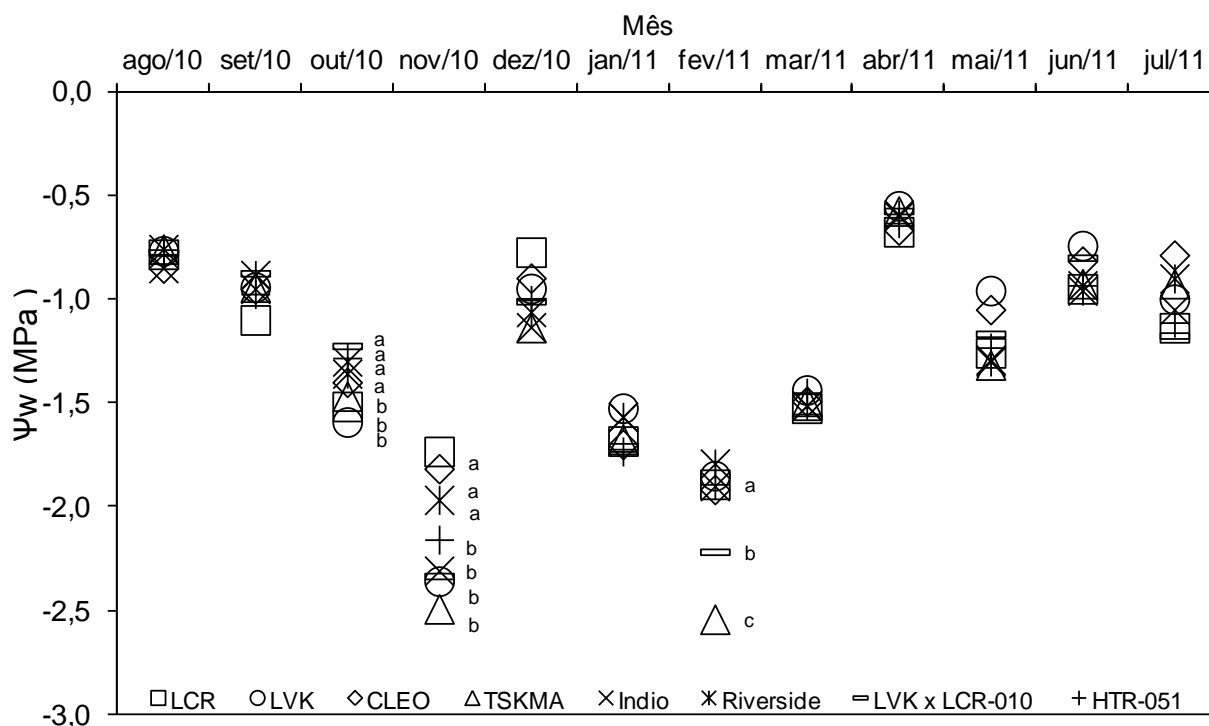
(\*) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

### Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

Os valores de  $\Psi_w$  foliar de laranjeira 'Pera' foram determinados significativamente ( $p \leq 0,05$ ) pelos porta-enxertos, nos meses mais seco do ano, em outubro e novembro de 2010 e fevereiro de 2011 (Figura 10). Neste período, os valores oscilaram a partir de -1,5 até -2,5 MPa, sendo a faixa de  $\Psi_w$  que diferenciou os porta-enxertos quanto à capacidade de manter a copa com folhas hidratadas e túrgidas.

No início do período seco, mês de setembro, o  $\Psi_w$  da copa reduziu em maior escala, quando combinada com o porta-enxerto LCR. Em condição de déficit hídrico mais elevado, mês de outubro, também foi observada a menor média ( $p \leq 0,05$ ) para o porta-enxerto LCR, juntamente com TSKMA e LVK, em relação aos demais genótipos. Quando o déficit hídrico foi severo, mês de novembro, observou-se que a combinação 'Pera'-LCR retardou o decréscimo do  $\Psi_w$ , apresentando a maior média ( $p \leq 0,05$ ), juntamente com as combinações 'Pera'-CLEO e 'Pera'-Riverside, em relação aos demais porta-enxertos, destacando-se com menores valores a combinação 'Pera'-TSKMA (Figura 10).

Com a ocorrência da precipitação pluviométrica no mês de dezembro de 2010 (86 mm), nos dias 9 e 10, observou-se que após cinco dias, houve a recuperação de  $\Psi_w$  da copa em todos os porta-enxertos, sendo registrada uma variação de -0,77 MPa para o LCR e -1,14 MPa para a TSKMA e 'Indio', não havendo diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre si. A partir do mês de janeiro de 2011, ocorreu novamente redução de  $\Psi_w$  e quando o déficit hídrico foi severo, mês de fevereiro, novamente foi registrada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os porta-enxertos. Os menores valores ( $p \leq 0,05$ ) foram observados para a combinação 'Pera'-TSKMA (-2,54 MPa) e valores intermediários para 'Pera'-LVK x LCR-010 (-2,22 MPa), comparados com os demais porta-enxertos (Figura 11). No período úmido, após o mês de março, o  $\Psi_w$  da copa aumentou para todos os porta-enxertos, não havendo diferenças significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre eles. Os menores valores foram observados no mês de abril, com valores médios variando de -0,55 a -0,67 MPa.



**Figura 10.** Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) de laranjeira ‘Pera’ [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros ‘Cravo’ (LCR, *C. limonia* Osbeck) e ‘Volkameriano’ (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras ‘Cleopatra’ (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e ‘Sunki Maravilha’ [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Índio’ e ‘Riverside’, híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, medido das 09h30min às 10h30min, em diferentes meses dos anos, de 2010 e 2011. Médias ( $n=3$ ) representadas por letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

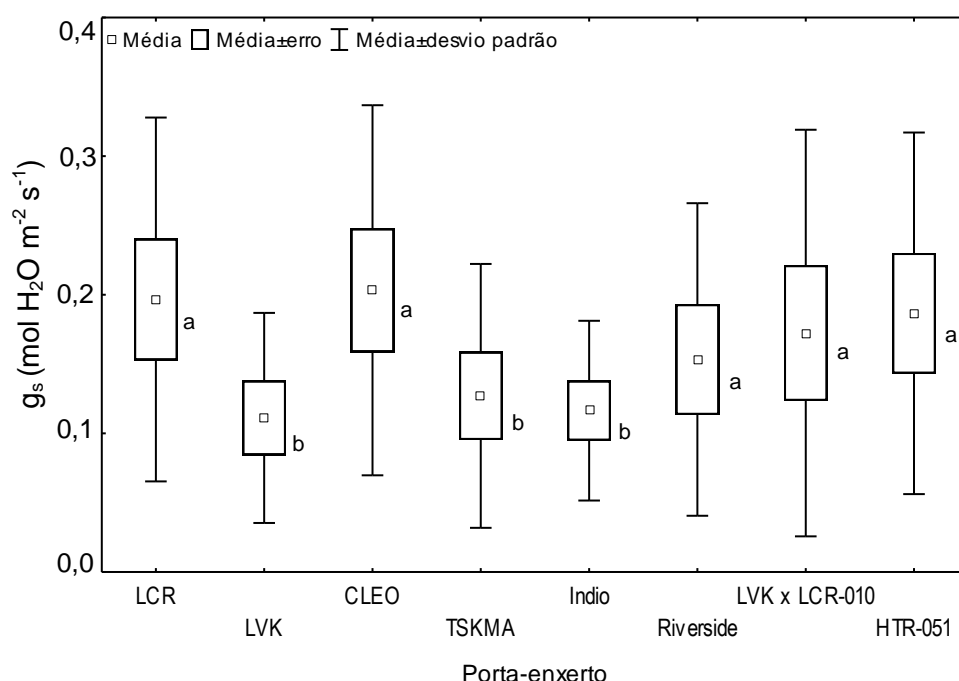
A análise de regressão entre  $\Psi_w$  e umidade do solo foi significativa ( $p \leq 0,01$ ) para todas as profundidades avaliadas (tabela 6). O modelo quadrático se ajustou melhor às variáveis analisadas, apresentando maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Também foi constatada uma alta correlação entre estes parâmetros com  $r > 0,8$  para a maioria dos ajustes.

**Tabela 6.** Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ -MPa) em função da umidade do solo ( $\Theta$  -  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ) determinada em três profundidades (Prof.), em pomar de laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, em diferentes meses dos anos, de 2010 e 2011.

Porta-enxerto	Prof.	Equação	R <sup>2</sup>	r
LCR	0,25	$y = -5,43 + 42,37x - 97,05x^2$ **	0,74	0,84
LCR	0,50	$y = -1,93 - 13,26x + 93,01x^2$ **	0,84	0,92
LCR	0,90	$y = -13,97 + 112,75x - 239,97x^2$ **	0,88	0,93
LVK	0,25	$y = -7,23 + 56,07x - 116,68x^2$ **	0,77	0,88
LVK	0,50	$y = -25,46 + 211,28x - 445,52x^2$ **	0,93	0,96
LVK	0,90	$y = -36,44 + 345,93x - 836,98x^2$ **	0,72	0,84
CLEO	0,25	$y = -9,65 + 88,01x - 217,14x^2$ **	0,84	0,91
CLEO	0,50	$y = -13,66 + 104,43x - 208,02x^2$ **	0,76	0,87
CLEO	0,90	$y = -19,88 + 179,17x - 420,18x^2$ **	0,85	0,92
TSKMA	0,25	$y = -9,13 + 75,45x - 168,29x^2$ **	0,61	0,78
TSKMA	0,50	$y = -23,65 + 208,86x - 477,51x^2$ **	0,74	0,86
TSKMA	0,90	$y = -27,99 + 251,43x - 581,48x^2$ **	0,68	0,82
Indio	0,25	$y = -7,51 + 54,99x - 113,48x^2$ **	0,65	0,81
Indio	0,50	$y = -18,12 + 151,25x - 331,33x^2$ **	0,76	0,87
Indio	0,90	$y = -24,59 + 225,57x - 533,80x^2$ **	0,68	0,83
Riverside	0,25	$y = -7,06 + 51,86x - 105,1x^2$ **	0,82	0,90
Riverside	0,50	$y = -7,13 + 49,416x - 94,82x^2$ **	0,80	0,89
Riverside	0,90	$y = -12,59 + 101,78x - 219,65x^2$ **	0,75	0,87
LVK x LCR-010	0,25	$y = -10,51 + 97,422x - 244,15x^2$ **	0,73	0,85
LVK x LCR-010	0,50	$y = -9,33 + 65,88x - 124,08x^2$ **	0,75	0,86
LVK x LCR-0 10	0,90	$y = -19,08 + 160,04x - 349,67x^2$ **	0,79	0,88
HTR-051	0,25	$y = -8,28 + 68,65x - 157,39x^2$ **	0,64	0,80
HTR-051	0,50	$y = -11,66 + 83,58x - 159,3x^2$ **	0,77	0,87
HTR-051	0,90	$y = -6,35 + 35,29x - 49,30x^2$ **	0,70	0,84

### Condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ), temperatura ( $T_f$ ) e teor relativo de água (TRA) em nível foliar

Os valores de  $g_s$  para laranjeira 'Pera', não apresentaram interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores porta-enxerto e horário de medição. Foram constatadas diferenças significativas entre os porta-enxertos apenas no mês de novembro, quando ocorreu déficit hídrico severo no solo. A Laranjeira 'Pera' enxertada nos porta-enxertos LCR, CLEO, 'Riverside', LVK x LCR-10 e HTR-051 apresentaram maior  $g_s$ , pertencendo ao mesmo agrupamento, ao passo que enxertada no LVK, TSKMA e 'Indio' obtiveram os menores valores de  $g_s$  (Figura 11).

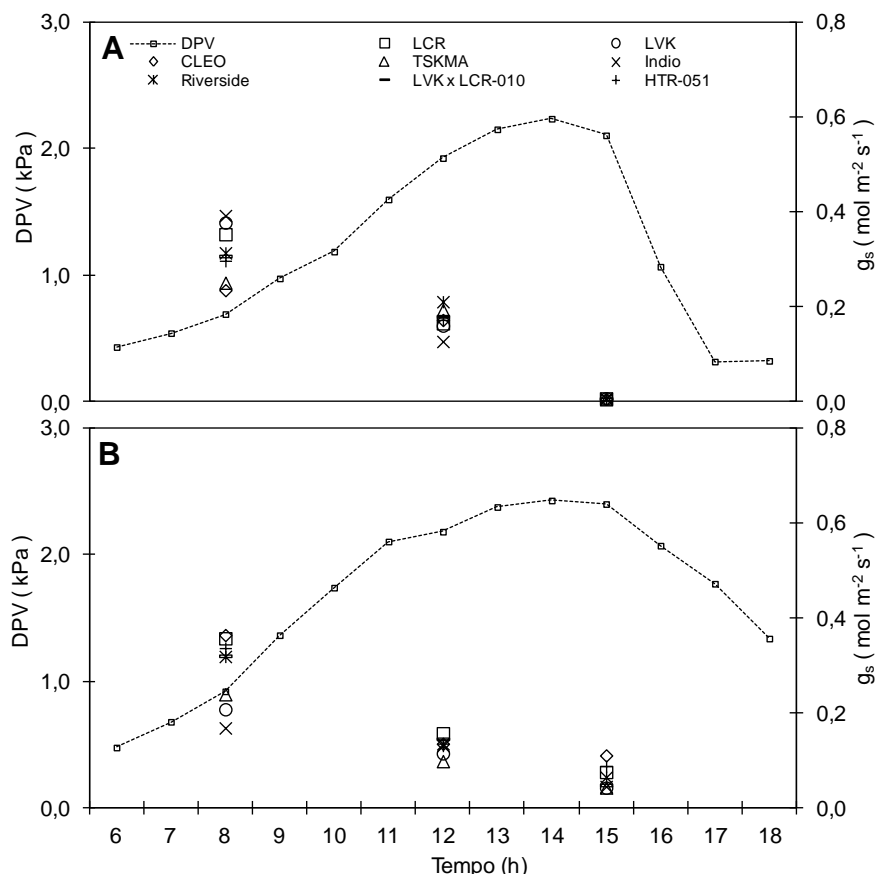


**Figura 11.** Valores médios da condutância estomática foliar ( $g_s$ ) de laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, medida às 08h, 12h e 15h, no mês de novembro de 2010. Médias representadas por letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), colunas e barras representam o erro e o desvio padrão da média ( $n=3$ ).

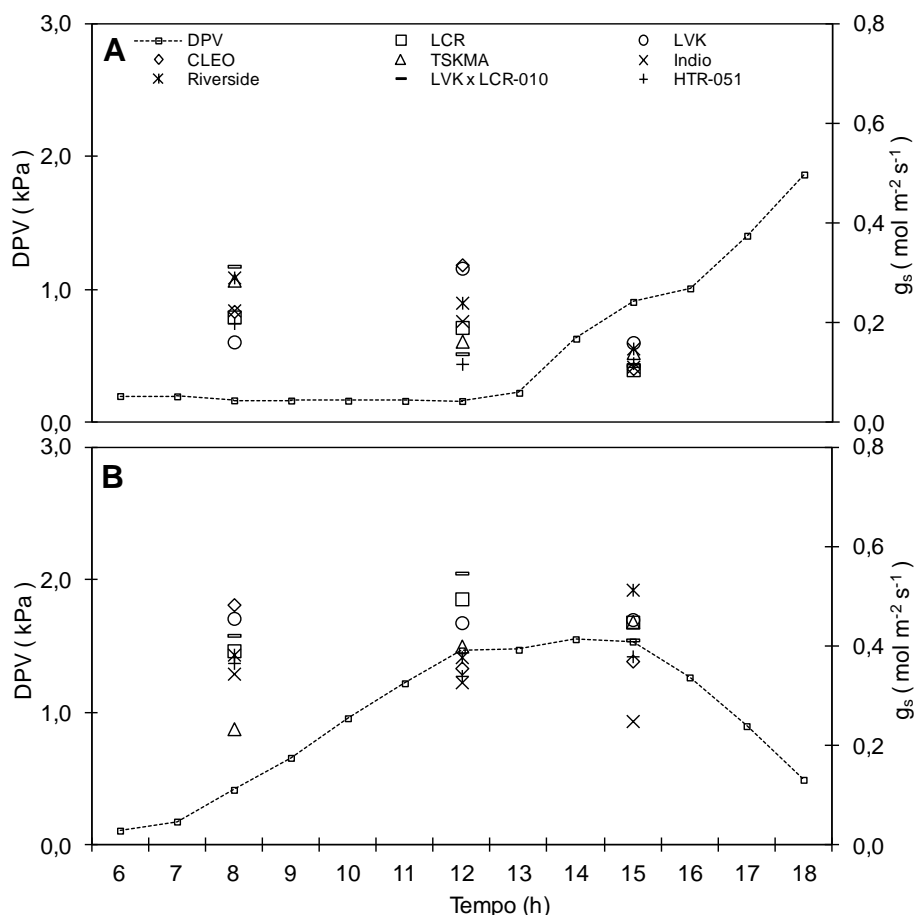
Em relação aos horários de medidas,  $g_s$  variou de acordo com a disponibilidade hídrica do solo e o déficit de pressão de vapor do ar (DPV). No



período seco, a  $g_s$  foi significativamente ( $p \leq 0,05$ ) maior às 8h, decrescendo com o aumento do DPV do ar nos horários de 12 e 15 h, sendo observadas as menores médias ( $p \leq 0,05$ ) no final da tarde (Figura 12A e B). Já no período úmido, a exemplo do mês de março e maio de 2011, não foi observado controle estomático significativo ( $p \leq 0,05$ ) após as medidas no início da manhã, às 8 h, tanto em condição de baixo DPV entre 8 e 12h (Figura 13A), quanto com o aumento de DPV (Figura 13B).

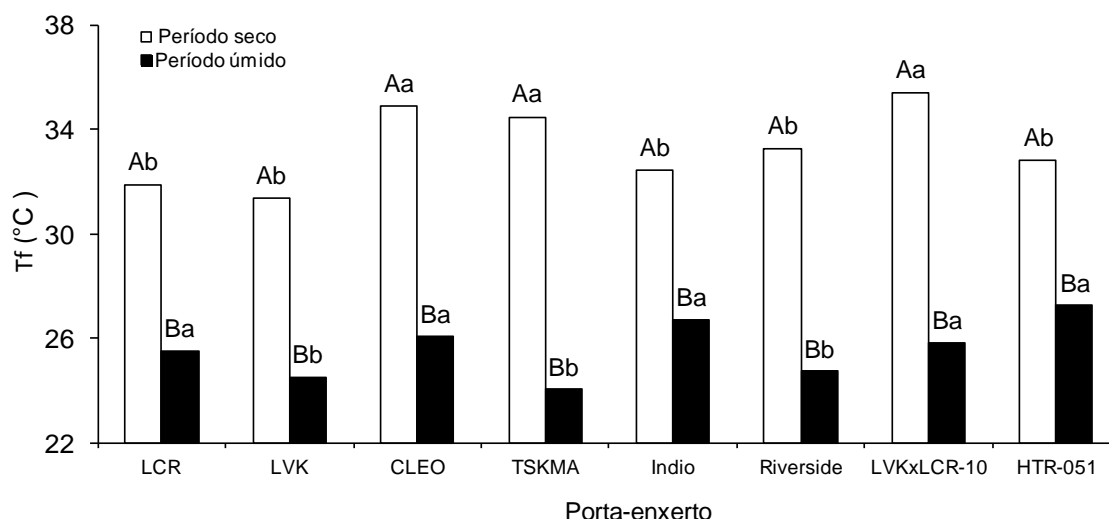


**Figura 12.** Curso diurno da condutância estomática, ao vapor de água ( $g_s$ ), em nível foliar, da laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, e déficit de pressão de vapor do ar (DPV). (A) mês de outubro de 2010, com radiação fotossinteticamente ativa, às 8, 12 e 15h de 221, 358 e 24  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. (B) mês de novembro de 2010, com radiação fotossinteticamente ativa, às 8, 12 e 15h de 480, 434 e 168  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.



**Figura 13.** Curso diurno da condutância estomática, ao vapor de água ( $g_s$ ), em nível foliar, da laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, e déficit de pressão de vapor do ar (DPV). (A) mês de março de 2011, com radiação fotossinteticamente ativa, às 8, 12 e 15h de 235, 525 e 219  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. (B) mês de maio de 2011, com radiação fotossinteticamente ativa, às 8, 12 e 15h de 480, 434 e 168  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.

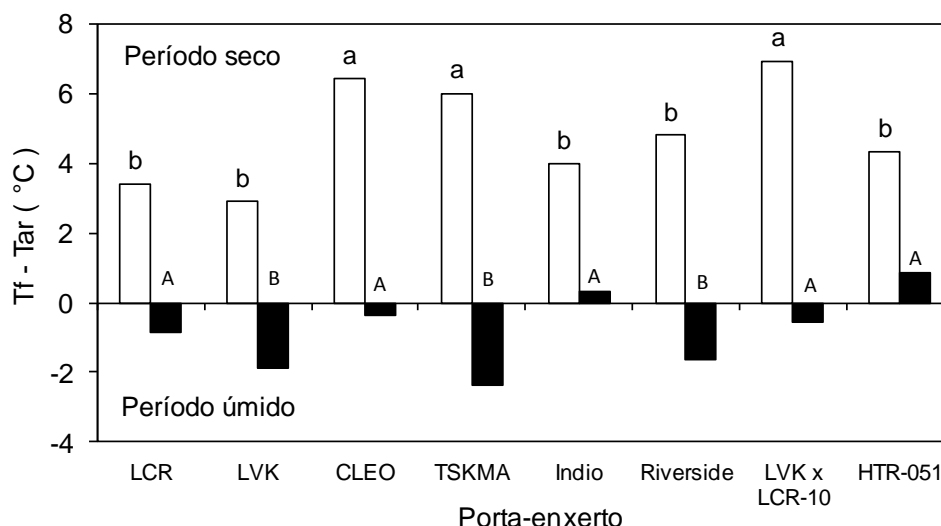
Variações nos valores de temperatura foliar ( $T_f$ ) foram constatadas com interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores porta-enxerto e épocas de avaliação. A  $T_f$  da copa foi significativamente reduzida ( $p \leq 0,05$ ) entre os períodos seco e úmido para todos os porta-enxertos (Figura 14).



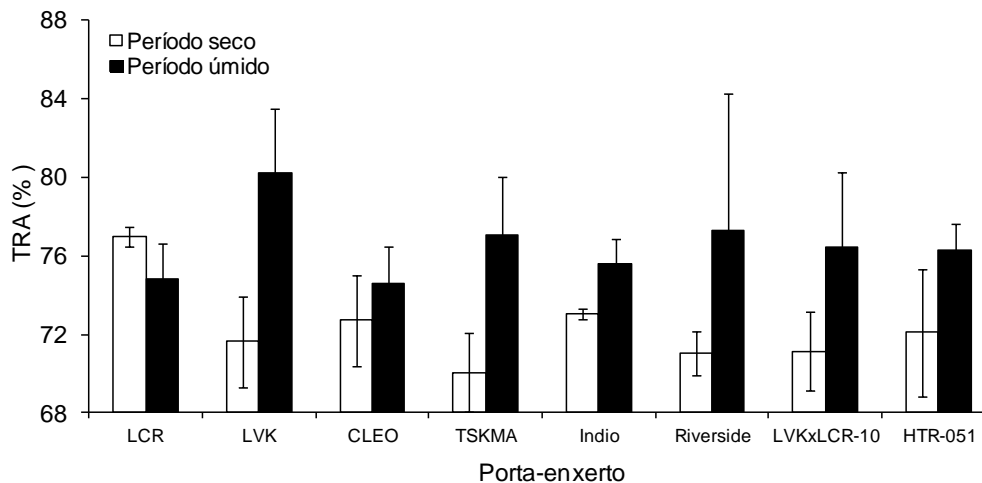
**Figura 14.** Temperatura foliar (Tf) da laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Índio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, medidos em novembro de 2010 e maio de 2011. Médias representadas por letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam épocas de avaliação para cada porta-enxerto e letras minúsculas comparam os porta-enxertos dentro de cada época ( $n=3$ ).

As maiores médias de Tf ( $p \leq 0,05$ ) no período seco foram registradas para os porta-enxertos CLEO, TSKMA e LVK x LCR-10, sendo superior a 6 °C em relação à temperatura do ar (Tar), o que pode ser indicativo de maior redução na transpiração foliar (Figura 15). No período úmido, as maiores Tf ( $p \leq 0,05$ ) foram registradas para laranja 'Pera' enxertada nos porta-enxertos LCR, CLEO, 'Índio', LVK x LCR-10 e HTR-051, apresentando menores diferenças entre Tf e Tar, variando de -0,3 a +0,8°C, quando comparadas às demais combinações copa-porta-enxertos. Sobre os porta-enxertos LVK, TSKMA e 'Riverside', a laranja 'Pera' apresentou menor Tf e as diferenças entre Tf e Tar foram de aproximadamente -2°C (Figura 14 e 15).

Não houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre porta-enxertos e épocas de avaliação para a variável teor relativo de água foliar (TRA). Constatou-se efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) apenas para o fator épocas, no qual se observou redução dos valores de TRA no período seco em relação ao período úmido (Figura 16).



**Figura 15.** Diferença entre temperatura foliar por infravermelho (T<sub>f</sub>) e temperatura do ar (T<sub>ar</sub>), em folhas de laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, medidos em novembro de 2010 e maio de 2011. Médias representadas por letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Letras minúsculas comparam porta-enxerto no período seco e maiúscula no período úmido (n=3).



**Figura 16.** Teor relativo de água na folha (TRA) da laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, medidos nos meses de agosto e novembro de 2010. Barras representam o desvio padrão da média (n=3).

## Produção e qualidade de frutos

Os porta-enxertos determinaram diferenças significativas relacionadas à produção, peso médio e comprimento de frutos de laranjeira 'Pera', não sendo detectado efeito para as variáveis diâmetro do fruto e número de sementes. As combinações 'Pera' com os porta-enxertos 'Riverside', HTR-051, TSKMA e 'Indio' resultaram em maior ( $p \leq 0,05$ ) produção de frutos, pertencendo ao mesmo agrupamento de média no ano de 2011 (Tabela 8). Já em 2012, novamente a combinação entre 'Pera' e 'Riverside' apresentou maior produção de frutos, não diferenciando estatisticamente das combinações com os porta-enxertos CLEO, 'Indio', LVK x LCR-010, HTR-051 (Tabela 8). Em relação a massa média e comprimento de frutos, foram observadas as maiores médias para a laranjeira 'Pera' enxertada nos porta-enxertos LVK x LCR-010, 'Indio' e HTR-051 (Tabela 8).

**Tabela 8.** Produção anual, massa média, comprimento, diâmetro médio e número de sementes em frutos de laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, campo experimental Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, ano de 2011 e 2012.

Porta-enxerto	Produção kg fruto/planta		Massa média do fruto (g)	Comprimento (cm)	Diâmetro (cm)	Nº sementes/ fruto
	2011	2012				
LCR	22,13 b	16,07 b	173,30 b	6,52 b	6,75	5,90
LVK	34,76 b	24,25 b	174,47 b	6,51 b	6,71	5,40
CLEO	21,82 b	36,75 a	167,10 b	6,38 b	6,63	5,63
TSKMA	50,21 a	13,27 b	167,27 b	6,40 b	6,70	5,80
Indio	47,98 a	32,85 a	188,83 a	6,68 a	6,90	5,23
Riverside	65,28 a	41,35 a	179,17 b	6,55 b	6,84	5,37
LVK x LCR 10	38,49 b	32,25 a	206,30 a	6,90 a	7,10	5,13
HTR 051	55,06 a	29,55 a	188,37 a	6,79 a	6,90	5,63

\*Letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

A exceção da variável rendimento de suco, os parâmetros acidez total (ATT), sólidos solúveis (SST), a razão SST/ATT e o índice tecnológico foram determinados significativamente ( $p \leq 0,05$ ) pelos porta-enxertos (Tabela 9). Observou-se menor ( $p \leq 0,05$ ) ATT em frutos de laranjeira 'Pera' quando enxertada em LVK e LVK x LCR-010. Em relação aos sólidos solúveis totais (SST) os

menores valores foram observados significativamente ( $p \leq 0,05$ ) para os frutos de laranjeira 'Pera' enxertada em LVK x LCR-010, LCR, TSKMA e CLEO. A razão entre ATT/SST resultou em três agrupamentos de porta-enxertos, com LVK obtendo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) o maior valor, o LVK x LCR-010 e HTR-051 valores intermediários e os demais porta-enxertos os menores valores, não diferenciando significativamente entre si. Em contrapartida, o índice tecnológico foi menor para os porta-enxertos LVK x LCR-010 e TSKMA (Tabela 9).

**Tabela 9.** Rendimento, acidez titulável total (ATT), sólidos solúveis totais (SST), razão entre SST e ATT e índice tecnológico de suco da laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] sobre oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Índio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, campo experimental Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, ano de 2011.

Porta-enxerto	Rend. de Suco (%)	ATT Ác. Cítrico g/100g	SST (%)	SST / ATT	Índice Tecnológico
LCR	59,68	1,25 a	10,60 b	8,51 c	2,58 a
LVK	56,71	1,04 b	11,13 a	10,76 a	2,58 a
CLEO	58,92	1,36 a	10,67 b	7,85 c	2,56 a
TSKMA	52,11	1,26 a	10,60 b	8,41 c	2,25 b
Índio	58,01	1,22 a	11,20 a	9,16 c	2,65 a
Riverside	54,70	1,27 a	11,27 a	8,92 c	2,51 a
LVK x LCR 10	54,84	1,09 b	10,53 b	9,67 b	2,36 b
HTR 051	57,96	1,19 a	11,40 a	9,62 b	2,69 a

\*Letras iguais pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

## DISCUSSÃO

### Potencial matricial do solo ( $\Psi_m$ )

O menor valor de  $\Psi_m$  do solo, observado na profundidade de 0,50 m, principalmente no período seco, é atribuído à camada coesa presente entre os horizontes AB e Bw1, onde foram constatadas limitações estruturais de solo com maior densidade, menor porosidade e condutividade hidráulica saturada (Tabela 2), impedindo o fluxo descendente de água na condição de precipitação do período avaliado. A presença da camada coesa é uma característica peculiar dos solos do Tabuleiro Costeiro e deve ser considerada em estudo das relações

hídricas de citros, pois influencia fortemente a dinâmica da água (CINTRA, 1997). Sua interferência no fluxo da água pode ser em direção descendente ou ascendente, de modo que estudos relatam que as maiores variações da umidade ou do potencial hídrico do solo, ocorrem na camada superficial (SOUZA e PAIVA, 2001).

Segundo Souza et al. (2004a), quantidades expressivas de água só passam através da camada coesa quando esta se encontra saturada ou perto desse estado, sendo possível supor que, no regime de chuvas predominante na região, isto ocorra com pouca regularidade e, na maioria das vezes, o molhamento fica restrito ao espaço entre a camada coesa e a superfície do solo. Estes autores constataram que a coesão pode ocorrer desde a camada de 0,30–0,50 m, e seus efeitos fizeram-se presentes até a profundidade de 0,70–0,90 m.

O menor  $\Psi_m$  do solo, no período seco, do porta-enxerto LCR em relação ao HTR-051, confirma o mecanismo de maior uso da água do solo para manutenção da transpiração foliar por parte do limoeiro 'Cravo', que provavelmente esteja associado a um maior crescimento radicular sob déficit hídrico (MAGALHÃES FILHO et al., 2008; SUASSUNA et al., 2012), além de maior condutividade hidráulica da raiz (MEDINA et al., 1998). Por outro lado, o maior  $\Psi_m$  do solo observado no HTR-051 caracteriza este porta-enxerto com o mecanismo de menor uso de água, o que está relacionado ao seu pequeno porte (CERQUEIRA et al., 2004; PEIXOTO et al., 2006) e por ser um híbrido de *Poncirus trifoliata* é possível ter herdado características de menor condutividade hidráulica da raiz (MEDINA et al., 1998) e menor distribuição e diâmetro dos vasos do xilema (MARTÍNEZ-ALCANTARA et al., 2012).

Os distintos mecanismos constatados na interação enxerto laranjeira 'Pera e os porta-enxertos LCR e HTR-051, deixam em evidência o seguinte questionamento: o porta-enxerto ideal é aquele que apresenta maior capacidade de extração de água ou o que apresenta economia no seu uso em condição de déficit hídrico? A resposta para este questionamento, envolve muitos fatores edáficos e fitotécnicos relacionados a tolerância ao déficit hídrico, como a intensidade e duração do déficit, tipo de solo e sua profundidade, espaçamento de plantio, característica do sistema radicular, sensibilidade a fatores bióticos e compatibilidade com a copa e maior capacidade de produção de frutos.

### Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

A maior redução de  $\Psi_w$  por parte da combinação 'Pera'-LCR, no início do período seco, está associada ao menor  $\Psi_m$  do solo que esse porta-enxerto induziu. Contudo, sob déficit hídrico severo foi observada maior capacidade de manter o  $\Psi_w$  da copa em valores mais elevados, comparados aos outros porta-enxertos (Figura 10). Este resultado demonstra que, em condição de campo, ocorre o inverso do observado em experimentos realizados em vaso, conforme observado na maior redução do  $\Psi_w$  da folha por parte do LCR em relação a outros genótipos, em condição pé-franco (CERQUEIRA et al., 2004) e sob a copa de laranjeira 'Valência' (*C. sinensis*) (MEDINA et al., 2008b). Nestas condições, o confinamento de raízes foi determinante para o pior desempenho da porta-enxerto LCR, fato que não ocorreu em campo devido ao maior volume de solo.

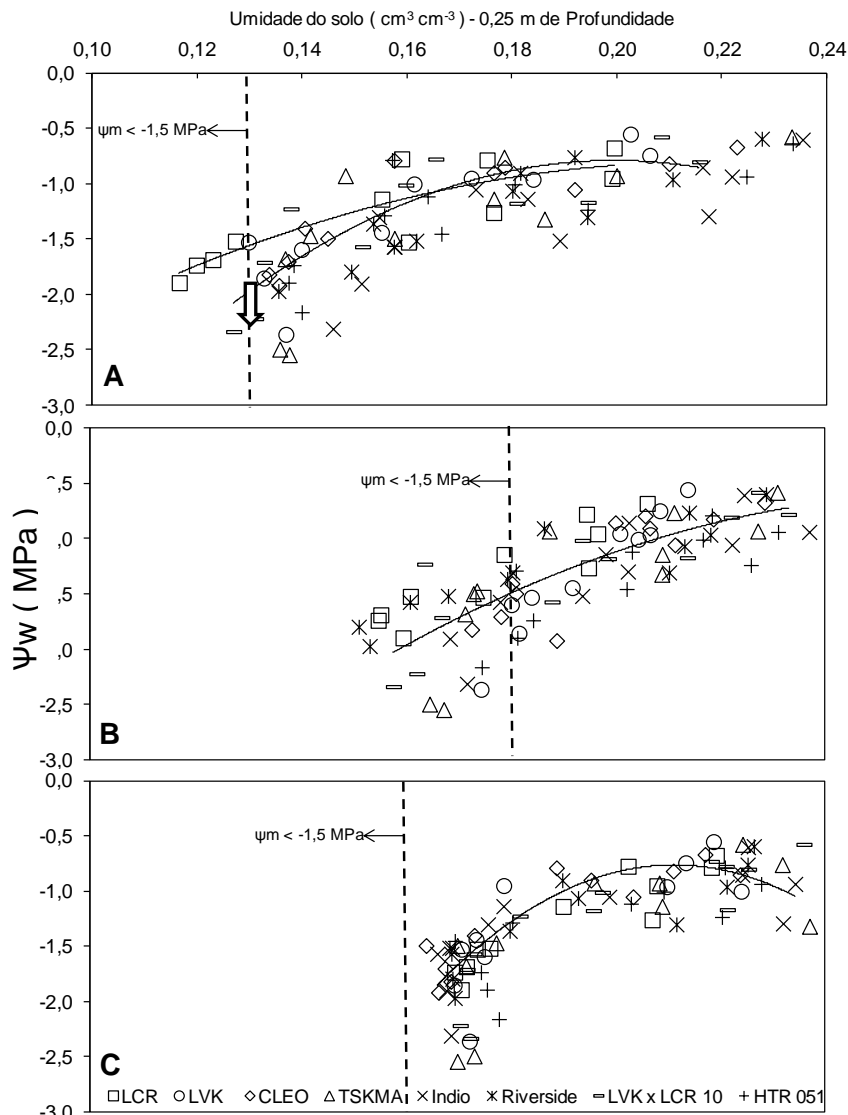
O menor uso da água por parte do HTR-051, não foi determinante para manutenção do potencial hídrico em condição de déficit hídrico e elevada demanda atmosférica (Figura 10). Isto reforça a hipótese da relação entre condutividade hidráulica de raiz e manutenção da hidratação das folhas (SINCLAIR e ALLEN, 1982).

Observou-se que redução da umidade do solo nas profundidades de 0,25; 0,50 e 0,90 m ocasionaram um decréscimo no  $\Psi_w$  em patamar considerado crítico para a cultura do citros, conforme a alta correlação entre as duas variáveis (Tabela 6). Ao avaliar a relação entre  $\Psi_w$  e umidade de cada horizonte do solo, observou-se que o  $\Psi_w$  crítico coincide com a umidade na profundidade 0,25 m, correspondente ao  $\Psi_m$  do solo de -1500 kPa, embora sejam observados valores mais negativos, a exemplo dos potenciais observados no porta-enxerto LCR (Figura 17A). Entretanto, na profundidade 0,50 m, mesmo antes de  $\Psi_w$  atingir os valores considerados críticos, a umidade do solo reduziu a valores correspondentes a faixa de  $\Psi_m$  menor que -1500 kPa (Figura 17B). Por outro lado, na profundidade de 0,90 m, o  $\Psi_w$  crítico ocorreu quando a umidade do solo encontrava-se na faixa de água disponível, ou seja, em  $\Psi_m$  superior a -1500 kPa (Figura 17C).

É possível que os valores críticos de  $\Psi_w$  foram fortemente determinados pela umidade da camada mais superficial de solo, pois elevadas tensões na matriz do solo a 0,50 m ocorreram bem antes desta fase, e é muito provável que a



água disponível, em profundidade de 0,90m, não supriu a necessidade hídrica da planta, devido à escassez de raiz nesta camada de solo, conforme verificado em estudo de raiz em citros (SOUZA et. al., 2004b; SOUZA et al., 2008; SANTANA et al., 2006).



**Figura 17.** Relação entre potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e umidade do solo determinada nas profundidades de 0,25 m (A), 0,50 m (B) e 0,90 m (C), distante a 1,0 m do tronco de oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR, sob laranja 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck], em diferentes meses dos anos, de 2010 e 2011.

### Condutância estomática ( $g_s$ ), temperatura ( $T_f$ ) e teor relativo de água (TRA) em nível foliar

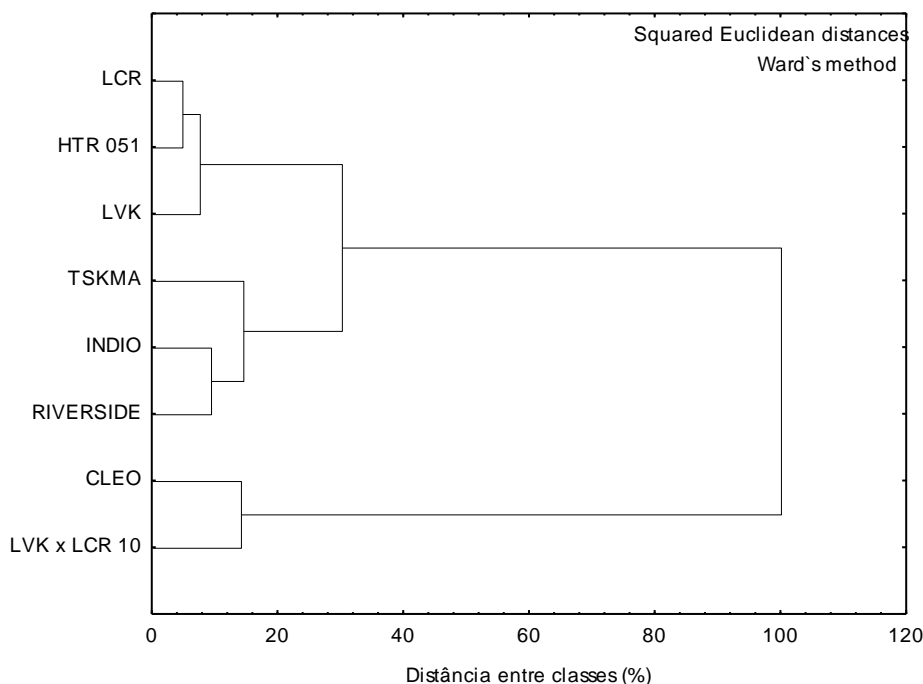
As diferenças de  $g_s$ , observadas no período seco, entre as combinações copa-porta-enxerto, confirmam que o mecanismo de prevenção ao déficit hídrico, por meio do fechamento dos estômatos, pode ocorrer de forma mais acentuada a depender do porta-enxerto utilizado. Estudos relatam que, devido à comunicação química entre raiz e parte aérea, respostas estomáticas antecedem ao  $\Psi_w$ , sendo sugerido por Tardieu et al. (2010) que possivelmente o ácido abscísico (ABA) realiza o intermédio desta comunicação.

Resultados obtidos por Neves et al. (2013), que observaram, em condição de déficit contínuo, produção crescente de ABA em raízes e folhas do porta-enxerto TSKMA (pé-franco) comparado ao LCR (pé-franco), indicando maior resistência estomática do TSKMA, corroboram com os resultados obtidos neste trabalho. É possível que a produção de ABA por parte do porta-enxerto TSKMA, em condição de déficit hídrico, determinou a menor  $g_s$  em folhas de laranja 'Pera' (Figura 11), fato que também pode ter ocorrido com os porta-enxertos LVK e 'Indio'.

Os porta-enxertos que determinaram maior valor de  $g_s$  em nível foliar na copa, mesmo em condição de déficit hídrico severo, como o LCR, CLEO, 'Riverside', LVK x LCR-010 e HTR-051, podem utilizar-se de diferentes mecanismos, como os já relatados para o LCR de maior condutividade hidráulica da raiz e menor produção de ABA (MEDINA et al., 1998a; NEVES et al., 2013), ou de menor uso da água, característica que pode ter sido herdada do *Poncirus trifoliata* pelos híbridos 'Riverside' e HTR-051.

Em análise de classe de porta-enxertos, com dados de  $g_s$  em nível foliar da copa laranja 'Pera', nos períodos seco e úmido, em 12 avaliações, os porta-enxertos foram agrupados quanto à semelhança dos valores de  $g_s$  (Figura 18). Um fato a ser observado é que genótipos com diferentes mecanismos de uso da água apresentaram semelhanças em  $g_s$ , como constatado nesta análise para os porta-enxertos LCR e HTR-051. Isto indica que é possível manter a  $g_s$  da folha com menor uso de água no solo, o que pode tornar a combinação copa-porta-enxerto mais eficiente. Por outro lado, deve-se destacar a capacidade que o sistema radicular do porta-enxerto LCR apresentou, de manter  $g_s$ , mesmo em

condição de  $\Psi_m$  muito mais negativo que os outros genótipos. Os híbridos 'Indio' e 'Riverside', mesmo apresentando diferenças de  $g_s$  no mês de elevado déficit hídrico, considerando o resultado de todas as análises apresentaram mesmo agrupamento de classe, o que pode ser explicado pelo fato de terem resultado de um mesmo cruzamento: tangerineira 'Sunki' x *Poncirus trifoliata*. Outro agrupamento de classe observado foi entre os genótipos CLEO e LVK x LCR-010.



**Figura 18.** Análise de classes por meio de método de Ward's para o parâmetro condutância estomática ( $g_s$ ) em folhas da laranjeira 'Pera' [*Citrus sinensis* (L) Osbeck] enxertada em oito porta-enxertos, limoeiros 'Cravo' (LCR, *C. limonia* Osbeck) e 'Volkameriano' (LVK, *C. volkameriana* V. Tem. & Pasq.), tangerineiras 'Cleopatra' (CLEO, *C. reshni* hort. ex Tanaka) e 'Sunki Maravilha' [TSKMA, *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], citrandarins [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Indio' e 'Riverside', híbridos LVK x LCR-010 e HTR (híbrido trifoliado)-051, em diferentes meses dos anos, de 2010 e 2011.

No período seco, o menor DPV no início da manhã favoreceu a manutenção de  $g_s$  de forma compensatória aos horários do dia com maior demanda atmosférica e acentuado fechamento estomático. Isto pode contribuir como via de entrada de  $CO_2$ , favorecendo o balanço de carbono da planta no período de déficit hídrico. De acordo com Medina et al. (1999), os citros em condição natural, no período de verão, são submetidos a um certo grau de déficit hídrico, no período entre 10 e 14 h, quando a temperatura do ar e o DPV são mais elevados, mesmo quando o solo está próximo à sua capacidade de campo.

Presume-se que o fechamento parcial dos estômatos, em citros, em resposta ao aumento do DPV e da temperatura, seja uma adaptação evolutiva para conservar água, principalmente em regiões onde há alta demanda atmosférica (MACHADO et al., 2002; SYVERTSEN E LLOYD, 1994).

Em relação à  $T_f$ , de modo geral, no período seco com DPV > 2,0 kPa, observou-se que aumento da  $T_f$  ocorreu concomitantemente com a redução de  $g_s$  e, com diferença entre  $T_f - T_{ar}$  de até 6 °C. Em citros, a  $g_s$  apresenta um valor máximo, quando a  $T_f$  é de aproximadamente 30 °C, enquanto que o valor máximo de fotossíntese ocorre em 25 °C (KRIEDEMANN, 1971; HALL et al., 1975; KHAIRI e HALL, 1976). Neste estudo, os maiores valores de  $T_f$  chegaram a 34,9; 34,5 e 35,4°C para a variedade copa enxertada nos porta-enxertos CLEO, TSKMA e LVK x LCR-010, respectivamente. Segundo Tardieu (2012), o fechamento de estômatos, como prevenção do déficit hídrico, leva a riscos de aumentos consideráveis de temperatura foliar, sendo um estresse adicional à planta.

Em relação ao TRA, observou-se variação média de 70% a 81% entre as épocas seca e úmida, e, mesmo não havendo efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ), entre as combinações copa-porta-enxertos, observou-se no período seco, maior TRA para a combinação 'Pera'-LCR, comparado aos demais genótipos. Medina et al. (1998b), ao comparar o porta-enxerto LCR e o *Poncirus trifoliata* com copa de laranjeira 'Valência', em condição de vaso, constataram valores mínimos de TRA de 58% no nono dia de déficit hídrico para combinação 'Valência'-LCR e de 64% para 'Valência'-trifoliata, dois dias depois. Segundo os autores, este resultado pode ter sido influenciado pela condição de cultivo adotada, visto que o sistema radicular foi confinado a um pequeno volume de solo. O resultado encontrado, neste trabalho, demonstra que em condição de campo, o porta-enxerto LCR, mesmo submetido a  $\Psi_m$  do solo menor, não determinou menor TRA na folha.

### **Produção e qualidade de frutos**

Os porta-enxertos influenciaram na produção de frutos, com melhor desempenho em 2011 para o genótipo 'Riverside', que não se diferenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ), da TSKMA, 'Índio' e HTR-051. A produção média dos quatro anos, anteriores a esta safra (dados não apresentados) também indicaram estes porta-enxertos como os mais promissores dentre os genótipos avaliados. A

estiagem ocorrida entre outubro de 2010 e início de março de 2011, não foi suficiente para reduzir a produção da combinação 'Pera'-TSKMA, a qual demonstrou maior intolerância ao déficit hídrico em relação às variáveis fisiológicas. Na safra de 2011, a precipitação acumulada foi de 1269 mm, e mesmo mais concentrada nos meses de abril a julho foi determinante para a recuperação das plantas no período pós-déficit hídrico.

De acordo com Albrigo (1992), o efeito significativo do porta-enxerto, na produção de frutos, está na capacidade de fornecer água e nutrientes para a copa, o que era previsto por parte do porta-enxerto LCR, em vista da maior capacidade de absorção de água, embora as características de tolerância em relação ao déficit hídrico, deste porta-enxerto, não garantiram o melhor desempenho produtivo.

Na safra de 2012, ano atípico em relação a média histórica de precipitação pluviométrica, período no qual foram registrados apenas 739 mm anuais, novamente o porta-enxerto 'Riverside' determinou maior produção da copa, embora não diferindo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) dos genótipos CLEO, 'Indio', LVK x LCR-010 e HTR-051. Neste ano, com exceção do porta-enxerto CLEO, observou-se redução da produção da copa em combinação com os demais porta-enxertos, em relação ao ano anterior, que foi atribuído a um prolongamento no período de estiagem. É importante destacar que a maior redução na produção de frutos ocorreu para a combinação 'Pera'-TSKMA, cujo porta-enxerto pertenceu ao mesmo agrupamento de média do LVK e LCR (Tabela 8). O bom desempenho do porta-enxerto CLEO com copa 'Pera' também foi constatado por Donadio et al. (1993), nas condições de Bebedouro-SP, apresentando maior produtividade no espaçamento 7 m x 2 m, em período seco, contrariando as expectativas de ser intolerante à seca, diferentemente do limoeiro 'Cravo'. Esses autores também informaram que as produções iniciais da 'Cleópatra' foram muito baixas, só atingindo um nível razoável no 5º ano de plantio.

CARVALHO et al. (2012) ao estudarem o comportamento produtivo de quatro variedades copa, entre elas a variedade 'Pera' CNPMF D-6, em 14 porta-enxertos, em pomar com três anos, concluiu que o híbrido LVK x LCR-010 apresentou rendimento similar ou superior aos porta-enxertos tradicionais, enquanto os citrandarins 'Indio' e 'Riverside' apresentam produção intermediária, quando combinados com a copa 'Pera' CNPMF D-6 e superior ao trifoliata HTR-

051, divergindo, em parte, deste trabalho. Assim como o híbrido LVK x LCR-010 apresentou resultado satisfatório, maior que os porta-enxertos tradicionais, os citrandarins 'Riverside' e 'Indio' destacaram-se entre os mais promissores e não diferenciaram significativamente do HTR-051. De acordo com Suassuna et al. (2012), que avaliaram a produção de fitomassa de porta-enxertos em condição de irrigação e déficit hídrico, os genótipos 'Riverside' e 'Indio' apresentam menores reduções na fitomassa seca total, demonstrando boas características de aclimação ao déficit hídrico, fato também observado por Cerqueira et al. (2004) e Peixoto et al. (2006) para o HTR-051. Segundo Passos et al. (2006), híbridos oriundos de 'Trifoliata' são mais indicados, por herdar reconhecidas qualidades hortícolas, como redução de porte, resistência a doenças e favorecer a produção de frutos de alta qualidade às copas de diversas variedades cítricas.

O desempenho ruim dos porta-enxertos LVK e LCR divergem dos resultados já relatados com a copa laranja 'Pera' (MOURÃO FILHO et al., 1991; LEDO et al., 1999; STUCHI et al., 2004). Mourão Filho et al. (1991) estudaram a produção de laranjeira 'Pera' nos três primeiros anos de produção, em oito porta-enxertos, dentre os quais estavam presentes os porta-enxertos LCR, LVK, CLEO, 'Sunki' e 'Trifoliata', constatando-se maior produção para as combinações com LCR e LVK, apresentando o porta-enxerto CLEO e 'Sunki' produção intermediária superior ao 'Trifoliata'.

Os porta-enxertos 'Indio', LVK x LCR-010 e HTR-051, que determinaram maior comprimento e massa média do fruto da laranjeira 'Pera', não influenciaram o rendimento de suco em comparação aos outros porta-enxertos (Tabela 8). As diferenças observadas para acidez total e brix, no fruto da variedade copa, podem ser atribuídas à precocidade na formação dos frutos induzida pelo porta-enxerto. A relação brix/acidez indica o ponto de maturação e de colheita dos frutos, característica importante nas cultivares cítricas (PIO et al., 1993). Esta relação, menor para 'Pera'-CLEO e maior para 'Pera'-LVK, sugere que o primeiro genótipo pode proporcionar colheitas tardias e o último, colheitas mais precoces.

Segundo STUCHI et al. (1996) porta-enxertos mais vigorosos são melhores extratores de água do solo e mantêm a planta bem hidratada, sendo a maior razão pela qual muitos porta-enxertos induzem baixa concentração de sólidos solúveis nos frutos, mas produzem mais sólidos solúveis por planta. Neste estudo é provável que exista relação entre baixos teores de sólidos solúveis e extração

de água, em plantas com o porta-enxerto LCR. CASTLE (1995) destacou que devido ao porta-enxerto influenciar na quantidade de folhas da copa, nas quais se realiza a síntese dos carboidratos translocados aos frutos, diferenças na concentração de sólidos solúveis dos frutos podem ocorrer para diferentes porta-enxertos.

LEDO et al. (1999), ao estudarem a produção de 'Pera' CNPMF D-6, entre o 4º e 7º ano de idade, observaram a tendência de maior produção de frutos, menor brix e acidez total para o porta-enxerto limão 'Cravo', quando comparado com tangerina 'Cleópatra' e outros porta-enxertos como a 'Sunki' e citrange 'Carrizo', divergindo deste estudo apenas no parâmetro produção de frutos. De acordo com esses autores, a relação brix/acidez atingiu valores adequados em todos os porta-enxertos para o consumo 'in natura' (mínimo de 8,0) e para a industrialização (mínimo de 10), o que confere com os índices encontrados neste trabalho para o consumo 'in natura' e para a industrialização, apenas para os frutos obtidos a partir do porta-enxerto LVK (Tabela 9). Em relação ao menor índice tecnológico dos frutos, observado em planta com os porta-enxertos TSKMA e LVK x LCR-010, esse resultado demonstra, menor capacidade de produzir volume de suco com teor de brix elevado em uma caixa da fruta.

## CONCLUSÕES

- Os porta-enxertos influenciaram as relações hídricas da copa, determinadas pelas diferenças no  $\Psi_m$ ,  $\Psi_w$ ,  $g_s$  e  $T_f$ , que foram evidentes no período seco.

- O limoeiro 'Cravo' apresentou maior capacidade de extração de água do solo em condição de déficit hídrico, ao passo que o híbrido trifoliado HTR-051 apresentou o mecanismo de menor uso de água.

- O limoeiro 'Cravo' apresentou a capacidade de manter o  $\Psi_w$  da copa mais elevado, mesmo para níveis de  $\Psi_m$  mais baixos, comparado com os demais porta-enxertos, em condição de déficit hídrico no solo.

- A laranjeira 'Pera' não alterou a  $g_s$  em nível foliar em detrimento dos diferentes mecanismos de uso de água apresentados pelos porta-enxertos limoeiro 'Cravo' e híbrido trifoliado HTR-051, em condição de déficit hídrico no solo.

- Em condição de severo déficit hídrico no solo, o porta-enxerto tangerineira 'Sunki Maravilha' apresentou menor tolerância e induziu à copa menor produção de frutos.

- O porta-enxerto 'Riverside', seguido do 'Índio' e HTR-051 induziram à copa, uma maior produção de frutos, indicando serem mais promissores em combinação com a copa laranjeira 'Pera', em condição de déficit hídrico no solo.

## REFERÊNCIAS

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CITROS – FISILOGIA, 2.ed. Anais. Bebedouro: Fundação Cargill, 1992. p. 100 – 106.

AZEVEDO, C. L. L. Produção integrada de citros. Sistema de Produção, n. 15, ISSN 1678-8796, Versão eletrônica, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia/adbacao.htm>. Acesso em: 10 jun. 2010.

CARVALHO, H.W.L.; MARTINS, C.R.; SOARES FILHO, W.S.; PASSOS, O.S.; GIRARDI, E.A. GESTEIRA, A.S. Comportamento produtivo de cinco variedades comerciais de laranjas enxertadas em diferentes porta-enxertos de citros cultivados na região sul do estado do Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22., 2012, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: SBF, 2012.

CASTLE, W.S. Rootstocks as a fruit quality factor in citrus and deciduous tree crops. N. Z. J. Crop and Horticultural Science, v. 23, p. 383-394, 1995.

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

CERQUEIRA, E.C.; CASTRO NETO, M.T.; PEIXOTO, C.P. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, n. 3, p. 515-519, 2004.



CINTRA, F.L.D. Disponibilidade de água no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997. 90p. (Tese de Doutorado).

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Caracterização climática dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-831e6409241d28220970befb518cd63d.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, G.L. 1994. Citrus. Wallingford: CAB International. 254p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

DONADIO, L.C.; CABRITA, J.R.M.; SEMPIONATO, O.R.; PARO, M. Tangerina 'Cleópatra': Vantagens e desvantagens como porta-enxerto na citricultura. Laranja, Cordeirópolis, v. 14, n. 2, p. 565-79, 1993.

HALL, A.E.; CAMACHO, B.S.E.; KAUFMANN, M.R. Regulation of water loss by citrus leaves. *Physiologia Plantarum*, v. 33, p. 62-65, 1975.

KHAIRI, M.M.A. & HALL, A.E. Temperature and humidity effects on net photosynthesis and transpiration of citrus. *Physiologia Plantarum*, v. 36, p. 29-34, 1976.

KRIEDEMANN, P.E. Photosynthesis and transpiration as a function of gaseous diffusive resistance in orange leaves. *Physiologia Plantarum*, v. 24, p. 218-225, 1971.

LEDO, A.S.; LEDO, F.L.S.; RITZINGER, R. SOBRINHO, A.P.C. Porta-enxertos para laranjeiras-doces (*Citrus sinensis* (L.) Osb.), em Rio Branco, Acre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 7, p.1211-1216, 1999.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial de água nas folhas de laranjeira 'Valência'. *Scientia Agrícola*, v. 59, p. 53-58, 2002.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v. 67, p. 75-82, 2008.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M.R.; IGLESIAS, D.J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, v. 27, p. 629-638, 2013.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas de laranjeira 'Valência', enxertada sobre limoeiro "Cravo" e *Poncirus* "Trifoliata", submetida a deficiência hídrica. *Bragantia*, Campinas, v. 57, p. 1-8, 1998a.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. & PINTOP, J.M. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, v. 57, p. 1-14, 1998b.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v.11, n.1, p.29-34, 1999.

MOURÃO FILHO, F.A.A.; MISCHAN, M.M.; SALIBE, A. A. Efeito de diferentes porta-enxertos no vigor e produtividade da laranjeira 'Pêra' (*Citrus sinensis* L.) Osbeck. *Anais da Esalq*, Piracicaba-SP, n. 48, p. 167-184, 1991.

NEVES, D.M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B.S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S.; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. *Mol Biol Rep.*, publicação on line, DOI: 10.1007/s11033-013-2634-z, 2013.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J. & ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo de citros. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J. & AMARO, A. A., eds. *Citricultura brasileira*. 2.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1991. p. 153-195.

PASSOS, O. S.; PEIXOTO, L. S.; SANTOS, L. C.; CALDAS, R. C.; SOARES FILHO, W. S. Caracterização de híbridos de *Poncirus trifoliata* e de outros porta-enxertos de citros no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, p. 410-413, 2006.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, p. 439-443, 2006.

PIO, R.M.; FIGUEIREDO, J.O.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; POMPEU JÚNIOR, J. Característica do fruto de oito cultivares de tangerineiras e seus híbridos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 15, n. 1, p. 43-47, 1993.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. *Citros*. Campinas: IAC; Fundag, 2005. cap.4, p. 61-104.

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F.C.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.). *Citricultura Brasileira*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 265-280.

POMPEU JÚNIOR, J.; SALVA, R. & BLUMER, S. Copas e porta-enxertos nos viveiros de mudas cítricas do Estado de São Paulo. *Laranja, Cordeirópolis*, v. 25, n. 2, p. 413-422, 2004.

PRUDENTE, R.M.; SILVA, L.M.S. da; CUNHA SOBRINHO, A.P.da. Comportamento da laranjeira 'Pêra' sobre cinco porta-enxertos em ecossistema de Tabuleiros Costeiros, Umbaúba-SE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, p.110-112, 2004.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 4, p. 670-678, 2006.

SANTANA. M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de

horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 1-12, 2006.

SINCLAIR, T.R.; ALLEN, J.R. Carbon dioxide and water vapour exchange of leaves on field-grown citrus trees. *Journal of Experimental Botany*, v. 33, p. 1166-1175, 1982.

SOUZA, L.S.; PAIVA, A.Q. Variação do potencial total da água em uma topossequência de solos de tabuleiros, durante dois anos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 2, p. 349-355, 2001.

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

SOUZA, L.D.; CUNHA SOBRINHO, A.P.; RIBEIRO, L.S.; SOUZA, L.S. & LEDO, C.A.S. Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira Fruticultura*, v. 26, p. 241-244, 2004b.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 503-513, 2008.

STUCHI, E.S., SEMPIONATO, O.R. SILVA, J.A.A. da. Influência dos porta-enxertos na qualidade dos frutos cítricos. *Laranja*, Corderópolis, v. 17, n. 1, p. 159-178, 1996.

STUCHI, E.S.; DONADIO, L.C.; SEMPIONATO, O.R.; PERECIN, D. Produtividade e qualidade dos frutos da laranjeira 'Pêra' clone IAC em 16 porta-enxertos na região de Bebedouro-SP. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, p. 359-362, 2004.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, A. C. M.; BRITO, K. S. A.; MELO, A. S. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.12, p. 1305-1313, 2012.

SYVERTSEN, J.P.; J. LLOYD. 1994. CO<sub>2</sub> assimilation of Citrus leaves: From mesophyll conductance to gross primary productivity of trees in different climates. *Acta Horticulture*, v. 416, p. 147-154.

TARDIEU, F.; PARENT, B.; SIMONNEAU T. Control of leaf growth by abscisic acid: hydraulic or non-hydraulic processes? *Plant, Cell and Environment*, v. 33, p. 636-647, 2010.

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, V. 63, n. 1, p. 25-31, 2012.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955. 104p.

## **CAPÍTULO 2**

### **CRESCIMENTO E RELAÇÕES HÍDRICAS DE GENÓTIPOS DE CITROS COMO PÉS-FRANCOS E ENXERTADOS COM LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOB DÉFICIT HÍDRICO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo a ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Plant Soil.

# **CRESCIMENTO E RELAÇÕES HÍDRICAS DE GENÓTIPOS DE CITROS COMO PÉS-FRANCOS E ENXERTADOS COM LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Autor: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

**RESUMO:** Experimentos foram conduzidos em casa de vegetação com o objetivo de avaliar genótipos de citros, na condição de pés-francos e enxertados com limeira ácida 'Tahiti', relativamente a variáveis de crescimento e fisiológicas. Foram submetidos a tratamentos com irrigação e secamento contínuo do solo, em ambiente controlado, as tangerineira 'Sunki Maravilha' e 'Sunki Tropical', os híbridos tangerineira 'Sunki' comum x citrange 'Troyer'-002 e o trifoliado HTR-051, o citrandarin 'Riverside' e o limoeiro 'Cravo Santa Cruz'. Foram avaliados altura de planta, número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea e da raiz e relações hídricas a partir de medidas de umidade do solo, condutância estomática ( $g_s$ ), potencial total de água na folha ( $\psi_w$ ), potencial turgor ( $\psi_P$ ), potencial osmótico ( $\psi_s$ ), além do ajustamento osmótico (AO). Tanto em condição de pé-franco como enxertado o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' apresentou precocemente a murcha das folhas devido ao esgotamento mais rápido da água disponível no solo. O efeito da copa 'Tahiti' reduziu inicialmente a diferença de extração de água entre o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e os demais porta-enxertos e uniformizou o vigor da parte aérea, embora fossem ainda notadas diferenças na área foliar entre plantas tendo como porta-enxertos o 'Cravo Santa Cruz' e o HTR-051. A densidade de comprimento de raiz aumentou significativamente com o déficit hídrico nas combinações 'Tahiti'-'Riverside' e 'Tahiti'-'Sunki Tropical', nas camadas superficiais do solo e a 'Tahiti'-'Cravo Santa Cruz' apresentou característica de maior aprofundamento. Como um mecanismo de prevenção ao déficit hídrico, as plantas se ajustaram osmoticamente nos diferentes níveis de umidade do solo.

**Palavras-Chave:** Tolerância à seca, ajuste osmótico, densidade de raiz.

# **GROWTH AND WATER RELATIONS OF CITRUS GENOTYPE GRAFTED AND UNGRAFTED WITH 'TAHITI' LIME SUBJECTED TO SOIL WATER DEFICIT**

Author: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Adviser: Maurício Antonio Coelho Filho

**ABSTRACT:** Three experiments were developed in greenhouse conditions aiming to quantify growth and physiological responses of six citrus rootstocks grafted with 'Tahiti' lime and ungrafted. The rootstocks 'Sunki Maravilha' mandarin (SKM), 'Sunki tropical' mandarin (SKT), 'Sunki' mandarin x 'Troyer' citrange (SKM x TRCT 002), a dwarf hybrid of *Poncirus trifoliata* (HTR 051), 'Rivserdie' citrandarins and 'Rangpur' lime Santa Cruz (RL STC) were subjected to two water regimes (full irrigation and water deficit). The following variables were evaluated during the experiments: plant height (ALT), leaves number (NF), total leaf area (LA), shoot dry mass (MSPA) and root dry mass (MSR) and water relations from measurements by monitoring soil water content, stomatal conductance (gs), total leaf water potential ( $\psi_w$ ), turgor potential ( $\psi_P$ ), osmotic potential ( $\psi_s$ ), and the osmotic adjustment (OA). The rootstock LCR STC extracted the water available on container faster and preceded the wilting of the leaves in all experiments. For grafted plants, initially the differences in water extraction and the shoot plant vigor between the rootstock LCR STC and other rootstocks were reduced, though differences in total leaf area has been noted between scions grafted on LCR STC and HTR 051. The root length density increased with water deficit. The 'Thaiti' lime on Riverside and TSKTR rootstocks presented high root length in topsoil and grafted on LCR STC in greater depth. As a mechanism of plant drought adaptation, the OA in leaves were quantified and the degrees of osmotic potential varied in function of the rootstocks and soil drying.

**Key words:** Drought tolerance, osmotic adjustment, root density.



## INTRODUÇÃO

A análise de crescimento e o estudo de relações hídricas de plantas podem ser utilizados em conjunto para identificação de mecanismos desenvolvidos por genótipos em situação de déficit hídrico. Neste sentido, alguns trabalhos com espécies de citros têm identificado genótipos com características de tolerância, apresentando potencial para uso como porta-enxerto (PEIXOTO et al., 2006; RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2010a; SUASSUNA et al., 2012).

O conhecimento das respostas de espécies cítricas ao déficit hídrico, na fase de porta-enxerto, é indispensável por sua influência na tolerância da cultivar copa (SUASSUNA et al., 2012). Contudo, o resultado da união entre copa e porta-enxerto pode alterar as características originais, da copa e do porta-enxerto, relativamente ao vigor no crescimento e no uso da água (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2010a). É provável que durante o déficit hídrico o resultado da melhor interação entre raiz e parte aérea seja mais evidenciado, pois nessas condições há estreita relação entre o equilíbrio no crescimento e absorção de água (CLAEYS e INZÉ, 2013).

Os mecanismos desenvolvidos pelas plantas quando submetidas ao déficit hídrico podem ser divididos em duas categorias: mecanismos de prevenção e de tolerância (VERSLUES et al., 2006; LAWLOR, 2013). A prevenção ao déficit hídrico pode ocorrer tanto pela eficácia na absorção de água pelo sistema radicular, seja pelo maior aprofundamento ou maior densidade de comprimento, como pela redução do consumo de água (BLUM, 2005). Já os mecanismos de tolerância ao déficit hídrico visam proteger a célula a danos muito graves quando os mecanismos de prevenção não são mais suficientes (CLAEYS e INZÉ, 2013).

As duas vias para prevenção ao déficit hídrico apresentam vantagens e desvantagens. Em episódios de déficit severo, genótipos com reduzida

transpiração e crescimento das folhas têm a vantagem de economizar água no solo para as fases posteriores do ciclo da cultura (TARDIEU et al., 2010). No entanto, esse mecanismo de prevenção também diminui o acúmulo de biomassa havendo, paralelamente, o risco de estresse por calor com o aumento da temperatura da folha (TARDIEU, 2012). O mecanismo de prevenção ao déficit hídrico por meio do controle estomático foi relatado em citros e associado à sinalização química de ácido abscísico, entre raiz e parte aérea (NEVES et al., 2013). É bem provável, que esse mecanismo seja mais adequado a situações de déficit hídrico moderado.

Genótipos com manutenção da condutância estomática em eventos de déficit hídrico de longa duração mantêm taxas consideráveis de crescimento e apresentam maior acúmulo de massa (BLUM, 2011). Embora hajam riscos de efeitos deletérios em nível foliar com a duração do déficit, é possível que a quantidade de reservas acumuladas seja um ponto positivo na recuperação da planta quando reirrigada (SEVANTO et al., 2014). Estudos comprovaram que o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) apresenta a característica de crescimento de raiz considerável, alta condutividade hidráulica de raiz, maior capacidade de uso de água e menor resistência estomática (MEDINA et al., 1998a; MAGALHÃES FILHO et al., 2008; NEVES et al., 2013).

Na interação entre copa e porta-enxerto também é possível que genótipos com menor porte possam transmitir à copa o caráter ananicante, conferindo à combinação menor exigência em água, sendo também um mecanismo de prevenção ao déficit hídrico em condição hídrica limitante. Trabalhos com a espécie *Poncirus trifoliata* (L.) raf. e suas progênes relatam que esses genótipos apresentam menor condutividade hidráulica de raiz, menor número de vasos e menor diâmetro dos vasos do xilema, o que reduz sua capacidade de transporte de água entre raiz e folhas, sendo atribuído como o principal motivo para o pequeno porte (MARTÍNEZ-ALCANTARA et al., 2012).

O ajustamento osmótico pode atuar como um mecanismo de prevenção do déficit hídrico por meio da manutenção do turgor ou mecanismo de tolerância por meio da proteção da célula (SAVÉ et al., 1993; PEREZ-PEREZ et al., 2007; CLAEYS e INZÉ, 2013). Estas duas possibilidades dependerão do tipo de soluto acumulado com o déficit hídrico (CONDE, 2011). Em citros, o ajustamento

osmótico foi associado à maior tolerância ao déficit hídrico (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2010a).

O presente trabalho se baseia em três hipóteses: 1 – As características de crescimento do porta-enxerto, baixo ou alto vigor, são determinadas à copa e em condição hídrica limitante podem implicar em diferentes mecanismos de prevenção ao déficit hídrico; 2 – O comprimento de raiz dos porta-enxertos pode aumentar em situação de déficit hídrico e conferir à copa característica de tolerância; 3 – O potencial hídrico e seus componentes, medidos na fase de déficit hídrico, podem caracterizar os mecanismos de prevenção desenvolvidos pela combinação copa-porta-enxerto e o ajustamento osmótico da copa pode ser determinado pelo porta-enxerto. Desta forma, foram desenvolvidos três experimentos com o objetivo de responder às hipóteses anteriormente mencionadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e material vegetal

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, no período compreendido entre os anos de 2012 e 2014, nas instalações da Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada no Município de Cruz das Almas, BA (Latitude: 12°40'39"S, Longitude; 39°06' 23"W, Altitude; 225m). Foram avaliados seis porta-enxertos (variedades e híbridos) fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Tabela 1), em condição de pés-francos e enxertados com a copa limeira ácida 'Tahiti' - *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka.

**Tabela 1.** Relação de porta-enxertos de citros selecionados pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

---

1 - Tangerineira 'Sunki' [ <i>C. sunki</i> (Hayata) hort. ex Tanaka] seleção 'Maravilha' (TSKMA)
2 - Tangerineira 'Sunki' seleção 'Tropical' (TSKTR)
3 – Híbrido tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrange [ <i>C. sinensis</i> (L.) Osbeck x <i>Poncirus trifoliata</i> ] 'Troyer' (CTTR)-002
4 – Híbrido trifoliado HTR-051
5 – Citrandarin [ <i>C. sunki</i> x <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.] 'Riverside'
6 – Limoeiro 'Cravo' ( <i>Citrus limonia</i> L. Osbeck) seleção 'Santa Cruz' (LCRSTC)

---

## Experimentos

O estudo foi dividido em três experimentos, sendo: 1 - Avaliação de seis porta-enxertos (Tabela 1) submetidos ao déficit hídrico, em condição de pés-francos, quanto as variáveis de crescimento e de relações hídricas: altura de planta (ALT), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca final da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), variação da umidade do solo e condutância estomática foliar. 2 – Os mesmos porta-enxertos foram avaliados no segundo experimento com a copa de limeira ácida ‘Tahiti’ em relação às mesmas variáveis do primeiro experimento, adicionalmente verificando-se características do sistema radicular como comprimento de raiz e densidade de comprimento ( $\text{cm cm}^{-3}$ ). 3 – Avaliação da relação de potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e seus componentes, potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) e turgor ( $\Psi_p$ ) e ajustamento osmótico (AO) em nível foliar da limeira ácida ‘Tahiti’ enxertada nos porta-enxertos utilizados nos experimento 1 e 2, em condição de déficit hídrico.

## Condição de cultivo

O cultivo das plantas (pés-francos) foi realizado por meio de sementes em bandejas de isopor com substrato Plantmax<sup>®</sup>. Após apresentarem folhas completamente desenvolvidas e uma altura média de 15 cm, plantas de provável origem nucelar foram transplantadas para tubos de PVC de 0,15 m de diâmetro e 1,0 m de comprimento (Figura 1) para a realização do experimento 1, que se iniciou aos 75 dias após o transplante das plantas. Mudas com o mesmo padrão, presumivelmente de origem nucelar, foram transplantadas para tubos de PVC de 0,24 m de diâmetro e 1,0 m de comprimento para realização do experimento 2, que se iniciou 180 dias após o transplante, devido à realização de enxertia e a necessidade de tempo para o seu estabelecimento e formação de copa. As plantas foram conduzidas por dois anos com utilização de podas, no ramo primário, para a realização do experimento 3.



**Figura 1.** Visão geral dos experimentos com detalhes dos tubos de PVC.

O meio de cultivo para os experimentos 1,2 e 3 foi substrato contendo solo de barranco, areia e casca de Pinus na proporção de 2:2:1, respectivamente, com as características físicas e químicas apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4. Adubação complementar ocorreu antes do início do experimento com 10 g por planta de Osmocoat (19-6-10, Scolt's®).

**Tabela 2.** Composição granulométrica do substrato. Classes de areia (MG – muito grossa, G – grossa, M – média, F – Fina, MF – muito fina), silte, argila e classificação textural.

Composição granulométrica (%)								
Areia						Classificação		
MG	G	M	F	MF	Total	Silte	Argila	Textural
5,6	3,9	28,5	18,4	5,9	62,3	8,5	29,2	Argilo arenoso

**Tabela 3.** Análise de retenção de água do substrato, a partir da relação de umidade (Ug) e diferentes tensões (kPa), densidade do solo (ds) e água disponível (AD).

	Potencial (kPa)					ds	
	10	33,3	100	300	1500	kg/dm <sup>3</sup>	AD
Ug (g g <sup>-1</sup> )	0,202	0,166	0,145	0,136	0,132	1,21	0,071

**Tabela 4.** Análise química do substrato, com pH e teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), sódio (Na), soma de bases (SB), capacidade de trocas de cátions (CTC), saturação de bases (V) e matéria orgânica (M.O)

Parâmetros	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V	M.O
	H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>							%	g/kg	
	5,0	950	0,85	11,07	2,33	0,2	0,91	4,73	12,83	17,56	73	34,15

## Umidade do solo e manejo de irrigação

A umidade do solo foi determinada a partir de valores de constante dielétrica do solo obtidas com uso de TDR (Reflectometry Domain Time). As sondas de TDR foram construídas no Laboratório de Irrigação e Drenagem da Embrapa Mandioca e Fruticultura com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável com comprimento efetivo de 0,1 m, espaçadas entre si por 0,017 m, fixas a um bloco de resina de poliéster com dimensões de 0,05 m x 0,045 m x 0,015 m e conectadas a um cabo coaxial de 50 ohms de 1,5 m de comprimento. Três sondas de TDR foram inseridas no solo perpendicularmente por meio de um orifício lateral realizado no tubo de PVC, a uma altura de 0,25 m, 0,50 m e 0,90 m em relação ao nível do solo. Os dados de umidade foram obtidos a cada três dias para auxiliar no manejo de irrigação e caracterização do secamento do solo.

Nos três experimentos, as plantas foram submetidas a dois manejos de irrigação, sendo considerado tratamento controle, aquele relativo às plantas irrigadas para manutenção da umidade do substrato aproximadamente à capacidade de máxima retenção de água ( $\Theta = 0,30 \pm 2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), e tratamento de déficit hídrico, aquele em que plantas foram submetidas ao secamento contínuo do solo até a murcha completa de todas as folhas ( $\Theta = 0,15 \pm 2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). O teste de capacidade de retenção de água pelo substrato foi realizado 8 h após irrigação, com volume de água suficiente para a visualização da drenagem e em seguida, determinou-se a média de umidade nas profundidades 0,25 m e 0,50 m, correspondendo à máxima retenção de água pelo substrato.

Os tubos de PVC foram vedados com papel alumínio, na parte superior, junto ao caule das plantas para evitar a evaporação de água do solo. No primeiro dia do experimento, todas as plantas foram irrigadas até a máxima capacidade de retenção dando início aos tratamentos. A irrigação das plantas do tratamento controle foi realizada semanalmente de acordo com equação 1.

$$V_i = [\theta_{cc} - \theta_d] \times V_v \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

$V_i$  – Volume de água de irrigação (L)

$\Theta_{cc}$  – Umidade média na capacidade de máxima retenção de água, nas posições 0,25 m e 0,50 m ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$\Theta_d$  – Umidade média observada nas posições 0,25 m e 0,50 m ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$V_v$  – Volume do vaso até a profundidade de 0,5 m (L)

### Fração de água transpirável do substrato (FAT)

A fração de água transpirável do substrato foi calculada a partir dos valores de umidade do solo (Eq. 2), de acordo com a metodologia adotada por Neves et al. (2013) e relacionada com o tempo de murcha das folhas e as variáveis fisiológicas, medidos em cada genótipo, na condição de pés-francos e enxertados com limeira ácida 'Tahiti'.

$$FAT = \left[ \frac{\Theta_d - \Theta_r}{\Theta_{cc} - \Theta_r} \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Sendo:

FAT – Fração de água transpirável do substrato

$\Theta_d$  – Umidade média observada nas posições 0,25 m e 0,50 m ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$\Theta_{cc}$  – Umidade média na capacidade de máxima retenção de água, nas posições 0,25 m e 0,50 m ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

$\Theta_r$  – Umidade média residual observada nas posições 0,25 m e 0,50 m ( $\text{cm cm}^{-3}$ )

### Análise de crescimento

#### Experimentos 1 e 2

O crescimento das plantas foi avaliado por meio de medidas de altura (ALT), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de acordo com a metodologia adotada por Dutra (2012). Para cada parâmetro, o efeito do déficit hídrico foi avaliado pela taxa de redução de crescimento (TRC) obtida pela relação entre a variação de crescimento das plantas do tratamento estressado e plantas do tratamento controle, de acordo com a equação 3.

$$TRC (\%) = \left[ 1 - \left( \frac{Cf_E - Ci_E}{Cf_C - Ci_C} \right) \times 100 \right] \quad \text{Eq. (3)}$$

Sendo:

TRC – Taxa de redução do crescimento de plantas sob déficit hídrico (%)

$Cf_{DH}$  – Crescimento final de plantas sob tratamento de déficit hídrico

- $Ci_{DH}$  – Crescimento inicial de plantas sob tratamento de déficit hídrico  
 $Cf_C$  – Crescimento final de plantas sob tratamento controle  
 $Ci_C$  – Crescimento inicial de plantas sob tratamento controle  
 $t$  – Tempo entre o início do experimento e a murcha dos porta-enxertos (dias)

No final do experimento, ocasião em que as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram folhas murchas sem apresentar recuperação durante o período noturno, a massa seca da parte aérea (folhas e caule) e do sistema radicular foi avaliada após secagem em estufa por 60 °C até peso constante. A taxa de redução de massa (TRM) da parte aérea e do sistema radicular da planta foi obtida pela razão entre a massa seca final das plantas do tratamento estressado e plantas do tratamento controle, de acordo com a equação 4.

$$TRM (\%) = \left[ 1 - \left( \frac{MSf_E}{MSf_C} \right) \times 100 \right] \quad \text{Eq. (4)}$$

Sendo:

- TRM – Taxa de redução de massa de plantas sob déficit hídrico (%)  
 $MSf_{DH}$  – Massa seca final de plantas sob tratamento de déficit hídrico  
 $MSf_C$  – Massa seca final de plantas sob tratamento controle

O comprimento de raiz foi avaliado no experimento 2, por meio da retirada de amostras (solo e raiz) com volume de 0,0022 m<sup>3</sup>, nas posições de 0,15 m, 0,45 m e 0,75 m, em relação ao nível do solo e lavadas posteriormente para digitalização da imagem em escâner. Realizou-se o processamento das imagens com o software GsRoot, versão 5.1. A densidade de comprimento de raiz (DCR) foi calculada pela razão entre comprimento total de raiz de cada amostra e volume de solo. Também foi relacionado o comprimento e a massa de raiz, sendo definido como comprimento específico de raiz (SRL).

### **Condutância estomática (g<sub>s</sub>)**

Experimentos 1 e 2

A condutância estomática (g<sub>s</sub>) ao vapor de água em nível foliar foi avaliada semanalmente durante o período de realização dos experimentos, com uso do porômetro de difusão, modelo AP4 (Delta-T Devices, Cambridge, Inglaterra). As



medidas ocorreram em uma folha totalmente expandida e madura, localizada no terço médio da planta, entre os horários de 8 e 10 h, até a fase de murcha das folhas.

### Potenciais de água na folha e ajustamento osmótico (AO)

#### Experimento 3

Plantas de limeira ácida 'Tahiti' enxertadas em seis porta-enxertos (Tabela 1) com dois anos de idade foram avaliadas em relação aos parâmetros potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), potencial de turgor ( $\Psi_P$ ), potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) e teor relativo de água (TRA), após serem submetidas aos tratamentos controle e déficit hídrico contínuo do solo, nos dias 1, 14, 24, 30, 38 e 50.

As medidas dos potenciais ocorreram no período da antemanhã (5h) e próximo ao meio dia (13h) em uma folha fisiologicamente madura em cada planta, selecionada no terço médio dos ramos. Foi determinado o  $\Psi_P$  na folha selecionada, ainda na planta, sendo esta, em seguida, destacada para determinação do  $\Psi_w$  em câmara de pressão tipo 'Scholander', modelo 3115 (Soil moisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA) e armazenada temporariamente (8h) a temperatura de  $-18^\circ\text{C}$  para determinação do  $\Psi_s$ .

O potencial de turgor ( $\Psi_P$ ) das folhas foi determinado com o uso do equipamento Wiltmeter<sup>®</sup> desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (Figura 2) e estimado a partir da equação 5, proposta por Calbo e Nery (1995) e Calbo et al. (2010). O Wiltmeter<sup>®</sup> possui como princípio de funcionamento o método da aplanção de órgãos planares, no qual a folha avaliada foi pressionada por uma membrana flexível contra uma placa de aplanção porosa até que o amassamento se igualasse à pressão de turgescência celular e obstruísse a passagem de ar, alimentado por um gradiente de pressão de 6,5 kPa, condição em que foi registrada a pressão no manômetro do aparelho.

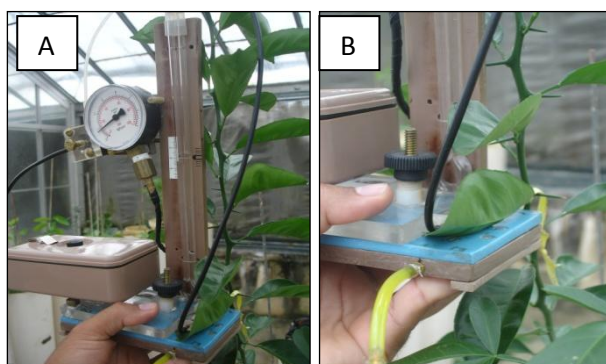
$$\Psi_P = P_y \times f_w \quad \text{Eq. (5)}$$

Sendo:

$\Psi_P$  – Potencial turgor (MPa)

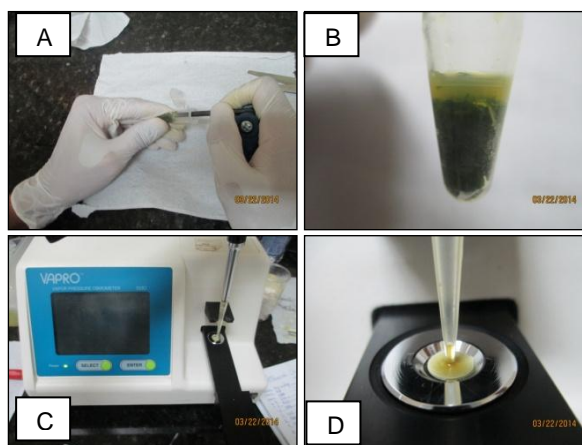
$P_y$  – Pressão lida no manômetro do aparelho

$f_w$  – Fator de wiltmeter



**Figura 2.** (A) Medidor de turgescência foliar (Wiltmeter®) e (B) detalhe da placa de aplanação foliar.

O potencial osmótico foi determinado após rompimento das membranas da folha com o congelamento das amostras. Uma amostra de aproximadamente 1-2 g foi macerada e recolhidos 10  $\mu$ L da solução para análise de potencial osmótico em osmômetro, modelo Vapro 5520 (Figura 3). No período da antemanhã, uma segunda folha em cada planta foi amostrada e saturada em água destilada por 24 h, em condição sem iluminação, a temperatura de 2 a 5°C, para determinação do potencial osmótico em condição do 'TRA' a 100%. O ajustamento osmótico (AO) foi calculado utilizando a equação 6.



**Figura 3.** (A) Procedimento de maceração de amostras foliares; (B) solução sobrenadante; (C) osmômetro e (D) solução 10  $\mu$ L pipetada na câmara de medição.

$$AO = \Psi_{S_{C5hSat}} - \Psi_{S_{D5hSat}} \quad \text{Eq. (6)}$$

Sendo:

AO – Ajustamento osmótico

$\Psi_{S_{C5hSat}}$  – Potencial osmótico em folhas saturadas do tratamento controle às 5h

$\Psi_{S_{D5hSat}}$  – Potencial osmótico em folhas saturadas do tratamento de déficit hídrico às 5h

O teor relativo de água da folha (TRA) foi determinado no período da antemanhã (5h) com a retirada de quatro discos no limbo foliar, em cada folha, representando uma amostra por planta. Os discos foram armazenados em tubos de vidro totalmente fechados, sendo determinada a massa fresca de cada amostra, imediatamente após a realização da amostragem. Para obtenção da massa túrgida foram adicionados 3 mL de água em cada tubo de vidro para saturação completa dos discos, os quais foram novamente pesados depois de 24 h com a remoção do excesso de água, cuidadosamente. A massa seca das amostras foi obtida com a secagem dos discos em estufa com temperatura média de 60-80 °C, até atingir massa constante. O TRA foi calculado de acordo com equação utilizada por Rodríguez-Gamir et al. (2010a). As determinações ocorreram paralelamente às medições dos potenciais  $\Psi_w$ ,  $\Psi_P$  e  $\Psi_s$ .

### Dados climáticos

A atmosfera interna da casa de vegetação foi monitorada com sensores de radiação solar, temperatura e umidade do ar (Figura 4), os quais foram interligados a um datalogger, modelo CR1000, Campbell Scientific, para realização da aquisição contínua dos dados. A variação do microclima, durante a realização dos experimentos, encontra-se na Tabela 5.



**Figura 4.** Sensor de radiação solar (1), umidade relativa e temperatura do ar (2) e placa solar (3) para geração de energia ao sistema de aquisição de dados.

**Tabela 5.** Caracterização da atmosfera interna da casa de vegetação durante a realização dos experimentos.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Temperatura máxima (°C)	26-34	26-36	25-30
Temperatura mínima (°C)	18-22	18-23	21-24
Umidade relativa máxima (%)	81-92	74-92	84-90
Umidade relativa mínima (%)	40-67	32-68	56-76
Radiação solar máxima ( $w m^{-2}$ )	107-340	120-410	105-259
DPV máximo (kPa)	0,7 - 2,0	0,72 - 2,2	0,5-1,2
DPV mínimo (kPa)	0,12-0,33	0,11 - 0,50	0,24-0,32

### Análise estatística

Os fatores estudados foram seis porta-enxertos e dois manejos hídricos, compondo um fatorial 6 x 2, resultando em 12 tratamentos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições nos experimentos 1 e 3 e seis repetições no experimento 2. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média por Tukey, a 5% de probabilidade. Quando necessário, os porta-enxertos foram comparados por teste de média, utilizando um fator de variação, tratamento controle ou estressado. Para os dados de  $\Psi_p$  e  $g_s$  foi realizada análise de regressão com os valores de fração de água transpirável do substrato.

## RESULTADOS

### Fração de água transpirável e murcha das plantas

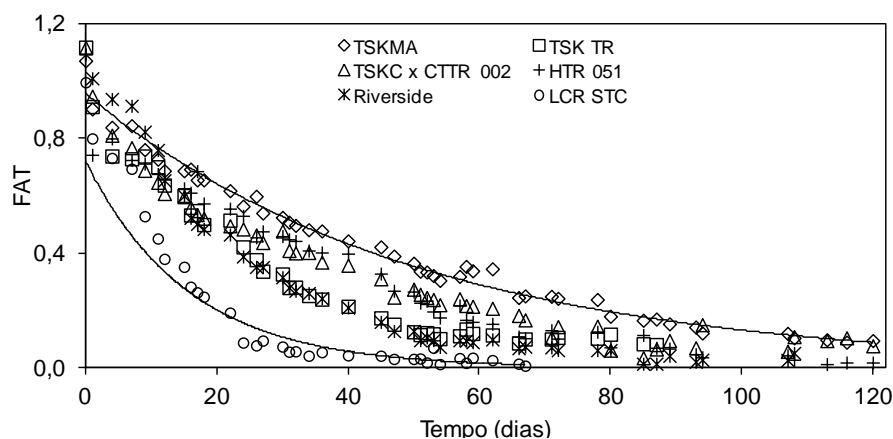
Experimentos 1, 2 e 3

Enquanto o grupo de plantas do tratamento controle permaneceu com a fração de água transpirável do substrato (FAT) variando de 1,0 - 0,7, o tratamento de déficit hídrico reduziu a FAT consideravelmente para todos os porta-enxertos, em condição de pés-francos e com copa de limeira ácida 'Tahiti'. O porta-enxerto limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), pé-franco, apresentou redução da FAT mais acentuada em relação ao tempo de déficit hídrico que os demais porta-enxertos e a tangerineira 'Sunki Maravilha' (TSKMA) foi mais conservadora em relação ao uso da água, apresentando uma curva de redução da FAT menos

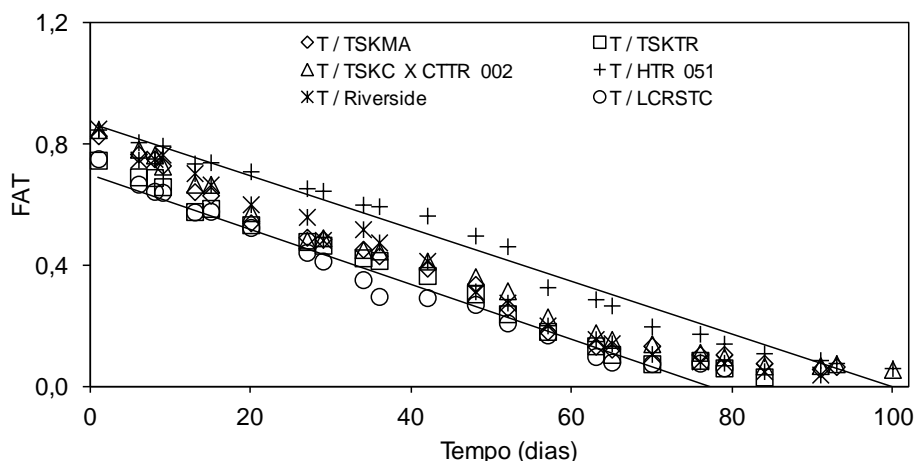
acentuada (Figura 5). No experimento 1, o LCRSTC apresentou a murcha das folhas aos 65 dias, a tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR) aos 85 dias, o citrandarin ‘Riverside’ aos 110 dias e a tangerineira TSKMA e os híbridos TSKC x CTTR-002 e HTR-051 apresentaram murcha aos 120 dias.

Sob a copa da limeira ácida ‘Tahiti’, experimentos 2 e 3, embora seja observados uma pequena diferença na redução da FAT, em relação ao tempo de déficit hídrico, entre o LCRSTC e os demais genótipos (Figura 6), esta diferença foi mais notável na avaliação de plantas após dois anos de enxertadas (Figura 7). O porta-enxerto HTR-051 foi mais conservador em relação ao uso da água, apresentando uma curva de redução da FAT menos acentuada, principalmente no experimento 2 (Figuras 6 e 7).

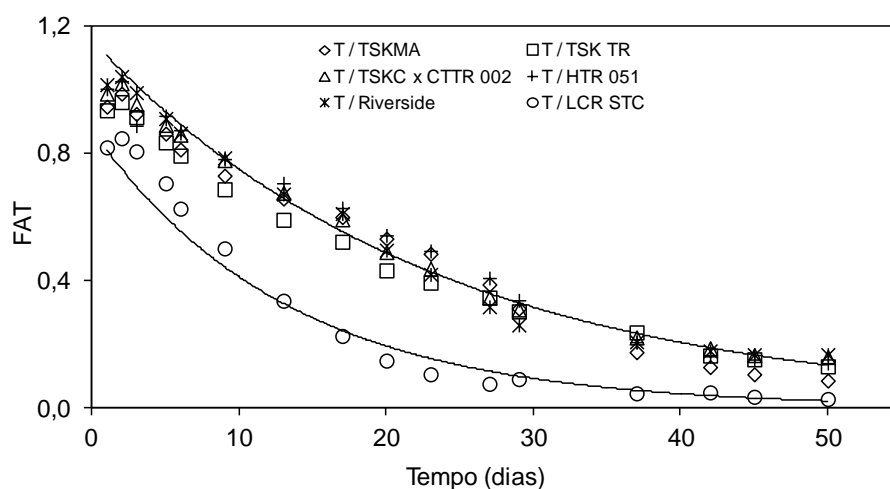
O tempo de murcha foliar também variou entre os porta-enxertos quando avaliados sob a copa ‘Tahiti’. No experimento 2, o LCRSTC e o TSKTR apresentaram novamente murcha mais precoce aos 78 e 85 dias, respectivamente, e o TSKMA e ‘Riverside’ aos 99 dias, o TSKC x CTTR-002 e o HTR-051 com 101 dias. No experimento 3, o LCRSTC apresentou murcha aos 30 dias, o TSKTR, ‘Riverside’ e TSKC x CTTR-002 aos 38 dias e o TSKMA e HTR-051 aos 50 dias.



**Figura 5.** Relação entre a fração de água transpirável do substrato (FAT) no perfil de solo até 0,50 m de profundidade e duração do déficit hídrico que ocasionou a murcha das folhas dos porta-enxertos tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck). Linha superior representa o modelo para o TSKMA ( $Y = 0,954e^{-0,02x}$ ) e inferior para o LCR STC ( $Y = 0,7202e^{-0,064x}$ ),  $p < 0,001$ .



**Figura 6.** Relação entre a fração de água transpirável do substrato (FAT) no perfil de solo até 0,50 m de profundidade e duração do déficit hídrico que ocasionou a murcha das folhas da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos: tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck). Linha superior representa o modelo para o HTR-051 ( $Y = 0,887 - 0,0098X$ ) e inferior para o LCRSTC ( $Y = 0,71 - 0,0103X$ ),  $p < 0,001$ .



**Figura 7.** Relação entre a fração de água transpirável do substrato (FAT) no perfil de solo até 0,50 m de profundidade e duração do déficit hídrico que ocasionou a murcha das folhas da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos: tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck) com idade de dois anos. Linha superior representa o modelo para o HTR 051 ( $Y = 1,154e^{-0,43x}$ ) e inferior para o LCR STC ( $Y = 0,9046e^{-0,079x}$ ),  $p < 0,001$ .

## Crescimento de plantas

### Experimentos 1 e 2

Não houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre porta-enxertos e tratamentos para os parâmetros de crescimento, em condição pé-franco. O limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC) produziu maior área foliar ( $p \leq 0,05$ ), em relação aos demais genótipos e superior ( $p \leq 0,05$ ), em número de folhas ao híbrido trifoliado HTR-051, não diferindo significativamente dos demais porta-enxertos (Tabela 6). O LCRSTC também apresentou maior média de altura de plantas, diferindo estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR) e do híbrido HTR-051 (Tabela 6).

**Tabela 6.** Efeito estatístico e média da área foliar (AF), número de folhas (NF) e altura de plantas (ALT) de seis porta-enxertos de citros: tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin 'Riverside' (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, C. limonia Osbeck).

Fator	AF (cm <sup>2</sup> )	NF	ALT (cm)
Tratamento (A)	0,015	0,009	0,007
Porta-enxerto (B)	0,0001	0,036	0,006
A x B	0,60 n.s	0,61 n.s	0,83 n.s
<b>Tratamento</b>			
Controle	1008,04 a	50,53 a	97,93 a
Déficit hídrico	625,08 b	35,93 b	68,34 b
<b>Porta-enxerto</b>			
TSKMA	847,1 b ±272	52 ab ±11,3	85,2 ab ±20,9
TSKTR	930,5 b ±180	47 ab ±7,4	73,0 b ±12,9
TSKC X CTTR 002	693,0 b ±137	40 ab ±5,3	85,8 ab ±10,5
HTR 051	213,2 b ±23	27 b ±2,3	47,1 b ±6,1
Riverside	617,3 b ±97	41 ab ±5,4	87,6 ab ±10,5
LCRSTC	2005,9 a ±414	57 a ±8,7	130,2 a ±18,8
DMS	804,8	27,8	55,1

<sup>1</sup>Média seguida pela mesma letra não difere significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, ±erro padrão da média (n=6) de cada tratamento (6x2) e diferença mínima significativa para o fator porta-enxerto (DMS).

A tangerineira ‘Sunki Maravilha’ (TSKMA) manifestou maior média ( $p \leq 0,05$ ) de massa seca da parte aérea (MSPA), em relação aos porta-enxertos tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR) e híbrido HTR-051, não diferindo significativamente do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC), do híbrido TSKC x CTTR-002 e do citrandarin ‘Riverside’. Para a variável massa seca de raiz (MSR), o porta-enxerto TSKMA foi significativamente ( $p \leq 0,05$ ) superior aos valores obtidos pelos genótipos ‘Riverside’, TSKTR e HTR-051 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Efeito estatístico e massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) de seis porta-enxertos de citros: tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck).

Fator	MSPA (g)	MSR (g)
Tratamento (A)	0,001	0,049
Porta-enxerto (B)	0,002	0,011
A x B	0,09 n.s	0,10 n.s
<b>Tratamento</b>		
Controle	22,87 a	12,51 a
Déficit hídrico	10,91 b	8,21 b
<b>Porta-enxerto</b>		
TSKMA	31,9 a $\pm 9,5$	19,3 a $\pm 6,1$
TSKTR	9,8 b $\pm 1,0$	6,4 b $\pm 1,4$
TSKC X CTTR 002	17,7 ab $\pm 5,6$	9,7 ab $\pm 3,4$
HTR 51	5,8 b $\pm 1,1$	5,2 b $\pm 1,2$
Riverside	16,8 ab $\pm 5,8$	7,7 b $\pm 0,9$
LCRSTC	19,0 ab $\pm 3,3$	13,7 ab $\pm 0,5$
DMS	15,9	11,4

<sup>1</sup>Média seguida pela mesma letra não difere significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade,  $\pm$ erro padrão da média (n=6) de cada tratamento (6x2) e diferença mínima significativa para o fator porta-enxerto (DMS).

Quando foi avaliada a combinação copa-porta-enxerto (experimento 2) também não houve interação entre porta-enxerto e tratamento. Observou-se diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos para as variáveis número de folha (NF) e altura de planta (ALT) e entre as combinações copa-porta-enxerto houve diferenças para as variáveis área foliar (AF) e ALT (Tabela 8). O LCRSTC sob a copa ‘Tahiti’ apresentou maior média de área foliar, diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da combinação ‘Tahiti’-TSKC x CTTR-002, que não diferiu estatisticamente da ‘Tahiti’-HTR-051, sendo que esta apresentou a menor



média ( $p \leq 0,05$ ) em relação às demais combinações (Tabela 8). Em relação à altura de plantas, a combinação 'Tahiti'-TSKC x CTTR-002 manifestou maior média, diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) apenas da 'Tahiti'-HTR-051 (Tabela 8).

**Tabela 8.** Efeito estatístico e média da área foliar (AF), número de folhas (NF) e altura de plantas (ALT) da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos: tangerineira 'Sunki' [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck).

Fator	AF (cm <sup>2</sup> )	NF	ALT (cm)
Tratamento (A)	0.140 n.s	<0.001	<0.001
Porta-enxerto (B)	<0.001	0.18 n.s	0.01
A x B	0.484	0.16	0.29
<b>Tratamento</b>			
Controle	1334,5 a	79 a	163,7 a
Déficit hídrico	1202,4 a	52 b	111,7 b
<b>Porta-enxerto</b>			
T / TSKMA	1388,2 ab ±155	64 ±6,4	144,0 ab ±12,5
T / TSKTR	1250,0 ab ±147	65 ±5,3	137,2 ab ±9,1
T / TSKC X CTTR 002	1211,8 bc ±214	73 ±5,5	153,2 a ±10,4
T / HTR 51	788,7 c ±129	65 ±3,4	130,7 b ±6,3
T / Riverside	1278,4 ab ±120	65 ±3,6	132,7 ab ±7,0
T / LCRSTC	1693,3 a ±126	68 ±5,6	146,8 ab ±11,6
DMS	451	11,1	21

Média seguida pela mesma letra não difere significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade,  $\pm$ erro padrão da média (n=12) de cada tratamento (6x2) e diferença mínima significativa para o fator porta-enxerto (DMS).

O déficit hídrico reduziu a MSPA e MSR em todas as combinações copa-porta-enxerto, sendo detectada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para o fator tratamento e entre as combinações copa-porta-enxerto ocorreu diferença significativa apenas para a variável MSR (Tabela 9). O LCRSTC, sob a copa 'Tahiti' relacionou-se à maior média de MSR, diferenciando ( $p \leq 0,05$ ) das combinações 'Tahiti'-TSKTR e 'Tahiti'-HTR-051 (Tabela 9).

**Tabela 9.** Efeito estatístico e média da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) da limeira ácida ‘Tahiti’ [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos: tangerineira ‘Sunki’ [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck).

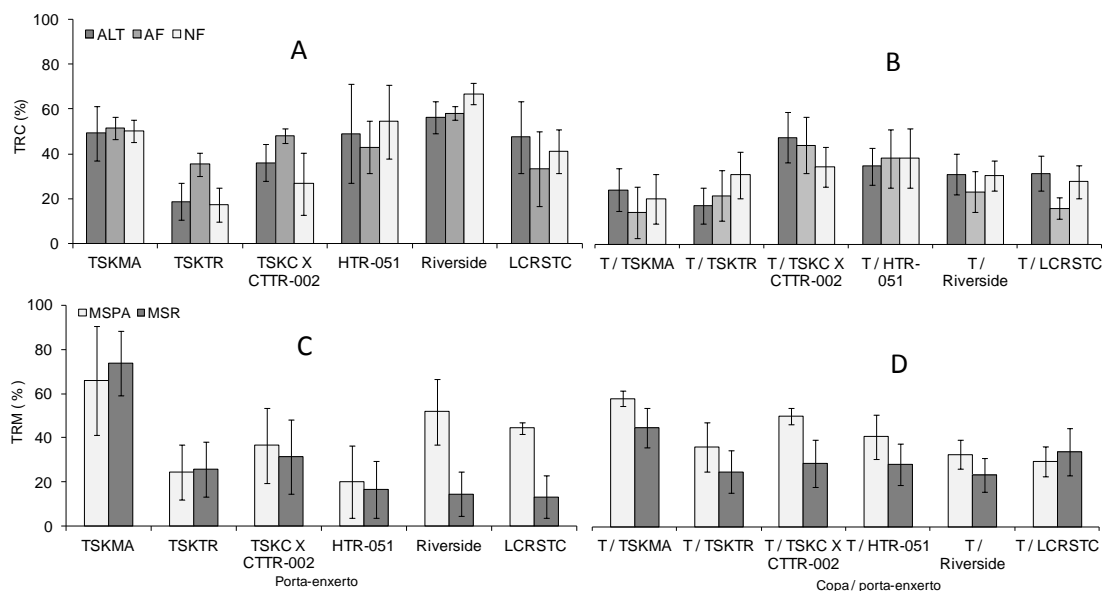
Fator	MSPA (g)	MSR (g)
Tratamento (A)	<0,001	<0,001
Porta-enxerto (B)	0,178 n.s	0,001
A x B	0,999 n.s	0,869 n.s
<b>Tratamento</b>		
Controle	84,40 a	48,88 a
Déficit hídrico	48,10 b	31,73 b
<b>Porta-enxerto</b>		
T / TSKMA	69,7 ±9,3	42,6 ab ±4,9
T / TSKTR	59,6 ±7,1	35,5 b ±2,8
T / TSKC X CTTR 002	82,6 ±9,5	45,1 ab ±5,2
T / HTR 51	61,2 ±7,8	36,8 b ±3,2
T / TSK x TRENG 264	67,4 ±5,1	42,5 ab ±3,4
T / LCRSTC	67,8 ±10,8	56,5 a ±7,0
DMS	26,6	14,5

<sup>1</sup>Média seguida pela mesma letra não difere significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, ±erro padrão da média (n=12) de cada tratamento (6x2) e diferença mínima significativa para o fator porta-enxerto (DMS).

As variações dos percentuais da taxa de redução de crescimento (TRC) e redução de massa (TRM), demonstraram que o efeito do déficit hídrico ocorreu de forma diferenciada, entre os porta-enxertos avaliados e combinações copa-porta-enxerto (Figura8). Observou-se que a TRC do porta-enxerto tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR) foi de 20% para as variáveis ALT e NF e aproximadamente 40% para AF, sendo que os demais porta-enxertos relacionaram-se a reduções da ordem de 40% a 60% (Figura 8A). Esta capacidade do genótipo TSKTR em manter o crescimento, em condição de déficit hídrico, próximo ao crescimento de plantas irrigadas, também foi observada quando enxertado com ‘Tahiti’, apresentando menor TRC para as variáveis ALT e AF (Figura 8B). O ‘Tahiti’-LCRSTC também apresentou baixa TRC para a variável AF (Figura 8B).

Os porta-enxertos TSKMA, HTR-051 e ‘Riverside’, pés-francos, manifestaram uma TRC elevada para as variáveis ALT, AF e NF, e quando combinados com ‘Tahiti’ não se observaram reduções consideráveis (Figura 8A e B). Em relação às variáveis MSPA e MSR, o efeito do déficit hídrico, para a

tangerineira ‘Sunki Maravilha’ (TSKMA) foi mais drástico, com TRM entre 60% e 80% (Figura 8C) e quando a TSKMA foi enxertada com a limeira ácida ‘Tahiti’, observou-se que a TRM foi menor, embora também apresentasse um percentual, ligeiramente superior, das demais combinações copa-porta-enxerto (Figura 8D).

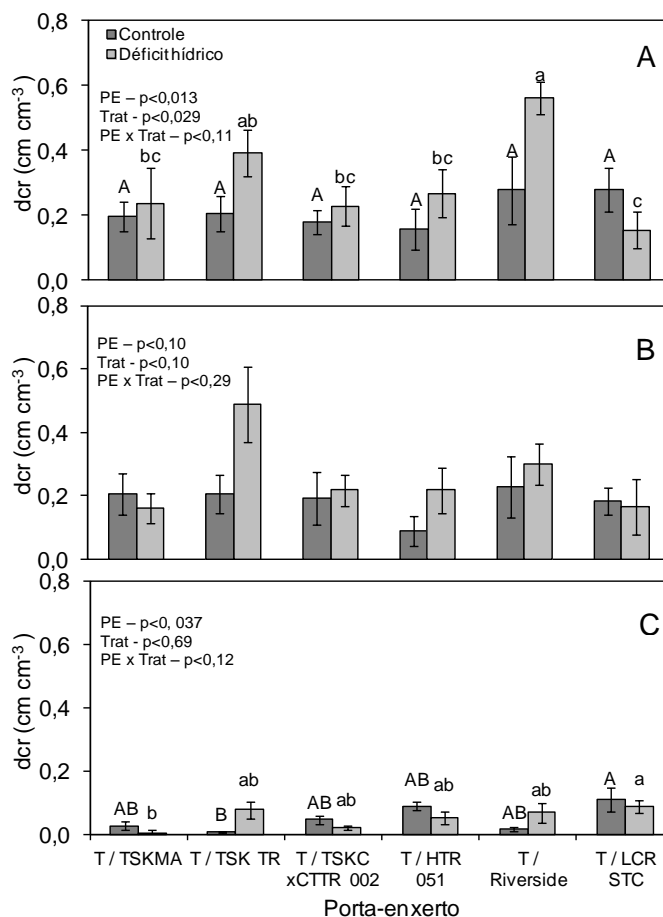


**Figura 8.** Taxa de redução de crescimento (TRC) para altura de planta (ALT), área foliar (AF) e número de folhas (NF) e taxa de redução de massa (TRM) para massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), em seis porta-enxertos de citros, tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck), em condição pé-franco (A e C) e enxertados com a limeira ácida ‘Tahiti’ (B e D), sob déficit hídrico. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo.

## Densidade de comprimento de raiz (DCR)

### Experimento 2

Não foi detectada interação significativa entre os fatores copa-porta-enxerto e tratamento para a variável densidade de comprimento de raiz, nas três profundidades avaliadas. A diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as combinações copa-porta-enxerto quanto à densidade de comprimento de raiz ocorreu nas profundidades 0,15 e 0,75 m para o grupo de plantas submetidas ao tratamento de déficit hídrico e apenas na profundidade 0,75 m para o grupo de plantas do tratamento controle (Figura 9A, B e C). Efeito ( $p \leq 0,05$ ) de tratamento ocorreu apenas na profundidade de 0,15m.



**Figura 9.** Densidade de comprimento de raiz (DCR -  $\text{cm cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0,15 m (A), 0,45 m (B) e 0,75 m (C), em seis porta-enxertos (PE): tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck), sob a copa de limeira ácida ‘Tahiti’ (T), submetidos aos tratamentos (Trat): controle e déficit hídrico. Barras indicam erro padrão da média (n=6). Letras maiúsculas comparam médias dos porta-enxertos submetidos ao tratamento controle e as minúsculas ao de déficit hídrico ( $p \leq 0,05$ ).

Na condição de déficit hídrico, aos 0,15 m de profundidade, a combinação ‘Tahiti’-‘Riverside’ apresentou a maior ( $p \leq 0,05$ ) densidade de comprimento de raiz, em relação às demais combinações, com a exceção daquela envolvendo ‘Tahiti’-TSKTR. Nesta profundidade, a densidade de raiz das plantas do tratamento de déficit hídrico foi maior em relação à obtida pelas plantas do tratamento controle, à exceção da combinação ‘Tahiti’-LCRSTC, que apresentou a menor média (Figura 9A).

Na profundidade de 0,45 m, sob déficit hídrico, a combinação ‘Tahiti’-TSKTR manifestou a maior média de densidade de comprimento de raiz, embora

não tenha se diferenciado significativamente ( $p \leq 0,05$ ) das demais combinações copa-porta-enxerto e foi a que mais aumentou a DCR em relação às plantas do tratamento controle (Figura 9B).

Na profundidade de 0,75 m, a combinação 'Tahiti'-LCRSTC apresentou a maior média ( $p \leq 0,05$ ) de densidade de comprimento de raiz em relação às demais combinações copa-porta-enxerto. Sob déficit hídrico, diferenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da combinação 'Tahiti'-TSKMA e sob a condição do tratamento controle, da 'Tahiti'-TSKTR (Figura 9C).

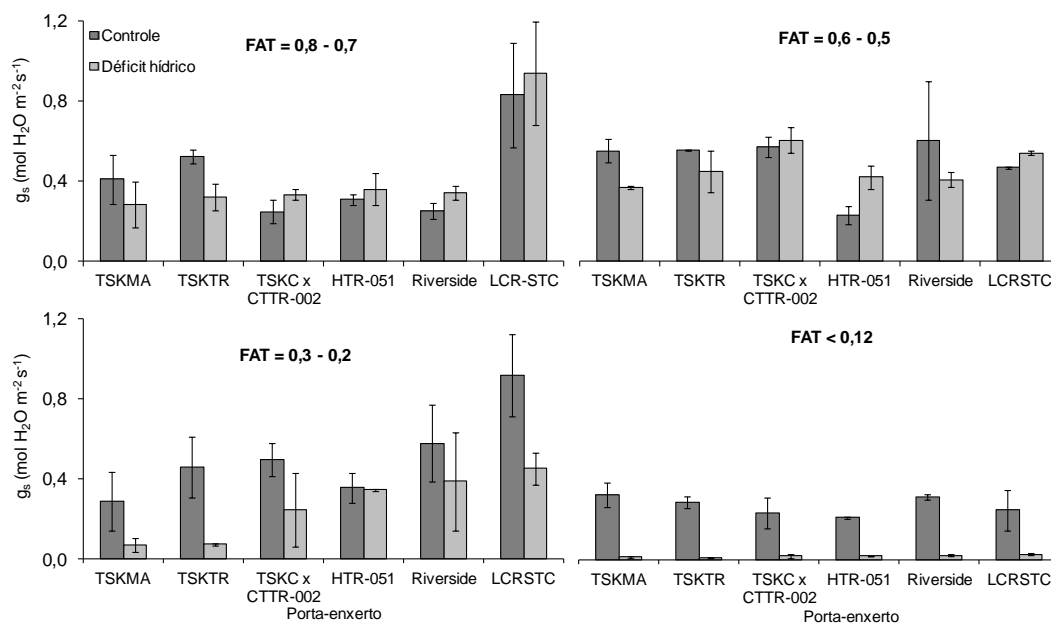
### **Condutância estomática ( $g_s$ )**

#### Experimentos 1 e 2

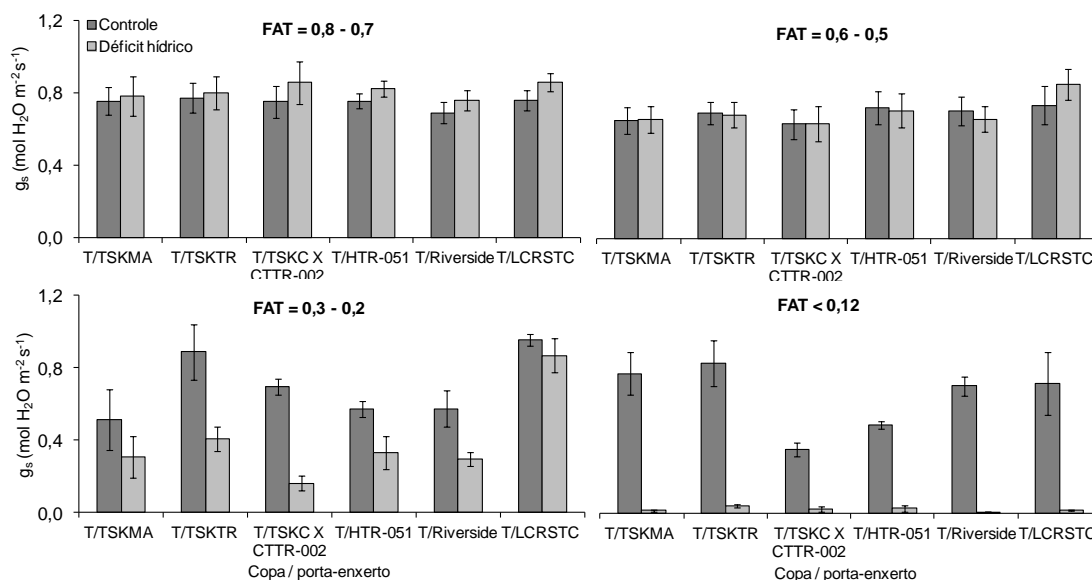
Houve redução de  $g_s$  com o déficit hídrico para a maior parte dos porta-enxertos avaliados como pés-francos (experimento 1) quando a fração de água transpirável do substrato (FAT) esteve na faixa de 0,3-0,2, sendo drástica a redução quando foi menor que 0,12 (Figura 10). As tangerineiras TSKMA e TSKTR apresentaram pequenas reduções de  $g_s$  quando a FAT ainda estava na faixa de 0,8-0,7 e na faixa de 0,6-0,5 a TSKMA manteve a redução, o que não foi observado nos demais porta-enxertos.

Quando a FAT foi de 0,3-0,2, o híbrido trifoliado HTR-051 destacou-se sem redução de  $g_s$ , comparando plantas dos tratamentos controle e déficit hídrico. Observou-se também, que  $g_s$  do LCRSTC foi maior em relação aos demais porta-enxertos, quando a FAT foi igual a 0,8-0,7, independente dos tratamentos e novamente foi maior quando a FAT foi de 0,3-0,2 avaliando apenas as plantas do tratamento controle.

Na avaliação de  $g_s$  em plantas enxertadas (experimento 2), de forma análoga ao experimento 1, a redução de  $g_s$ , sob déficit hídrico, em todas as combinações de copa-porta-enxerto, ocorreu quando a FAT esteve na faixa de 0,3-0,2 e, de forma acentuada, quando foi menor que 0,12 (Figura 11). Quando combinado com a copa 'Tahiti', o porta-enxerto LCRSTC relacionou-se à menor redução de  $g_s$ , comparando plantas do tratamento controle e déficit hídrico, em condição de FAT na faixa de 0,3-0,2 (Figura 11).



**Figura 10.** Condutância estomática ( $g_s$ ) dos porta-enxertos tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck), sob os tratamentos controle e déficit hídrico, em quatro níveis de fração de água transpirável do substrato (FAT). Barras indicam o erro padrão da média de cada genótipo (n=3).

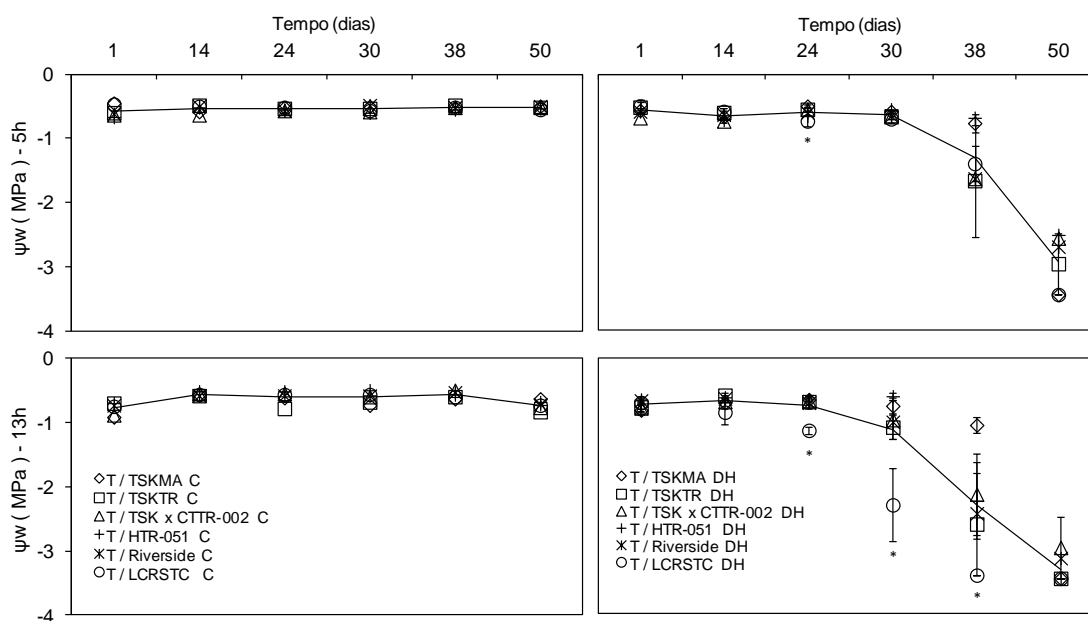


**Figura 11.** Condutância estomática ( $g_s$ ) da limeira ácida ‘Tahiti’ [T, Citrus latifolia (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos: tangerineira ‘Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, C. limonia Osbeck), sob os tratamentos controle e déficit hídrico, em quatro níveis de fração de água transpirável do substrato (FAT). Barras indicam o erro padrão da média de cada genótipo (n=6).

## Potenciais de água na folha e ajustamento osmótico (AO)

### Experimento 3

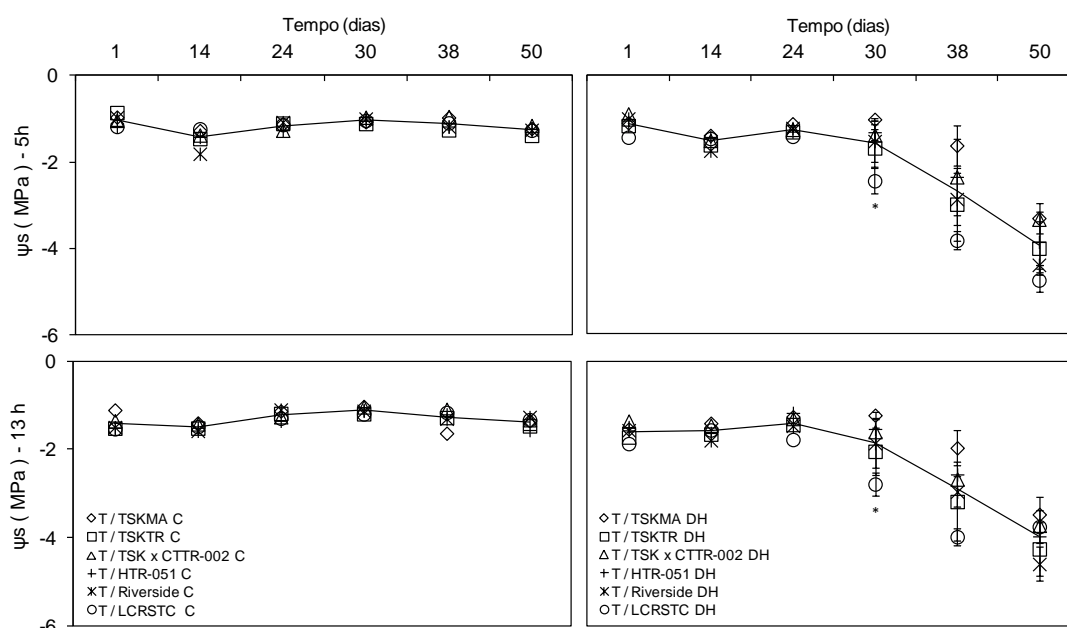
A limeira ácida ‘Tahiti’ não apresentou diferença significativa nos potenciais hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) e turgor ( $\Psi_p$ ) sob os seis porta-enxertos avaliados, quando foi submetida ao manejo de irrigação do tratamento controle. Diferenças entre os porta-enxertos foram observadas apenas na condição de déficit hídrico. A combinação ‘Tahiti’-LCRSTC apresentou uma redução mais acentuada do  $\Psi_w$ , diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da ‘Tahiti’-TSKMA aos 24 dias de aplicação do déficit hídrico, às 5h, não diferenciando-se das demais combinações nas avaliações posteriores (Figura 12). Já às 13h, ‘Tahiti’-LCRSTC apresentou o menor valor ( $p \leq 0,05$ ) de  $\Psi_w$ , em relação a todas as combinações, no período de 24 e 30 dias e aos 38 dias foi menor ( $p \leq 0,05$ ) em relação à ‘Tahiti’-TSKMA (Figura 12).



**Figura 12.** Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) em nível foliar da limeira ácida ‘Tahiti’ [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre os porta-enxertos tangerineira ‘Sunki’ [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado – HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck), sob os tratamentos controle (C) e déficit hídrico (DH), medido às 5h e 13h. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo ( $n=3$ ). Linha indica a média entre os genótipos. \*indica que houve diferença significativa entre as médias das combinações copa-porta-enxerto pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O método de pressão utilizado neste estudo foi capaz de promover uma pressão máxima de 3,4 MPa, sendo observado na análise aos 50 dias de déficit hídrico que o  $\Psi_w$  das combinações 'Tahiti'-TSKMA e 'Tahiti'-LCRSTC, às 5h, foi inferior a -3,4MPa. Já às 13 h, apenas as combinações 'Tahiti'-TSKC x CTTR-002 e 'Tahiti'-Riverside apresentaram valores de -3,0 e -3,1 MPa, respectivamente, enquanto foram observados, em todas as combinações copa-porta-enxerto, valores inferiores a -3,4 MPa (Figura 12).

Em relação ao  $\Psi_s$  foi observado diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre combinações copa-porta-enxerto, na avaliação realizada aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, nos horários de 5 e 13h. Em ambos os horários foi detectada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-TSKMA e estas não se diferenciaram das demais combinações (Figura 13).

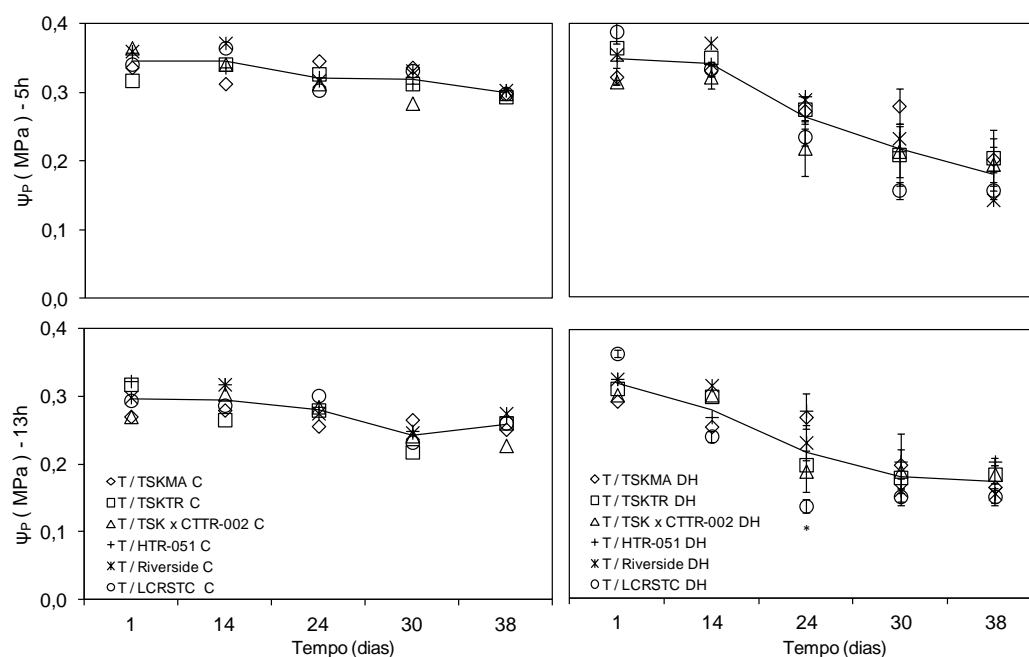


**Figura 13.** Potencial osmótico ( $\psi_s$ ) foliar da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre os porta-enxertos tangerineira 'Sunki [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck), sob os tratamentos controle (C) e déficit hídrico (DH), medido às 5h e 13h. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo ( $n=3$ ). Linha indica a média entre os genótipos. \*indica que houve diferença significativa entre as médias das combinações copa-porta-enxerto pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O  $\Psi_P$  foi significativamente ( $p \leq 0,05$ ) diferente entre as combinações copa-porta-enxerto na avaliação aos 24 dias, às 13h. Neste período a 'Tahiti'-LCRSTC



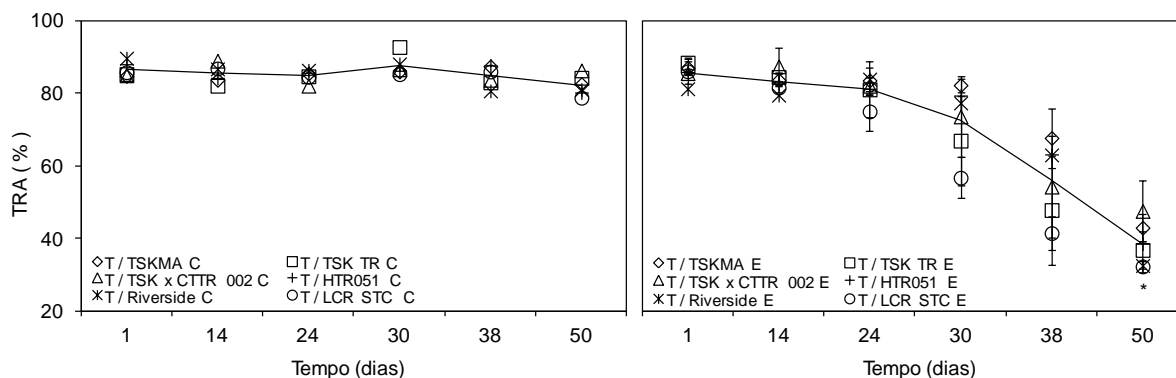
se relacionou a menor média de  $\Psi_P$ , diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) apenas das combinações 'Tahiti'-TSKMA e 'Tahiti'-HTR 051 (Figura 14). As determinações de  $\Psi_P$  não ocorreram aos 50 dias, pois foi observado que o estado de murcha das folhas, provocado pelo déficit hídrico, dificultou as determinações pelo equipamento Wiltmeter<sup>®</sup>.



**Figura 14.** Potencial turgor ( $\Psi_P$ ) em nível foliar da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre os porta-enxertos tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' C. sinensis (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, C. limonia Osbeck), sob os tratamentos controle (C) e déficit hídrico (DH), medido às 5h e 13h. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=3). Linha indica a média entre os genótipos. \*indica que houve diferença significativa entre as médias das combinações copa-porta-enxerto pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O TRA não diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre as combinações copa-porta-enxerto, quando submetidas ao tratamento controle (Figura 15). O déficit hídrico provocou uma redução média no TRA, de 86% para 37%, sendo detectada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre combinações copa-porta-enxerto apenas na avaliação realizada aos 50 dias (Figura 15). Neste período, a combinação 'Tahiti'-TSKC x CTTR-002 apresentou a maior média, com TRA de

48% sendo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) maior que a 'Tahiti'-LCRSTC e a 'Tahiti'-Riverside, os quais apresentaram valor médio de TRA de 32%.

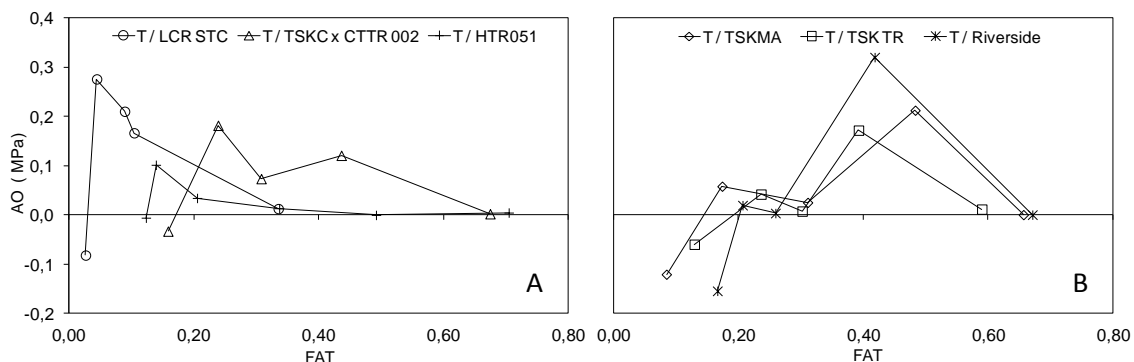


**Figura 15.** Teor relativo de água (TRA) em nível foliar da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre os porta-enxertos tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck), sob os tratamentos controle (C) e déficit hídrico (DH), medido às 5h. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=3). Linha indica a média entre os genótipos. \*indica que houve diferença significativa entre as médias das combinações copa-porta-enxerto pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O ajustamento osmótico (AO) ocorreu em folhas da limeira ácida 'Tahiti' sobre os seis porta-enxertos, quando as combinações foram submetidas ao déficit hídrico (Figura 16 A e B). A relação de AO com a FAT permitiu identificar dois grupos de combinações copa-porta-enxerto. Folhas de 'Tahiti', sobre os porta-enxertos LCRSTC, TSKC x CTTR-002 e HTR-051 acumularam solutos em nível foliar, mantendo o ajustamento para níveis baixos de FAT do substrato. O porta-enxerto LCRSTC relacionou-se ao maior valor de AO, quando a FAT foi de 0,05, enquanto o TSKC x CTTR-002 e HTR-051 relacionaram-se aos maiores valores de AO para FAT de 0,23 e 0,15, respectivamente (Figura 16 A).

Já para combinações de 'Tahiti' com os porta-enxertos TSKMA, TSKTR e 'Riverside' foram observados aumentos de AO para FAT na faixa de 0,4-0,5 e redução acentuada quando a FAT reduziu-se a valores entre 0,25 e 0,30 (Figura 16 B). O 'Riverside' relacionou-se ao maior valor de AO na ordem de 0,32 MPa. Na fase final do déficit hídrico, ocorreu uma redução nos valores de AO em todas

as combinações copa-porta-enxerto, indicando consumo de solutos com a ocorrência do déficit hídrico severo.



**Figura 16.** Ajustamento osmótico (AO) em relação a fração de água transpirável do substrato (FAT) da limeira ácida 'Tahiti' [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] enxertada em seis porta-enxertos de citros. A - e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051. B - tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR) e citrandarin 'Riverside' (*C. sunki* x *P. trifoliata*).

## DISCUSSÃO

### Fração de água transpirável (FAT) e murcha das plantas

O tempo precoce de murcha do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), na condição de pé-franco e com copa 'Tahiti', indica a maior capacidade deste genótipo em absorver água e reduzir a FAT do substrato mais rapidamente (Figura 5). Em razão disso, experimentos em condição de vaso, podem resultar em interpretações errôneas, em relação à tolerância de plantas ao déficit hídrico. Segundo relatos de Medina et al. (1998b), um sistema radicular com maior condutividade hidráulica, se confinado a um pequeno volume de substrato, pode desenvolver déficit hídrico mais rapidamente. Os resultados deste estudo, de maior precocidade na murcha do LCRSTC, seguido da tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), podem ser contrários em condição de campo, devido ao maior volume de solo utilizado pelo sistema radicular.

O porta-enxerto, tangerineira 'Sunki Maravilha' (TSKMA), pé-franco, que reduziu lentamente a FAT do substrato em relação ao tempo de déficit hídrico, só apresentou murcha 55 dias após o porta-enxerto LCRSTC, juntamente com os híbridos TSKC X CTTR-002 e HTR-051. Estudos relatam que LCRSTC possui

maior capacidade no uso da água sendo os principais motivos a alta condutividade hidráulica das raízes e menor efeito do ácido abscísico (ABA) no controle estomático (MEDINA et al., 1998a; NEVES et al., 2013), diferentemente do genótipo TSKMA, que possui características de maior controle estomático, sinalizado pelo ABA, como constatado por Neves et al. (2013).

Estudos reportam que a maior capacidade de uso de água, de uma combinação copa-porta-enxerto está relacionada à maior formação de área foliar (RODRÍGUES-GAMIR et al., 2010b), e a características do porta-enxerto, como número de vasos do xilema e maior condutividade hidráulica da raiz (MARTINEZ-ALCÁNTARA et al., 2013). É possível que, após a enxertia (experimento 2), o vigor no crescimento ou na taxa de absorção de água do sistema radicular do LCRSTC seja impactado e com o passar do tempo, o porta-enxerto volte a expressar maior capacidade de uso de água. Outro fato relevante é que dois anos após a enxertia (experimento 3), o confinamento de raízes no tubo de cultivo favoreceu a diferenciação entre os porta-enxertos quanto à habilidade no uso da água.

### **Crescimento de plantas**

O melhor desempenho em relação às variáveis de crescimento do ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC), na condição pé-franco, e o pequeno porte do HTR-051, também foram observados por Peixoto et al. (2006), que atribuíram o menor crescimento do HTR-051 a fatores genéticos, com folhas menores e trifoliadas, alcançando, no referido estudo, menor desenvolvimento comparado ao limoeiro ‘Cravo’ e ao híbrido TSKC x CTTR-002.

O maior crescimento da parte aérea, por parte do LCRSTC, não resultou em maior acúmulo de massa seca, sendo o porta-enxerto tangerineira ‘Sunki Maravilha’ (TSKMA) o que alcançou a maior média de massa seca da parte aérea (MSPA) e também de massa seca de raiz (MSR) (Tabela 7). A relação crescimento e acúmulo de massa seca pode indicar eficiência de um genótipo no uso de carbono para a formação de células e tecidos formadores de caules, folhas e raízes.

Em plantas enxertadas (experimento 2), embora tenha sido observada maior uniformidade no crescimento das plantas entre os genótipos, o LCRSTC determinou à copa maior média ( $p \leq 0,05$ ) de área foliar em relação ao HTR-051 (Tabela 8). Plantas de 'Tahiti', com o porta-enxerto HTR-051, apresentaram folhas com dimensões menores em relação aos demais porta-enxertos, o que resultou em uma menor área foliar (AF), já que em relação ao número de folhas, não apresentou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) em relação aos outros genótipos (Tabela 8). É possível que, em combinação com o 'Tahiti', a menor área foliar tenha sido o principal responsável pela menor redução da FAT, em relação ao tempo de déficit hídrico (Figura 6). A influência da massa foliar e consequentemente de sua área em relação à taxa de transpiração foram citados em estudos de Coelho Filho et al. (2004), Romero et al. (2006) e Rodrigues-Gamir et al. (2010a).

Quando não há interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os dois fatores estudados, porta-enxertos e tratamentos (controle e déficit hídrico), a taxa de redução do crescimento (TRC) e redução de massa (TRM), indicam melhor o efeito do déficit hídrico em cada variável analisada. A maior TRC relacionada às variáveis ALT, AF e NF, ocorreu em plantas na condição de pés-francos, comparadas àquelas combinadas com limeira ácida 'Tahiti'.

A tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), se relacionou a menor TRC, para as variáveis ALT, AF e NF, em condição pé-franco e enxertada, demonstrando características de tolerância ao déficit hídrico (Figura 8A e B). Ao passo que, a tangerineira 'Sunki Maravilha', condição pé-franco, apresentou maior TRM para variáveis MSPA e MSR, variando de 60% a 80%, superior à apresentada pelos demais porta-enxertos, demonstrando intolerância ao déficit hídrico, contudo, sob a copa de limeira ácida 'Tahiti', a TRM para as mesmas variáveis, variou de 40% a 60%, sendo ligeiramente superior as demais combinações copa-porta-enxerto (Figura 8C e D).

Muitos estudos reportam a grande contribuição de porta-enxertos em relação a tolerância ao déficit hídrico, quando enxertados a uma variedade copa (SYVERTSEN e LEVY 2005; PEDROSO et al., 2014). É possível que diferentes mecanismos sejam utilizados pelos diversos genótipos para suportar o déficit hídrico (KRAMER e BOYER, 1995) e reduções consideráveis no crescimento da

parte aérea podem ser indicativas de preservação do crescimento radicular, com maior mobilização de fotoassimilados para este órgão (PEDROSO et al., 2014).

### **Densidade de comprimento de raiz (DCR)**

A maior DCR na profundidade 0,15 m para a combinação 'Tahiti'-TSKTR, e a 0,45 m, para o 'Tahiti'-'Riverside', sob déficit hídrico, não representou maior consumo de água para esses porta-enxertos (Figura 6), indicando não haver relação direta entre DCR e consumo de água. É provável que para a 'Tahiti'-TSKTR isto seja a explicação para a menor redução no crescimento, fato não observado para 'Tahiti'-'Riverside'.

De acordo com Blum (2011), o fluxo de água entre solo e superfície de raiz é limitado em condição de déficit hídrico e um sistema radicular com elevado DCR reduz o impacto da resistência do solo ao fluxo de água, devido ao maior contato solo-raiz, pelo maior volume de solo explorado. Neste estudo, a tendência observada de maior redução da FAT, em relação ao tempo de déficit hídrico, para o porta-enxerto LCRSTC (Figuras 5, 6 e 7) provavelmente pode estar relacionada à maior condutividade hidráulica da raiz (MEDINA et al., 1998a), já que este porta-enxerto não apresentou elevada DCR, em relação aos demais genótipos (Figura 9 A, B e C).

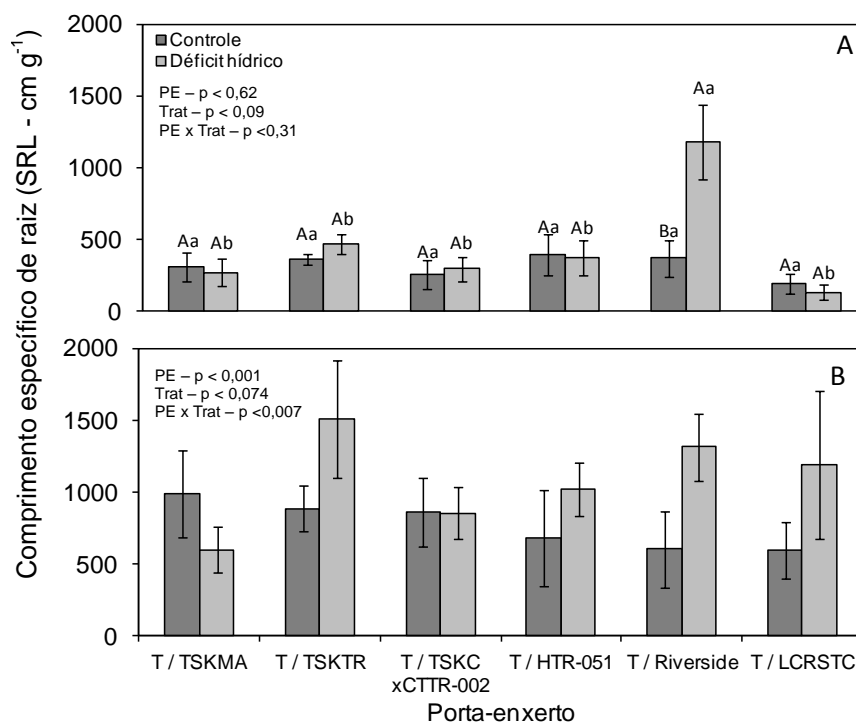
Embora, na profundidade de 0,75 m tenha sido observada para todos os porta-enxertos uma pequena densidade de raiz, em relação às camadas de solo mais superficiais, o porta-enxerto LCRSTC destacou-se com maior média de DCR independente do tratamento (Figura 9C), indicando ter maior capacidade de aprofundamento do sistema radicular. Em estudos com copa de laranja 'Valência' (*C. sinensis*), o limoeiro 'Cravo', por um período aproximado de 90 dias, apresentou um crescimento radicular de aproximadamente 0,70 m de comprimento, em estrutura de rizotron com dimensões de 1 m de altura e 0,25 m de diâmetro, alcançando um desenvolvimento 30% maior em relação ao *Poncirus trifoliata* (MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Em condição de campo, o maior aprofundamento do sistema radicular é uma característica desejável para melhor aproveitamento da água em profundidade, principalmente em épocas de

estiagem, quando a umidade do solo reduz-se consideravelmente nas camadas mais superficiais.

Outro aspecto a ser analisado, é a razão entre comprimento e massa seca de raiz ou o denominado comprimento específico de raiz (SRL). Um porta-enxerto com menor MSR pode apresentar um sistema radicular com SRL elevado, possuindo a capacidade de explorar um maior volume de solo por unidade de biomassa radicular (NAKHFOROOSH et al., 2014; OSTONEN et al., 2007). Estudos pioneiros, relacionados à caracterização do sistema radicular de citros, indicam que genótipos com alto SRL possuem potencial de transporte de água e nutrientes (SYVERTSEN e GRAHAM, 1985). Além disso, há constatações que maior SRL está relacionado com a característica de crescimento mais rápido de novas raízes (EISSENSTAT, 1992).

Ao avaliar os valores de SRL do sistema radicular das combinações copa-porta-enxerto, observou-se interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) na profundidade de 0,15 m, entre os fatores porta-enxerto e tratamento (Figura 17). A combinação 'Tahiti'-'Riverside', além de obter maior DCR (Figura 9A), aumentou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) a SRL quando submetida ao déficit hídrico e diferenciou-se significativamente ( $p \leq 0,05$ ) em relação às demais combinações (Figura 17A). Na profundidade de 0,45 m, onde também foi observado um comprimento considerável de raiz, não houve diferença significativa entre porta-enxerto e tratamento, embora tenham se destacado as combinações 'Tahiti'-TSKTR, 'Tahiti'-'Riverside' e 'Tahiti'-LCRSTC com as maiores médias quando submetidas ao déficit hídrico (Figura 17B).

A informação de SRL dos porta-enxertos pode ser parte da resposta relacionada à maior produtividade de frutos, de algumas combinações copa-porta-enxerto. Observou-se que o aumento do SRL foi estimulado com o déficit hídrico e apresentou diferenças não só entre os genótipos estudados, mas em um mesmo genótipo, variando em relação à profundidade do sistema radicular (Figura 17A e B).



**Figura 17.** Comprimento específico de raiz (SRL - cm g<sup>-1</sup>) na profundidade de 0,15 m (A), 0,45 m (B), em seis porta-enxertos (PE) de citros, tangerineira ‘Sunki [*C. sunki* (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha’ (TSKMA), tangerineira ‘Sunki Tropical’ (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina ‘Sunki’ comum) X CTTR [citrange ‘Troyer’ *C. sinensis* (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin ‘Riverside’ (*C. sunki* x *P. trifoliata*) e limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (LCRSTC, *C. limonia* Osbeck), enxertados em limeira ácida ‘Tahiti’ [T, *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], sob os tratamentos (Trat): controle e déficit hídrico. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=6). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamentos para um mesmo porta-enxerto, enquanto diferentes letras minúsculas representam diferenças estatísticas entre porta-enxerto dentro de um tratamento.

### Condutância estomática (g<sub>s</sub>)

O fechamento dos estômatos da folha, em condição de déficit hídrico, é uma forma de evitar a desidratação e possíveis efeitos deletérios, sendo desta maneira, uma forma de aclimação às condições adversas (BLUM, 2011; TARDIEU, 2010). Neste trabalho, observou-se que tanto em condição de pé-franco, quanto com a copa de limeira ácida ‘Tahiti’, g<sub>s</sub> reduziu-se consideravelmente (g<sub>s</sub> < 0,05 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) quando a fração de água transpirável do substrato foi menor que 0,12 (Figuras 10 e 11). De forma geral, este resultado indica que os genótipos de citros avaliados conseguem realizar minimamente trocas de vapor de água, mesmo quando a umidade do solo



encontra-se em valores muito limitantes, contudo, mesmo o controle estomático acentuado ( $g_s < 0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), ocorrendo apenas para uma FAT menor que 0,12, reduções no crescimento de plantas (Figura 8) foram observadas, sendo um mecanismo de resposta ao tratamento de déficit hídrico.

Comparando plantas sob déficit hídrico e controle, em condição de pé-franco, a tangerineira TSKMA apresentou menor  $g_s$  para a FAT maior que 0,5 (Figura 10). Este resultado explica a menor curva de redução da FAT em relação ao tempo de déficit hídrico por parte deste porta-enxerto (Figura 5). Segundo Neves et al. (2013), a característica de maior controle no fechamento dos estômatos da TSKMA foi relacionada à sinalização química do ABA, entre raiz e folhas, como já citado anteriormente neste trabalho. Diferentemente, o HTR-051 não apresentou controle estomático até a FAT de 0,3 - 0,2 (Figura 10), o que pode ser uma característica decorrente de um reduzido uso de água devido ao menor porte (Tabela 6 e 7).

Sob a copa 'Tahiti', não foi observada a tendência de menor  $g_s$  para o porta-enxerto TSKMA, quando a FAT foi maior que 0,5 (Figura 11). É possível que na interação entre 'Tahiti' e os seis porta-enxertos, o controle na abertura dos estômatos, observado para FAT entre 0,3 e 0,2, seja proveniente mais de uma ação hidráulica do que química (hormonal). Neste aspecto tornam-se necessárias mais investigações para comprovação da hipótese aqui enunciada. A combinação 'Tahiti'-LCRSTC apresentou manutenção da  $g_s$  até a FAT entre 0,3 e 0,2, o que é explicada pela maior capacidade de uso de água do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' (Figura 6 e 7).

Segundo BLUM (2011), as plantas possuem o mecanismo de prevenção à desidratação pela redução da transpiração (menor uso de água) e podem utilizar-se de outros meios sem reduzir a transpiração (maior uso de água). De acordo com o Blum (2009), genótipos que evitam a desidratação da folha, utilizando o mecanismo manutenção da transpiração e  $g_s$ , na maioria dos casos são mais produtivos devido ao uso eficaz da água. Para Tadiou (2012), a manutenção de  $g_s$  está associada à manutenção do crescimento foliar e, em condição de déficit hídrico apresentam vantagens e desvantagens, ou seja, uma maior capacidade de crescimento após o fim do déficit hídrico e ao mesmo tempo, um maior risco de estresse crônico em severas condições de déficit hídrico. Além disso, o referido

autor destaca que a manutenção de alta  $g_s$  tende a diminuir a temperatura da folha em até 8 °C, por meio da dissipação da energia incidente através de calor latente, portanto evitando o estresse térmico, sendo que o determinismo genético de crescimento da folha é parcialmente partilhado com o de processos envolvidos no crescimento reprodutivo.

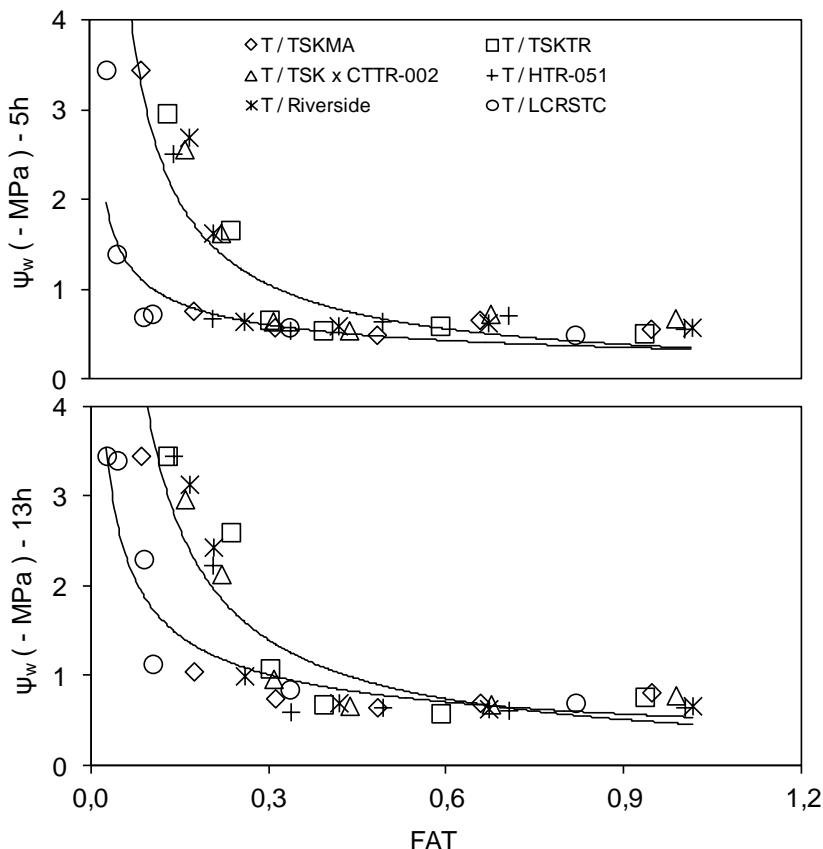
Outro aspecto a ser analisado, segundo Zwieniecki e Holbrook (2000) e Cochard et al. (2002), é que o objetivo do fechamento estomático é evitar a cavitação e uma catastrófica falha do sistema de condução de água, em vez de objetivar apenas a redução das perdas de água pela transpiração, visto que os estômatos podem responder diretamente ao aumento da tensão de água no xilema, fechando-se (NETTING, 2000). Neste aspecto de falha na condução de água (cavitação), assim como o fechamento estomático atua retardando a ocorrência do processo, a maior condutividade hidráulica da raiz contribui para evitar a cavitação. É bem provável que este último mecanismo seja utilizado pelo porta-enxerto LCRSTC, pois, segundo Syvertsen e Graham (1985), há uma boa correlação entre  $g_s$  e condutividade hidráulica da raiz.

### **Potenciais de água na folha e ajustamento osmótico (AO)**

A maior redução dos potenciais de água na folha ( $\psi_w$ ,  $\psi_s$  e  $\psi_p$ ) e TRA para a combinação 'Tahiti'- LCRSTC está associada à acentuada diminuição da FAT do substrato (Figuras 13, 13, 14 e 15). Especificamente em relação ao  $\psi_w$ , foi notável que diferenças entre a 'Tahiti'-LCRSTC e as demais combinações foram consideráveis para o horário das 13h (Figura 12), confirmando que a 'Tahiti'-LCRSTC possui alta capacidade de reidratação no período noturno, não se diferenciando significativamente ( $p \leq 0,05$ ) em relação às demais combinações copa-porta-enxerto, mesmo quando submetida a uma menor FAT do substrato. Medina et al. (1998), ao compararem o limoeiro 'Cravo' com *Poncirus trifoliata* sob copa de laranjeira 'Valência', também observaram uma redução mais rápida de  $\psi_w$  e TRA por parte do primeiro genótipo. Os referidos autores associaram o resultado à maior redução do potencial hídrico no substrato dos vasos.

Ao avaliar a relação entre FAT e  $\psi_w$ , observou-se que a combinação 'Tahiti'-LCRSTC apresentou um maior  $\psi_w$  (valores mais próximos de zero),

quando esta e as demais combinações são comparadas a um mesmo valor de FAT do substrato. Isto é evidenciado para valores de FAT do substrato menores que 0,3, nas determinações às 5h e 13h. (Figura 18).

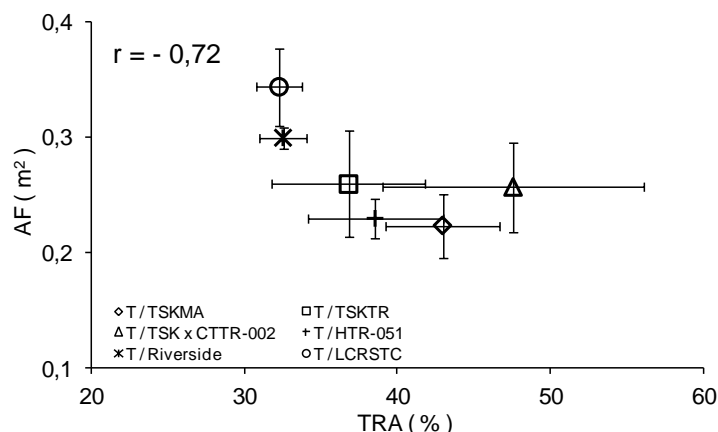


**Figura 18.** Potencial hídrico foliar ( $\psi_P$ ), medido às 5h e 13h, em função da fração de água transpirável do substrato de cultivo da limeira ácida 'Tahiti' sobre seis porta-enxertos de citros, tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, C. limonia Osbeck), submetidos ao tratamento de Déficit hídrico. Linha à direita representa o modelo para o porta-enxerto TSKTR ( $\psi_{w5h} = 0,3537 \times \text{FAT}^{-0,911}$ ) e ( $\psi_{w13h} = 0,4624 \times \text{FAT}^{-0,92}$ ) e linha à esquerda para o LCRSTC ( $\psi_{w5h} = 0,3386 \times \text{FAT}^{-0,486}$ ) e ( $\psi_{w5h} = 0,5402 \times \text{FAT}^{-0,519}$ ),  $p < 0,001$ .

A menor redução nos valores de potenciais de água na folha ( $\psi_w$ ,  $\psi_s$  e  $\psi_P$ ) e TRA, observada para a combinação 'Tahiti'-TSKMA até avaliação realizadas aos 38 dias, pode ser explicada, em parte, pela menor área foliar induzida à copa por parte deste porta-enxerto, em condição de déficit hídrico. Neste experimento, a 'Tahiti'-TSKMA relacionou-se a menor média de área foliar com 0,223 m<sup>2</sup>, juntamente com a 'Tahiti'-HTR-051 que apresentou 0,229 m<sup>2</sup>. É importante

destacar que, aos 50 dias, houve redução considerável nos valores de  $\psi_w$ , sendo observados -3,4 MPa nos dois horários de medição (5 e 13h).

É muito provável que o efeito do déficit hídrico nas plantas na fase final, aos 50 dias, seja fortemente influenciado pela área foliar, devido à estreita relação entre esta variável e a transpiração. Diferenças no TRA final foram observadas entre as combinações copa-porta-enxerto e também entre repetições dessas combinações, sendo atribuída à relação entre este parâmetro e a área foliar das combinações copa-porta-enxerto (Figura 19). Esta variação entre área foliar final, entre repetições, de uma combinação copa-porta-enxerto é entendida como uma variabilidade fenotípica, embora as condições experimentais iniciais fossem iguais para todas as plantas.

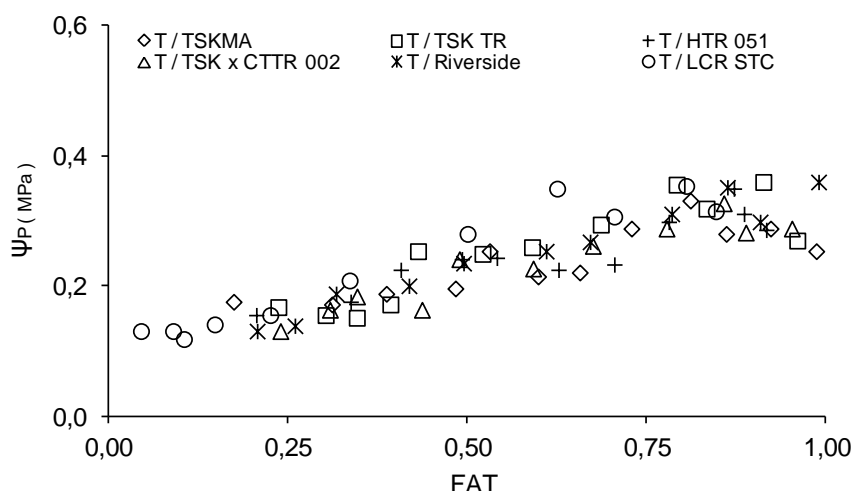


**Figura 19.** Relação de área foliar (AF) e teor relativo de água (TRA) de plantas submetidas ao déficit hídrico, medido aos 50 dias, em limeira ácida 'Tahiti' sobre seis porta-enxertos de citros, tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' C. sinensis (L.) Osbeck x *Poncirus trifoliata* (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, C. limonia Osbeck), barras indicam erro padrão da média (n=3).

Outro aspecto a ser analisado, no período de 24 a 38 dias de deficiência hídrica, é que a redução de  $\psi_P$  em folhas de 'Tahiti' sobre o porta-enxerto LCRSTC, ocorreu em menor proporção, em relação aos outros porta-enxertos, quando comparada às reduções de  $\psi_w$  e  $\psi_s$  (Figuras 12, 13 e 14). As implicações deste resultado serão discutidas, em seguida, no tópico de ajustamento osmótico.

A análise de regressão entre FAT e  $\psi_P$  foi significativa para todos os genótipos com valores de  $\psi_P$  variando de 0,36 a 0,12 MPa (Figura 20). Esta redução na turgescência foliar pode explicar o impacto do déficit hídrico no

crescimento, observado nos experimentos 1 e 2. Dentre os efeitos do déficit hídrico na parte aérea, a expansão foliar é o processo mais sensível à falta d'água (BLUM, 2011), e está relacionada, entre diversos fatores, à manutenção do turgor da folha (GARCIA-SANCHEZ e SYVERTSEN, 2006). É importante destacar que os dados apresentados na Figura 20, correspondem ao período de 38 dias de imposição do déficit hídrico e os menores valores de  $\psi_P$  da combinação 'Tahiti'/LCRSTC estão relacionados à reduzida FAT do substrato para esta combinação.



**Figura 20.** Potencial de turgor ( $\psi_P$ ), em função da fração de água transpirável do substrato de cultivo de seis porta-enxertos de citros, tangerineira 'Sunki [C. sunki (hayata) hort. ex Tanaka] Maravilha' (TSKMA), tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), híbridos TSKC (tangerina 'Sunki' comum) X CTTR [citrange 'Troyer' C. sinensis (L.) Osbeck x Poncirus trifoliata (L) Raf.] - 002 e trifoliado - HTR-051, citrandarin 'Riverside' (C. sunki x P. trifoliata) e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC, C. limonia Osbeck), sob copa de lima ácida 'Tahiti', medido às 13 h, na fase até 38 dias após o início do tratamento de déficit hídrico. T/TSKMA ( $\psi_P = 0,1349 + 0,1667 \times \text{FAT}$ ), T/TSKTR ( $\psi_P = 0,097 + 0,2663 \times \text{FAT}$ ), T/TSKC X CTTR 002 ( $\psi_P = 0,1066 + 0,203 \times \text{FAT}$ ), T/HTR 051 ( $\psi_P = 0,1294 + 0,1887 \times \text{FAT}$ ), T/Riverside ( $\psi_P = 0,1006 + 0,2392 \times \text{FAT}$ ), T/LCRSTC ( $\psi_P = 0,1006 + 0,3081 \times \text{FAT}$ ),  $p < 0,05$ .

O ajustamento osmótico (AO), observado nas combinações copa-porta-enxerto, por ocorrer em fases distintas do secamento do substrato, indica que os porta-enxertos determinaram mecanismos diferenciados no processo de osmorregulação da copa (Figura 16). O determinismo do porta-enxerto em relação ao ajustamento osmótico da copa em citros também foi relatado por Rodríguez-Gamir et al. (2010a).

Fazendo uma análise em relação ao tempo decorrido para a ocorrência de AO, houve um progressivo ajuste para as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-

TSKC x CTTR-002, com maior valor aos 38 dias e para a 'Tahiti'-HTR-051 aos 50 dias, quando a FAT do substrato foi de 0,05, 0,23 e 0,15 para as três combinações, respectivamente. Entretanto, para as combinações 'Tahiti'-TSKMA, 'Tahiti'-TSKTR e 'Tahiti'-'Riverside' observou-se um rápido ajustamento aos 24 dias de iniciado o déficit hídrico, quando FAT do substrato estava na faixa de 0,4 a 0,5.

O acúmulo líquido de solutos em condição de déficit hídrico, definido como ajustamento osmótico (AO), serve para manter a hidratação celular, a turgescência e o teor relativo de água (BLUM, 2011). Para este autor, o AO é considerado como um mecanismo para evitar a desidratação. A manutenção da turgescência, após os 24 dias de déficit hídrico, observada na combinação 'Tahiti'-LCRSTC pode ser atribuída ao AO desenvolvido nesta fase (Figura 14 e 16). Este porta-enxerto, quando combinado com copa de 'Valência', em condição de déficit hídrico aumentou os níveis de sacarose e amido em folhas fisiologicamente maduras (PEDROSO et al., 2014).

Além de manter a hidratação da planta, os efeitos positivos de AO, incluem também a proteção de enzimas a danos oxidativos e a estabilidade da membrana celular (DAMOUR et al., 2008; CONDE et al., 2011). As funções de proteção de AO podem depender dos solutos específicos, se estes são íons ou solutos orgânicos. Neste estudo, não foram averiguados os solutos que contribuíram para a osmorregulação em nível foliar.

Também foi observada redução de AO com a severidade do déficit hídrico, em todas as combinações copa-porta-enxerto, embora para diferentes valores de FAT do substrato (Figura 16). Na fase de déficit hídrico severo, os valores negativos de AO sugerem a ocorrência de um balanço negativo de carbono ocasionados pela menor produção de fotoassimilados e consumo continuado da respiração da planta (SMITH e STITT, 2007). Valores negativos de AO também foram observados por Rodríguez-Gamir et al. (2010a) aos 30 dias de deficiência hídrica, ao estudarem a interação de três porta-enxertos e copa de laranja 'Valência'. É importante destacar que a única combinação copa-porta-enxerto que não reduziu AO para valores negativos, aos 50 dias de déficit hídrico, foi a 'Tahiti'-HTR-051, sendo necessário um monitoramento adicional para determinar sua redução que só ocorreu aos 63 dias.

De acordo com Meltcafe et al. (2010), outra consequência do déficit hídrico é o aumento da respiração para manter a atividade metabólica e, em seguida, diminuir as reservas de carboidratos em órgãos de armazenamento. Aumentos na concentração foliar de carboidratos solúveis e reduções na concentração de amido são observadas sob déficit hídrico moderado, enquanto que reduções em ambas as frações ocorrem sob deficiência hídrica severa (CHAVES et al., 2009).

O maior AO observado na fase final do déficit hídrico nas combinações 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-TSKC x CTTR-002 e 'Tahiti'-HTR-051, indica um maior acúmulo de reservas, que possivelmente, favorecerão a recuperação da planta em condição de reidratação e, sob condição de déficit severo pode servir para retardar a morte da planta. Recentemente, Sevanto et al. (2014), ao estudarem mecanismos relacionados à morte de espécies arbóreas, encontraram elevada relação entre tempo de sobrevivência e acúmulo de amido em folhas e ramos. Segundo estes autores, a maior proporção de amido, em relação à quantidade de carboidratos totais, está relacionada com a quantidade de hidratos de carbono que árvores poderiam utilizar em épocas de seca.

Outro aspecto importante é o armazenamento de reservas no sistema radicular, que pode servir como fonte de sustentação da planta em períodos de déficit hídrico. Neste sentido, Pedroso et al. (2014) detectaram o mecanismo de armazenamento de carboidratos solúveis em raízes do limoeiro 'Cravo', sob copa de 'Valência', comparando plantas com e sem déficit hídrico. Em relação ao teor de amido, o déficit hídrico provocou uma pequena redução, comparado à observada na combinação entre Citrumelo 'Swingle' [*C. paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] e copa 'Valência'.

A osmorregulação mais precoce, ocorrida nas combinações 'Tahiti'-TSKMA, 'Tahiti'-TSKTR, e 'Tahiti'-'Riverside', pode ser um mecanismo apropriado para as condições de déficit hídrico moderado. O maior AO, observado na 'Tahiti'-'Riverside' (0,32 MPa), sugere uma grande capacidade no armazenamento de reservas para níveis moderados de déficit hídrico, podendo ser uma característica positiva relacionada a maior produtividade. Em Laranjeira 'Valência' foram observados valores de AO variando de -0,42 a 2,36 MPa (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2010a). Não se pode ainda afirmar, qual magnitude do AO que tenha efeitos positivos em relação à turgescência foliar e no processo de hidratação da folha. O

que parece, é que este aspecto é muito peculiar, tanto para as combinações copa-porta-enxerto, bem como para as condições experimentais estabelecidas.

## CONCLUSÕES

- A área foliar da limeira ácida 'Tahiti' foi influenciada pelo vigor do porta-enxerto, e diferenças contrastantes foram observadas entre os porta-enxertos, sendo menor no HTR-051 e maior no limoeiro 'Cravo'.

- O 'Riverside' e a 'Sunki Tropical', sob déficit hídrico, apresentaram a maior capacidade de aumentar a densidade de comprimento de raiz, a 0,15 m e a 0,45, respectivamente.

- A combinação 'Tahiti'-'Cravo Santa Cruz' apresentou maior crescimento de raiz, indicando maior capacidade de uso da água em maiores profundidades do solo.

- O porta-enxerto determinou à copa diferentes níveis de ajustamento osmótico em fases distintas de déficit hídrico no solo. Dependendo da fase de maior ajuste, pode ser um mecanismo de prevenção à deficiência hídrica moderada e/ou severa, no solo.

## REFERÊNCIAS

BLUM A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 56, p. 1159-1168, 2005.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, v. 112, p. 119-123, 2009.

BLUM, A. Crop Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production In: *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. BLUM, A. (Ed.). Springer, p. 11-45, New York, 2011.



CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995.

CALBO, A. G. A.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. *Hortscience*, v. 45, n.3, p.418-423, 2010.

CLAEYS, H.; INZÉ, D. The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. *Plant Physiology*, v. 162, p. 1768-1779, 2013.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, n. 103, p. 551–560, 2009.

COCHARD, H.; COLL, L.; LE ROUX, X.; AMÉGLIO, T. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure in walnut. *Plant Physiology*, v. 128, p. 282-290, 2002.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; ROJAS, J. S. D.; SOUZA, L. F.; CAMPECHE, M.; FOLEGATTI, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 12, n. 2, p. 265-274, 2004.

CONDE, A.; CHAVES, M. M.; GERÓS, H. Membrane Transport, Sensing and Signaling in Plant Adaptation to Environmental Stress. *Plant & Cell Physiology*, n. 52, v. 9, p. 1583-1602, 2011.

DAMOUR, G.; VANDAME, M.; URBAN, L. Long-term drought modifies the fundamental relationships between light exposure, leaf nitrogen content and photosynthetic capacity in leaves of the lychee tree (*Litchi chinensis*). *Journal of plant physiology*, n. 165, p. 1370–1378, 2008.

DUTRA, A. D. Estimação de área foliar e respostas fisiológicas de genótipos citros à deficiência hídrica. Cruz das Almas, BA, 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

EISSENSTAT, D.M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition*, v. 15, p. 763-782, 1992.

GARCIA-SANCHEZ, F.; SYVERTSEN, J.P. Salinity tolerance of Cleopatra mandarin and Carrizo citrange rootstock seedlings is affected by CO<sub>2</sub> enrichment during growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, n. 131, p. 24–31, 2006.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. *Water relations of plants and soils*. Academic Press, New York. 1995.

LAWLOR, DW. Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. *Journal of Experimental Botany*, n. 64, p. 83–108, 2013.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v.67, p.75-82, 2008.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M.R.; IGLESIAS, D.J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, v. 27, p. 629-638, 2013.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. & PINTOP, J.M. Fotossíntese de laranja 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, v. 57, p. 1-14, 1998a.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas de laranja 'Valência', enxertada sobre limoeiro "Cravo" e *Poncirus* "Trifoliata", submetida a deficiência hídrica. *Bragantia*, Campinas, v.57, p. 1-8, 1998b.

MELTCAFE, D.B.; LOBO-DO-VALE, R.; CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; DA COSTA, A.L.; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P.L.; ATHAYDES, J.; DA COSTA, M.; ALMEIDA, S.S.; CAMPBELL, C.; HURRY, V.; WILLIAMS, M.; MEIR, P. Impacts of experimentally imposed drought on leaf respiration and morphology in an Amazon rain forest. *Functional Ecology*, n. 24, p. 524–533, 2010.

NAKHFOROOSH, A.; GRAUSGRUBER, H. KAUL, H.P.; BODNER, G. Wheat root diversity and root functional characterization, *Plant Soil*, publicação eletrônica, DOI:10.1007/s11104-014-2082-0, 2014.

NETTING, A. G. Ph, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. *Journal of Experimental Botany*., v. 51, p. 147-158, 2000.

NEVES,D.M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B.S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. *Mol Biol Rep.*, publicação eletrônica, DOI: 10.1007/s11033-013-2634-z, 2013.

OSTONEN, I.; PUTTSEPP, U.; BIEL, C.; ALBERTON, O.; BRAKKER, M.R.; LOHMUS, K.; MAJDI, H.; METCALFE, D.; OLSTHOORN, , A.F.M.; PRONK, A.; VANGUELOVA, E.; WEIH, M.; BRUNNER, I. Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems*, v. 141, n. 3, p. 426-442, 2007.

PEDROSO, F.K.J.V.; PRUDENTE, D.A.; BUENO, A.C.R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R.V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. *Environmental and Experimental Botany*, v. 101, p. 26-35, 2014.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, p.439-443, 2006.

PÉREZ-PÉREZ, J.G.; SYVERTSEN, J.P.; BOTIA, P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized Carrizo citrange seedlings during drought stress and recovery. *Annals of Botany*, v. 100, p. 335-345, 2007.

RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER, J.B.; FORNER-GINER, M.A. Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, n. 126, p. 95–102, 2010a.

RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; INTRIGLIOLO, D.S.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*, v. 139, p. 159-169, 2010.

ROMERO, P.; NAVARRO, J.M.; PEREZ-PEREZ, J.; GARCIA-SANCHEZ, F.; GOMEZ-GOMEZ, A.; PORRAS, I.; MARTINEZ, V.; BOTIA, P. Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral. *Tree Physiology*, v. 26, p. 1537-1548, 2006.

SAVÉ, R.; PEÑUELAS, J.; MARFÁ, O.; SERRANO, L. Changes in leaf osmotic and elastic properties and canopy structure of strawberries under mild water stress. *Horticultural Science*, v. 28, p. 925-927, 1993.

SEVANTO, S.; MCDOWELL, N. G.; DICKMAN, L.T.; PANGLE, R.; POCKMAN, W.T. How do trees die? A test of the hydraulic failure and carbon starvation hypotheses, *Plant, Cell and Environment*, v. 37, p. 153-161, 2014.

SMITH, A.M.; STITT, M. Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant Cell Environ.* n. 30, p. 1126–1149, 2007.

SYVERTSEN, J.P.; GRAHAM, J.H. Hydraulic conductivity of roots, mineral nutrition, and leaf gas exchange of citrus rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 110, p. 865-869, 1985.

SYVERTSEN J.P.; LEVY, Y. Salinity interactions with other abiotic and biotic stresses in citrus. *Hort Technology*, n. 15, p. 100–103, 2005.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, A. C. M.; BRITO, K. S. A.; MELO, A. S. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.12, p. 1305-1313, 2012.

TARDIEU, F.; PARENT, B.; SIMONNEAU T. Control of leaf growth by abscisic acid: hydraulic or non-hydraulic processes? *Plant, Cell and Environment*, v. 33, p. 636-647, 2010.

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, V. 63, n. 1, p. 25-31, 2012.

VERSLUES, P.E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J.K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, n. 45, p. 523–539, 2006.

ZWIENIECKI, M. A.; HOLBROOK, N. M. Bordered pit structure and vessel wall surface properties. Implications for embolism repair. *Plant Physiology*, v. 123, p. 1015-1020, 2000.

## **CAPÍTULO 3**

### **INTERAÇÃO ENTRE A LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' E DIFERENTES PORTA- ENXERTOS EM CONDIÇÃO DE CAMPO SOB DÉFICIT HÍDRICO<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Scientia Horticulturae.

# INTERAÇÃO ENTRE A LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' E DIFERENTES PORTA-ENXERTOS EM CONDIÇÃO DE CAMPO SOB DÉFICIT HÍDRICO

Autor: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

**RESUMO:** A diversificação de porta-enxertos na citricultura brasileira é atualmente o grande desafio para garantir o crescimento do setor, com redução dos riscos causados por fatores bióticos e abióticos. Este trabalho objetivou avaliar, em condição de campo, combinações entre a copa de limeira ácida 'Tahiti' (T) e dez porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCR STC), tangerineiras 'Cleópatra' (CLEO), 'Sunki Tropical' (TSKTR), citrandarin 'Riverside', híbridos trifoliados (HTR- 069 e HTR-051), híbridos limoeiro 'Volkameriano' (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR) - 038, tangerineira 'Sunki' (TSKC) x citrumelo 'Swingle' (CTSW) - 033, limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCR EEL) x (CTSW) - 001 e CLEO x LCR. Oito meses após o plantio, as plantas foram submetidas aos tratamentos com irrigação e déficit hídrico, durante um ano, e avaliadas em relação à umidade do solo, variáveis de crescimento e fisiológicas, produção de frutos e densidade de comprimento de raiz (DCR). O déficit hídrico reduziu a altura e diâmetro de copa das plantas em pelo menos 25%. As combinações T-LVK x LCR-038 e T-LCRSTC apresentaram menores reduções de potencial de turgor ( $\psi_P$ ) e condutância estomática ( $g_s$ ) sob déficit hídrico, mesmo manifestando diferenças na extração de água. A maior DCR ( $p \leq 0,05$ ) foi relacionada às combinações T-LCRSTC e T-TSKTR, na camada superficial do solo, sob tratamento de déficit hídrico. Os porta-enxertos LCRSTC, 'Riverside', CLEO x LCR e LVK x LCR-038 determinaram início precoce de produção de frutos à variedade copa. Os resultados indicam que diferentes mecanismos que evitam o déficit hídrico são desenvolvidos de acordo com o porta-enxerto utilizado e que o rendimento na produção de frutos não está inteiramente associado às característica de tolerância a seca transmitidas à copa pelo porta-enxerto.

**Palavras-chave:** Citros, tolerância à seca, densidade de raiz.

# INTERACTION BETWEEN TAHITI LIME AND DIFFERENTS ROOTSTOCKS IN FIELD CONDITION UNDER WATER DEFICIT

Author: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Adviser: Maurício Antonio Coelho Filho

**ABSTRACT:** The use of different citrus rootstocks as a strategy to cope with biotic and abiotic factors remains a big challenge for Brazilian citrus industry. This study aimed to evaluate, under field conditions, the combinations between the 'Tahiti' lime (T) and ten rootstocks: 'Rangpur' lime Santa Cruz (RLSTC), 'Cleopatra' mandarin (CLEO), 'Sunki tropical' mandarin (SKT), 'Rivserdie' citrandarins, dwarf hybrids of *Poncirus trifoliata* (HTR-069 and 051), 'Volkamer' (VL) x Rangpur (RL) - 038, 'Sunki' common (SKC) x 'Swingle' citrumelo (CTSW) - 033, 'Rangpur' experimental station of Limeira (LCREEL) x 'Swingle' citrumelo (CTSW) - 001 and CLEO x Rangpur (CLEO x LCR). After eight months of the transplanting, the plants were subjected to two different soil water levels (full irrigation and rainfed) for one year. Variables of soil and plant were assessed during the experiment, such as: soil water content, growth parameters, physiological analysis, fruit production and root length density (DCR). The plant height and canopy diameter were reduced at least 25% by water stress effect. Lower reductions in turgor potential ( $\psi_P$ ) and stomatal conductance ( $g_s$ ) under water stress were observed to the combinations T-VL x RL-038 and T-RLSTC, even with the clear differences in water extraction among these plants. The higher DCR ( $p \leq 0,05$ ) was related to the combinations T-RLSTC and T-SKT in topsoil layer, under water deficit treatment. The rootstocks RLSTC, 'Rivserdie', CLEO VL x RL-038 were associated with early onset of fruit production. The results confirm that different mechanisms to avoid stress are developed according rootstocks used and that the productivity efficiency not be entirely associated with the tolerance trait transmitted the canopy by rootstock.

**Key words:** Citrus, drought tolerance, root density.



## INTRODUÇÃO

O cultivo da limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] tem se destacado no cenário citrícola mundial, sendo registrada uma produção superior a 15 milhões de toneladas por ano (FAO, 2014). O Brasil se destaca entre os cinco principais produtores, com pomares estabelecidos em pequenas áreas sob condição de sequeiro, com rendimentos em torno de 25,5 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2014), e grande espaçamento entre plantas com predominância do limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck) como o principal porta-enxerto (STUCHI et al., 2004; PRUDENTE et al., 2004).

Vários estudos têm destacado a necessidade de diversificação de porta-enxertos para aumentar a produção e qualidade de frutos, além da proteção contra estresses biótico e abiótico (STENZEL e NEVES, 2004; CANTUARIAS-AVILÉS, 2012). Acredita-se que para cada ecossistema de produção um porta-enxerto específico possa ser selecionado, e em sistema de sequeiro, a característica de tolerância ao déficit hídrico deve ser considerada.

O mecanismo de uso da água do porta-enxerto pode controlar positivamente o desempenho da copa na prevenção ao déficit hídrico. Plantas podem evitar o estresse pela redução da transpiração, com o fechamento parcial dos estômatos, diminuindo o crescimento da parte aérea e priorizando o crescimento do sistema radicular (TARDIEU, 2012). Este mecanismo, em citros, é muito dependente da interação da copa com o porta-enxerto, pois envolve comunicação hidráulica e hormonal, entre raiz e folhas (NEVES et al., 2013).

Em condição de campo, o déficit hídrico muitas vezes está associado ao estresse por calor, sendo observadas elevadas temperaturas e déficit de pressão de vapor do ar (DPV). A depender da duração do déficit hídrico, porta-enxertos com grande capacidade de extração de água, podem ser mais vantajosos à copa, devido à manutenção da transpiração, o que resulta em plantas com maior acúmulo de biomassa e capacidade de responder após o fim do déficit.

O uso de porta-enxertos que conferem um pequeno porte à copa também pode ser uma forma de retardar os efeitos do déficit hídrico, por meio da economia no uso da água, não impactando no mecanismo de fechamento estomático e redução da transpiração. Neste caso, os efeitos do calor são menos nocivos, pois uma mínima troca de vapor de água é mantida pela manutenção da abertura estomática. Diante da variabilidade genética relacionada aos mecanismos de prevenção ao déficit hídrico, este trabalho objetivou avaliar a interação entre a copa de limeira ácida 'Tahiti' e dez porta-enxertos, sob condição de irrigação e déficit hídrico, no tocante ao crescimento, relações hídricas e produção de frutos.

## METODOLOGIA

### Localização, material vegetal e condição de cultivo

O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA (Latitude: 12°40'39"S, Longitude; 39°06'23"W, Altitude; 225m), no período de maio de 2012 a abril de 2013, em pomar de limeira ácida 'Tahiti' (T) enxertada em dez porta-enxertos, fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Tabela 1).

**Tabela 1.** Relação de porta-enxertos de citros selecionados pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

---

1 – Limoeiro 'Cravo' ( <i>Citrus limonia</i> L. Osbeck) Santa Cruz' (LCRSTC)
2 – Tangerineira 'Cleópatra' ( <i>C. reshni</i> hort. ex Tanaka) (CLEO)
3 – Tangerineira 'Sunki' [ <i>C. sunki</i> (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical' (TSKTR)
4 – Citrandarin [ <i>C. sunki</i> x <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf. seleção 'English'] 'Riverside'
5 – Híbrido trifoliado-069 (HTR-069)
6 – Híbrido trifoliado-051 (HTR-051)
7 – Limoeiro 'Volkameriano' ( <i>C. volkameriana</i> V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR)-038
8 – Tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo [ <i>C. paradisi</i> Macf x <i>P. trifoliata</i> ] 'Swingle' (CTSW) - 033
9 – Limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCREEL) x CTSW-001
10 – CLEO x LCR

---

As avaliações ocorreram após oito meses do transplântio das mudas, que foi realizado no espaçamento de 1,0 m x 2,0 m. Na fase inicial, pós-plantio, foram realizadas podas de condução, permanecendo três a quatro ramos secundários, havendo eliminação de ramos laterais indesejados, na área de união entre a copa e o porta-enxerto. Procedeu-se a adubação complementar (cobertura) com 90 g de ureia e 30 g cloreto de potássio, dividida em três aplicações. O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo Distrocoeso com características de retenção de água e densidade de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** Retenção de água no solo realizada pela relação entre tensão e umidade gravimétrica (Ug), água disponível (AD) e densidade (Ds) de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Profundidade (m)	Tensão (kPa) x Ug (g g <sup>-1</sup> )					AD (g g <sup>-1</sup> )	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )
	10	33,3	100	300	1500		
0 - 0,10	0,153	0,146	0,139	0,128	0,121	0,032	1,59
0,10 - 0,20	0,158	0,153	0,150	0,145	0,126	0,032	1,55
0,20 - 0,30	0,138	0,134	0,129	0,119	0,116	0,022	1,62
0,30 - 0,40	0,143	0,137	0,134	0,127	0,123	0,020	1,66
0,40 - 0,50	0,153	0,148	0,144	0,137	0,132	0,021	1,60

### Manejo e sistema de irrigação

Foram avaliados dois tratamentos: o controle, com plantas irrigadas para manutenção da umidade do solo próxima à capacidade máxima de retenção de água ( $\Theta = 0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), e o tratamento de déficit hídrico, com plantas submetidas à condição sem irrigação (sequeiro).

O sistema de irrigação foi o de gotejamento, com uma linha lateral para cada fileira de planta. Os gotejadores de vazão  $3,5 \text{ L h}^{-1}$  foram espaçados a cada 0,50 m, formando uma faixa contínua de água no solo com percentual de área molhada (Pm) correspondente a 40%.

A irrigação das plantas, submetidas ao tratamento controle, foi baseada na demanda atmosférica, utilizando informações da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998). A partir dos coeficientes de cultivo (Kc) e percentagem de

área molhada ( $P_m$ ), a evapotranspiração da cultura para irrigação localizada ( $ET_{c_{LOC}}$ ) foi calculada (Equação 1). O  $K_c$  considerado foi de 0,7, devido ao espaçamento da cultura (ALLEN et al., 1998) e o  $P_m$  foi determinado de acordo com metodologia de Keller e Bliesner (1990) para linha lateral simples.

$$ET_{c_{LOC}} = \left[ ETP \times K_c \times \left( \frac{P_m}{100} \right) \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Foram instalados 12 tensiômetros, nas profundidades de 0,25 m e 0,50 m, posicionados a 0,5 m de distância do caule da planta para checagem da eficiência do manejo da irrigação do grupo de plantas do tratamento controle. A frequência de irrigação foi de 3 a 4 dias, de forma a manter o potencial matricial do solo superior a -30 kPa.

Medidas de umidade do solo foram determinadas com frequência mensal, com a utilização de sonda de FDR (Reflectometry Domain Frequency) em cada parcela experimental (porta-enxerto). A tubulação de acesso da sonda FDR foi instalada a 0,5 m de distância do caule, entre plantas do mesmo porta-enxerto (Figura 1). A umidade do solo foi analisada no perfil de 0 a 0,50 m de profundidade e foi correlacionada às variáveis fisiológicas de plantas.



**Figura 1.** A - Base niveladora para instalação do tubo de FDR (Reflectometry Domain Frequency). B - Introdução do tubo de FDR com comprimento de 0,50 m entre plantas de limeira ácida 'Tahiti' [*C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka].

### Variáveis de crescimento

O crescimento de plantas foi avaliado por meio de medidas de diâmetro do caule (DC) do porta-enxerto e da copa, a 5 cm do ponto de união da enxertia, para baixo e para cima, respectivamente, altura de planta (ALT) e diâmetro médio longitudinal e transversal da copa (DCP), os quais foram determinados no início e

no final do experimento. Após um ano de aplicação dos tratamentos, a taxa de redução de crescimento (TRC) foi determinada com a relação entre o crescimento das plantas do tratamento estressado e controle, de acordo com a Equação 2.

$$TRC (\%) = \left[ 1 - \left( \frac{Cf_E - Ci_E}{Cf_C - Ci_C} \right) \times 100 \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Sendo:

TRC – Taxa de redução do crescimento de plantas sob déficit hídrico (%)

Cf<sub>DH</sub> – Crescimento final de plantas sob tratamento de déficit hídrico

Ci<sub>DH</sub> – Crescimento inicial de plantas sob tratamento de déficit hídrico

Cf<sub>C</sub> – Crescimento final de plantas do tratamento controle

Ci<sub>C</sub> – Crescimento inicial de plantas do tratamento controle

t – Tempo de duração do experimento (dias)

### Variáveis fisiológicas e de produção

A condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ) em nível foliar foi avaliada mensalmente com porômetro de difusão, modelo AP4 (Delta-T Devices, Cambridge, Inglaterra). As medidas ocorreram às 10 h e foram realizadas em duas folhas maduras por planta, localizadas no terço médio de ramos secundários diferentes. No período seco, quando foi visível a diferença entre folhas murchas do tratamento de déficit hídrico e túrgidas do tratamento controle, medidas de  $g_s$  foram tomadas em quatro horários do dia, às 8 h, 10 h, 13 h e 16 h.

O potencial de turgor ( $\Psi_p$ ) das folhas foi determinado com o equipamento Wiltmeter<sup>®</sup>, desenvolvido pela Embrapa Instrumentação e estimado a partir de equação proposta por Calbo et al. (2010). Foram realizadas sete avaliações durante a evolução dos tratamentos com intervalo de 60 dias, aproximadamente, caracterizando o  $\Psi_p$  no período seco e úmido. As medidas ocorreram às 10 h, em duas folhas por planta, sendo adotado o mesmo posicionamento utilizado para as medidas de  $g_s$ . Para dar suporte à discussão do  $\Psi_p$ , o teor relativo de água da folha (TRA) foi determinado no período seco, às 10h, com uma amostragem de oito discos, em duas folhas, representando uma amostra por planta. O TRA foi calculado de acordo com equação utilizada por Rodríguez-Gamir et al. (2010).

### **Densidade de comprimento de raiz (DCR)**

Após um ano de aplicação dos tratamentos, o comprimento de raiz foi avaliado por meio da retirada de amostras (solo e raiz) com uso de cilindro de aço de 1,0 m de comprimento e diâmetro interno de 0,067m. A amostragem ocorreu nas profundidades de 0-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m, em relação ao nível do solo, e em duas posições, linha e entre linha de plantio, ambas a uma distância de 0,5 m do caule. As raízes foram separadas cuidadosamente para digitalização da imagem em escâner com resolução de 400 dpi. O processamento das imagens foi realizado com o software WinRizho, versão 2013d, para obtenção do comprimento de raiz, que dividido pelo volume da mostra de solo, encontra-se a DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ).

### **Produção de frutos**

Foi realizado o monitoramento da produção inicial de frutos (kg/planta) para observação de precocidade e capacidade produtiva de cada combinação copa-porta-enxerto. Duas colheitas foram realizadas quando as plantas apresentavam 18 a 20 meses de idade, após o plantio das mudas. Os frutos colhidos foram devidamente identificados e encaminhados ao laboratório de pós-colheita para determinação da pesagem.

### **Dados climáticos**

Dados de precipitação pluviométrica (P), temperatura do ar (Tar), umidade realtiva do ar (UR) e radiação solar (Rad) foram obtidos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA. O balanço hídrico de água no solo foi obtido de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955), de modo a definir os períodos seco e úmido. Considerou-se para cálculo de armazenamento de água no solo a profundidade até 1,0 m e os limites de retenção de água no solo. O déficit de pressão de vapor do ar (DPV) foi calculado de acordo com as equações 3, 4 e 5.

$$DPV = ea - es \quad (3)$$

$$ea = \frac{UR \times es}{100} \quad (4)$$

$$es = 0,6108 \frac{17,3t}{237,3+t} \quad (5)$$

Sendo:

DPV- déficit pressão de vapor (kPa)

ea - pressão atual de vapor (kPa)

es - pressão de vapor saturante (kPa)

UR - umidade relativa do ar (%)

t - temperatura (°C)

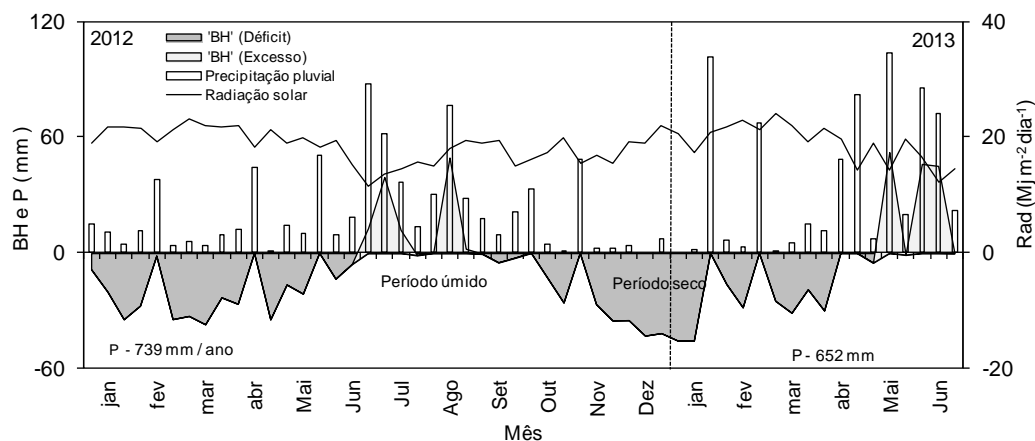
## **Análise estatística**

Os fatores estudados foram dez porta-enxertos e dois manejos hídricos, compondo um fatorial 10 x 2, resultando em 20 tratamentos. O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. A parcela experimental foi constituída por três plantas, sendo avaliada apenas a planta central para evitar a influência entre porta-enxertos. Para análise de densidade de comprimento de raiz (DCR), apenas duas plantas foram consideradas. Realizou-se análise de variância e teste de média por Tukey, a 5% de probabilidade. Quando necessário, os porta-enxertos foram comparados por teste de média, utilizando apenas um fator de variação, tratamento controle ou déficit hídrico. Para os dados de  $g_s$  foi realizada análise de regressão com os valores de umidade do solo.

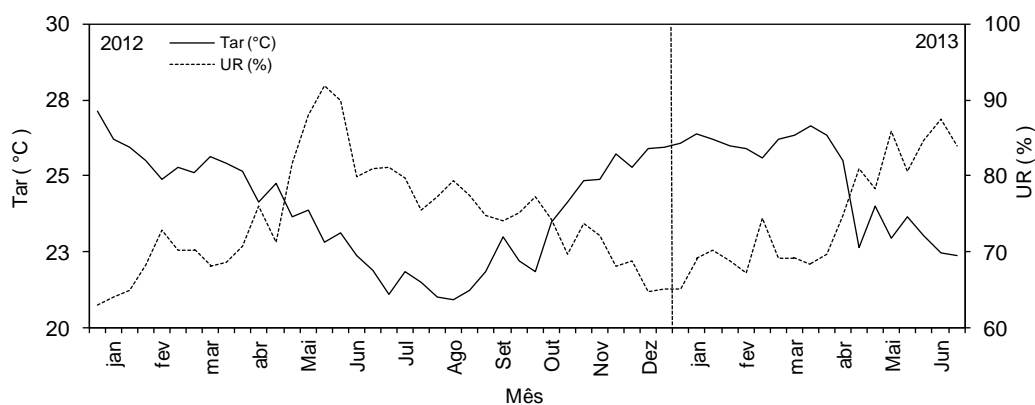
## **RESULTADOS**

### **Condição climática e crescimento de plantas**

Durante a realização do experimento, o período úmido ocorreu na fase inicial de aplicação dos tratamentos, nos os meses de junho a agosto de 2012, sendo observado balanço hídrico (BH) positivo, média diária de UR maior que 70% e temperatura menor 23°C (Figura 2 e 3). O período seco foi bem definido nos meses de novembro de 2012 a janeiro de 2013, com média diária de UR menor que 70%, temperatura maior que 25°C e BH negativo, este ocorrendo até o início do mês de abril de 2013 (Figura 2 e 3).



**Figura 2.** Balanço hídrico (BH), precipitação pluvial (P) e radiação solar (Rad) de diferentes meses dos anos de 2012 e de 2013, a partir de dados da estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.



**Figura 3.** Temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR), medidas em diferentes meses dos anos de 2012 e de 2013, obtidos na estação meteorológica da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) em todas as variáveis de crescimento, entre os tratamentos controle e déficit hídrico, e entre as combinações de copa-porta-enxerto, não sendo detectada interação significativa entre esses fatores (Tabela 3). A diferença entre o diâmetro do caule da copa e do porta-enxerto foi maior para plantas do tratamento controle, em relação ao déficit hídrico. Comparando as combinações copa-porta-enxerto, a 'Tahiti'-HTR-069 apresentou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) maior média, não se diferenciando estatisticamente apenas da 'Tahiti'-'Riverside', 'Tahiti'-LVK x LCR-038, 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 e 'Tahiti'-CLEO x LCR (Tabela 3).

Em relação à altura de plantas, o tratamento controle apresentou maior média em comparação com o tratamento de déficit hídrico, e as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-CLEO destacaram-se com maior altura, embora diferenciaram-se significativamente ( $p \leq 0,05$ ) apenas da 'Tahiti'-HTR-051, 'Tahiti'-



TSKC x CTSW-033 e da 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 (Tabela 3). Da mesma forma, o diâmetro da copa foi significativamente ( $p \leq 0,05$ ) reduzido com o tratamento de déficit hídrico, e as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-CLEO manifestaram maiores médias, diferenciando-se significativamente ( $p \leq 0,05$ ) da 'Tahiti'-HTR-069, 'Tahiti'-HTR-051, 'Tahiti'-LVK x LCR-038, 'Tahiti'-TSKC x CTSW-033 e 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 (Tabela 3).

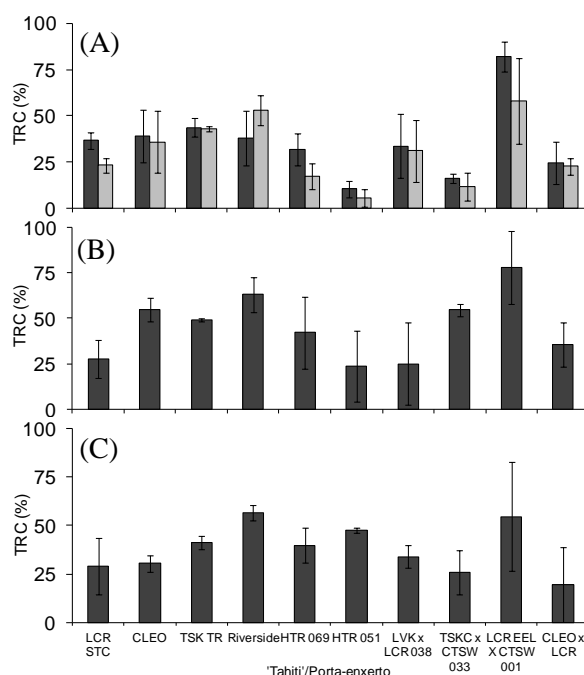
**Tabela 3.** Efeito estatístico e média da diferença de diâmetro do caule entre copa e porta-enxerto ( $\Delta DC$ ), altura de plantas (ALT) e diâmetro da copa (DCP) da limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre dez porta-enxertos: limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical' (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Riverside', híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR)-038, tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] 'Swingle' (CTSW) – 033, limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR.

Fator	$\Delta DC$ (cm)	ALT (cm)	DCP (cm)
Tratamento (A)	0,018	0,001	0,001
Porta-enxerto (B)	0,001	0,001	0,001
A x B	0,23 n.s	0,08 n.s	0,31 n.s
<b>Tratamento</b>			
Controle	0,61 a	1,90 a	1,91 a
Déficit hídrico	0,44 b	1,38 b	1,53 b
<b>Porta-enxerto</b>			
LCRSTC	0,41 b $\pm 0,16$	2,0 a $\pm 0,09$	2,18 a $\pm 0,12$
CLEO	0,38 b $\pm 0,10$	1,99 a $\pm 0,17$	2,20 a $\pm 0,13$
TSKTR	0,31 b $\pm 0,12$	1,79 a $\pm 0,14$	2,08 ab $\pm 0,16$
Riverside	0,58 ab $\pm 0,06$	1,79 a $\pm 0,26$	1,98 ab $\pm 0,19$
HTR 069	0,93 a $\pm 0,11$	1,56 ab $\pm 0,14$	1,58 bc $\pm 0,11$
HTR 051	0,35 b $\pm 0,10$	1,17 b $\pm 0,08$	1,30 c $\pm 0,09$
LVK x LCR 038	0,63 ab $\pm 0,10$	1,77 a $\pm 0,16$	1,59 bc $\pm 0,15$
TSKC x CTSW 033	0,31 b $\pm 0,09$	1,26 b $\pm 0,11$	1,27 c $\pm 0,09$
LCR EEL x CTSW001	0,80 ab $\pm 0,19$	1,21 b $\pm 0,23$	1,13 c $\pm 0,23$
CLEO x LCR	0,56 ab $\pm 0,06$	1,83 a $\pm 0,12$	1,92 ab $\pm 0,23$
DMS	0,51	0,50	0,55

<sup>1</sup>Média seguida pela mesma letra não difere estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade,  $\pm$ erro padrão da média (n=6) de cada tratamento (3x2) e diferença mínima significativa para o fator porta-enxerto (DMS).

O efeito do déficit hídrico determinou reduções consideráveis no crescimento de plantas. A redução do diâmetro do caule com o déficit hídrico

ocorreu tanto na posição 5 cm abaixo, como na 5 cm acima do local da enxertia. O menor percentual de redução do diâmetro do caule, independente do local medido, foi observado para a combinação ‘Tahiti’-HTR-051 e o maior ocorreu para a combinação ‘Tahiti’-LCREEL x CTSW-001 (Figura 4A). Em relação à altura de plantas, a combinação ‘Tahiti’-HTR-051, juntamente com a ‘Tahiti’-LVK x LCR-038 e ‘Tahiti’-LCRSTC, relacionaram-se as menores reduções com aproximadamente 25%, enquanto a ‘Tahiti’-LCREEL x CTSW-001 apresentou reduções consideráveis, da ordem de 78% (Figura 4B). Para o diâmetro da copa, as menores reduções foram da ordem de 25-30% para as combinações ‘Tahiti’-CLEO x LCR, ‘Tahiti’-TSKC x CTSW-033, ‘Tahiti’-LCRSTC e ‘Tahiti’-CLEO. Reduções de aproximadamente 55% foram observadas para as combinações ‘Tahiti’-‘Riverside’ e ‘Tahiti’-LCREEL x CTSW-001 (Figura 4C).



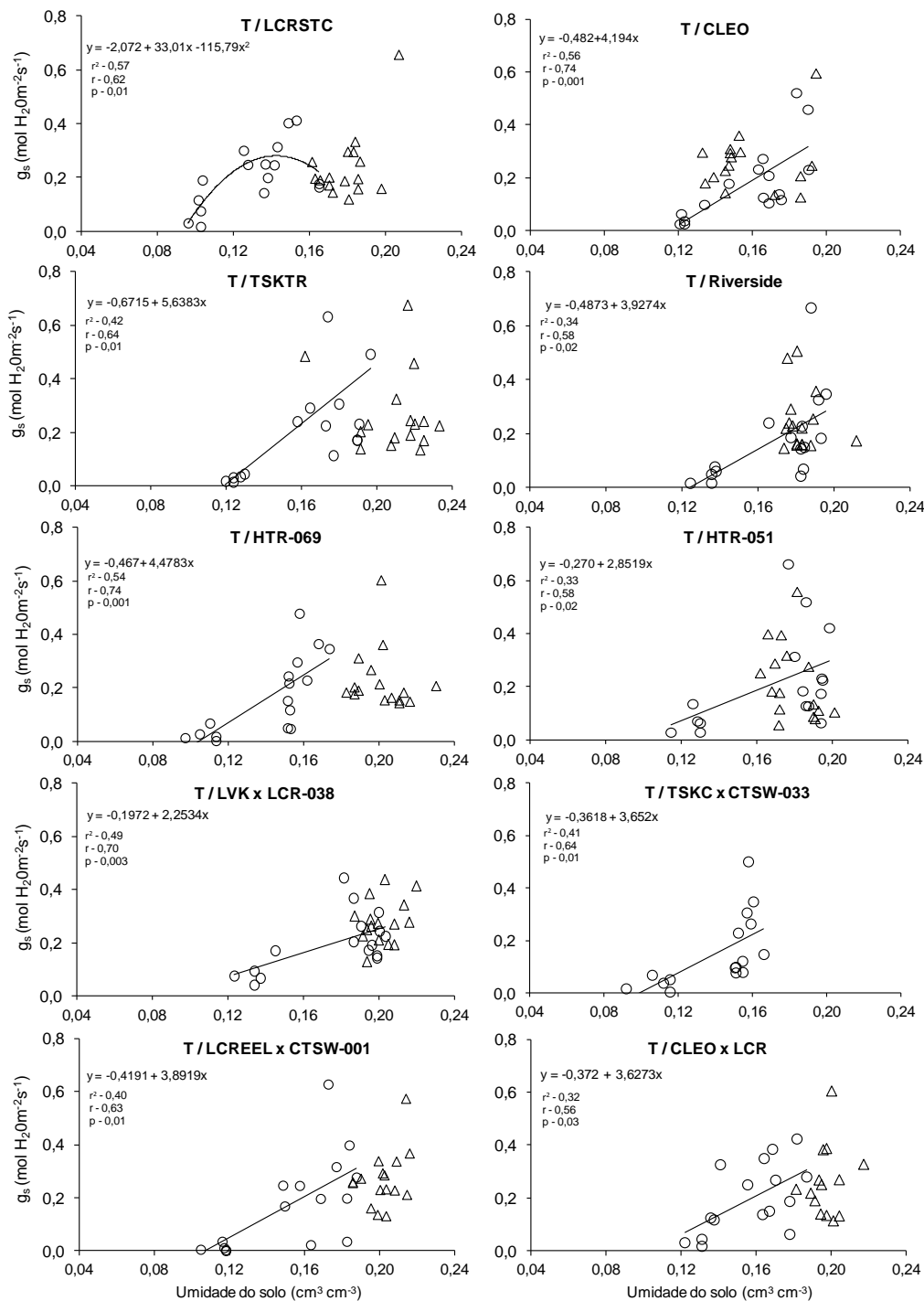
**Figura 4.** Taxa de redução do crescimento de plantas do tratamento de déficit hídrico em relação ao controle: (A) diâmetro do caule a 5 cm abaixo (preto) e 5 cm acima da enxertia (cinza), (B) altura de plantas, (C) diâmetro médio da copa longitudinal e transversal da lima ácida ‘Tahiti’, sob dez porta-enxertos: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC), tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical’ (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Riverside’, híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038, tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] ‘Swingle’ (CTSW) – 033, limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR. Barras indicam erro padrão da média (n=3).

## Variáveis fisiológicas

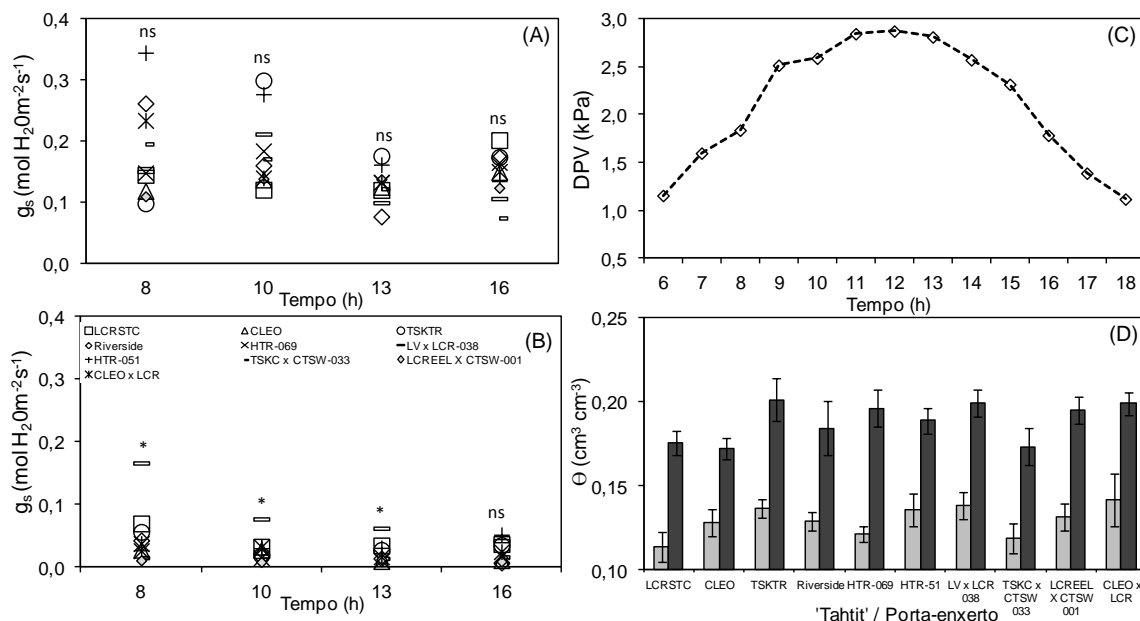
No período seco, as plantas do tratamento de déficit hídrico apresentaram folhas murchas, com reduções de  $g_s$  em relação às plantas do tratamento controle, devido a reduzida umidade do solo. A regressão entre  $g_s$  e umidade do solo do tratamento de déficit hídrico, em todas as combinações copa-porta-enxerto, foi significativa ( $p \leq 0,05$ ). Os modelos gerados apresentam baixo coeficiente de determinação ( $r^2$ ), contudo observou-se correlação entre as variáveis, com coeficiente ( $r$ ) variando de 0,56 a 0,74 (Figura 5).

Para todas as combinações copa-porta-enxerto foram observadas reduções de  $g_s$  para valores menores que  $0,04 \text{ molH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , com o decréscimo da umidade do solo para  $0,12 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 5). A combinação 'Tahiti'-LCRSTC apresentou os menores valores de  $g_s$ , quando a umidade reduziu-se para valores próximos de  $0,09 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 5). Valores reduzidos de umidade também foram observados para as combinações 'Tahiti'-HTR-069, 'Tahiti'-TSKC x CTSW-033 e 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001, contudo a redução de  $g_s$ , nesta faixa de umidade, foi mais acentuada, comparado à combinação 'Tahiti'-LCRSTC. A combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 apresentou valores mais elevados de  $g_s$ , contudo a umidade do solo reduziu-se até  $0,12 \text{ cm cm}^{-3}$  (Figura 5).

Em medições de  $g_s$ , em quatro horários do dia, foi observada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as combinações copa-porta-enxerto apenas para plantas do tratamento de déficit hídrico. Independente do tratamento aplicado, houve a tendência de redução de  $g_s$  no horário de 13 h (Figura 6 A e B). Em plantas estressadas,  $g_s$  da combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 foi significativamente ( $p \leq 0,05$ ) superior em relação a todas as combinações copa-porta-enxerto às 8h (Figura 6B). O híbrido 'Tahiti'-LVK x LCR-038 também determinou, significativamente ( $p \leq 0,05$ ), à copa de limeira ácida 'Tahiti', os maiores valores de  $g_s$  às 10 h, não se diferenciando apenas das combinações 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-HTR-051 e 'Tahiti'-CLEO x LCR (Figura 6B).



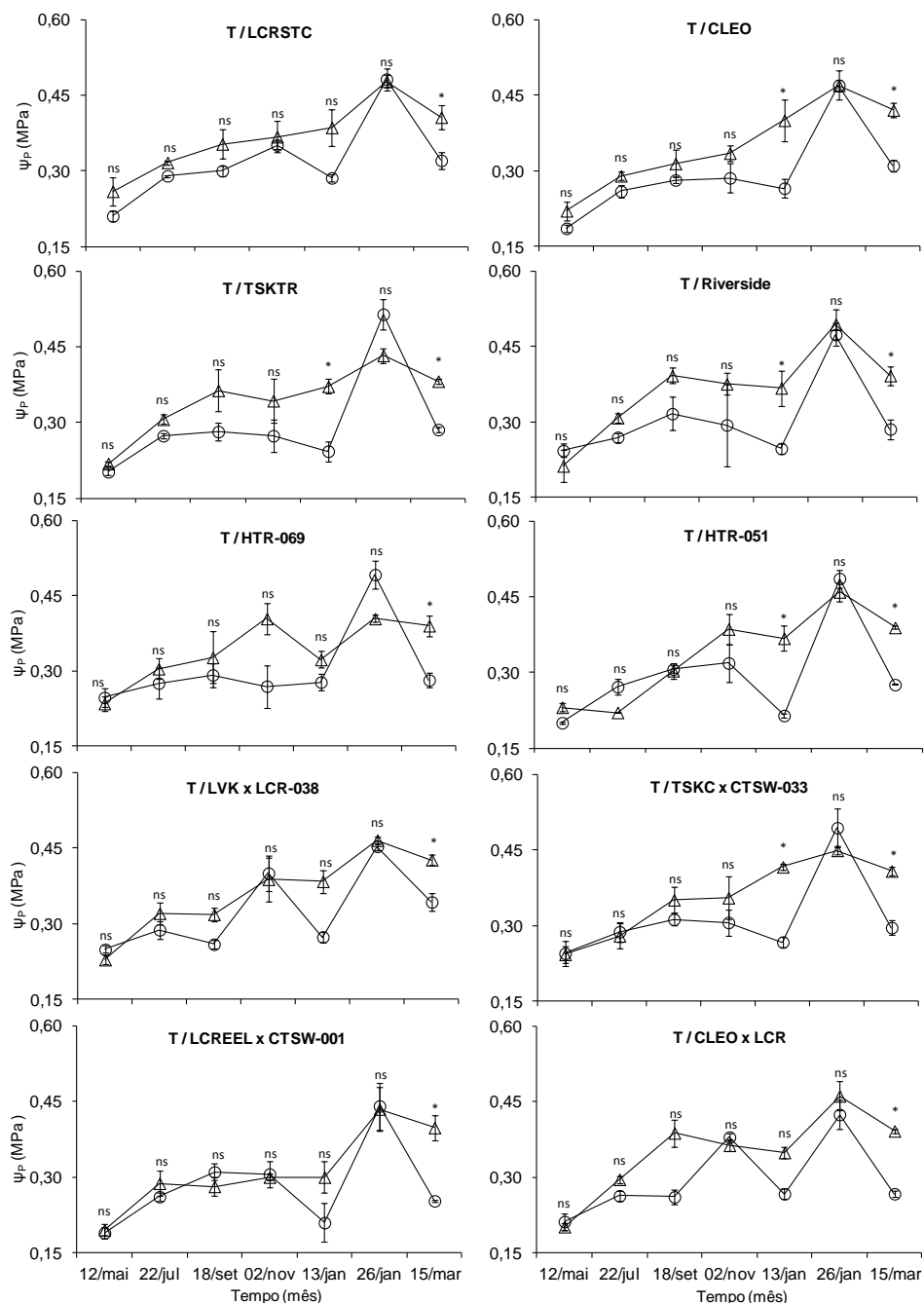
**Figura 5.** Condutância estomática ( $g_s$ ) da limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] (T) sob dez porta-enxertos: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC), tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical’ (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Riverside’, híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038, tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] ‘Swingle’ (CTSW) – 033, limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR sob os tratamentos controle (triângulo) e déficit hídrico (círculo) em função da umidade do solo dos respectivos tratamentos ( $n=3$ ), na profundidade de 0-0,30.



**Figura 6.** Condutância estomática ( $g_s$ ) em quatro horários do dia para plantas do tratamento controle (A) e déficit hídrico (B), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) durante o dia (C) e umidade do solo referente a profundidade de 0-0,50m do tratamento controle (preto) e déficit hídrico (cinza) (D), em pomar de limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre dez porta-enxertos: limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical' (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Riverside', híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR)-038, tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] 'Swingle' (CTSW) – 033, limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR. \*indica diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) e barras indicam erro padrão da média de cada genótipo ( $n=3$ ).

Quando o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) alcançou valores maiores que 2,5 kPa, às 13h, a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 apresentou maior média ( $p \leq 0,05$ ) não se diferenciando da 'Tahiti'-LCRSTC (Figura 6B e C). Já às 16 h,  $g_s$  reduziu para todas as combinações copa-porta-enxerto, não sendo detectadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre elas.

O potencial de turgor foliar ( $\psi_P$ ) de plantas do tratamento controle diferenciou-se significativamente ( $p \leq 0,05$ ) em relação às plantas do tratamento de déficit hídrico no período seco (Figura 7). Para a maioria das combinações copa-porta-enxerto, esta diferença foi mais acentuada na avaliação de 13 de janeiro de 2013.



**Figura 7.** Potencial turgor foliar ( $\psi_p$ ) da limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] (T) sob dez porta-enxertos de citros: limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical' (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Riverside', híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR)-038, tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] 'Swingle' (CTSW) – 033, limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR, submetidos ao tratamento controle (triângulo) e déficit hídrico (círculo) em função do tempo de aplicação dos tratamentos. \*indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Barras representam erro padrão da média ( $n=3$ ).

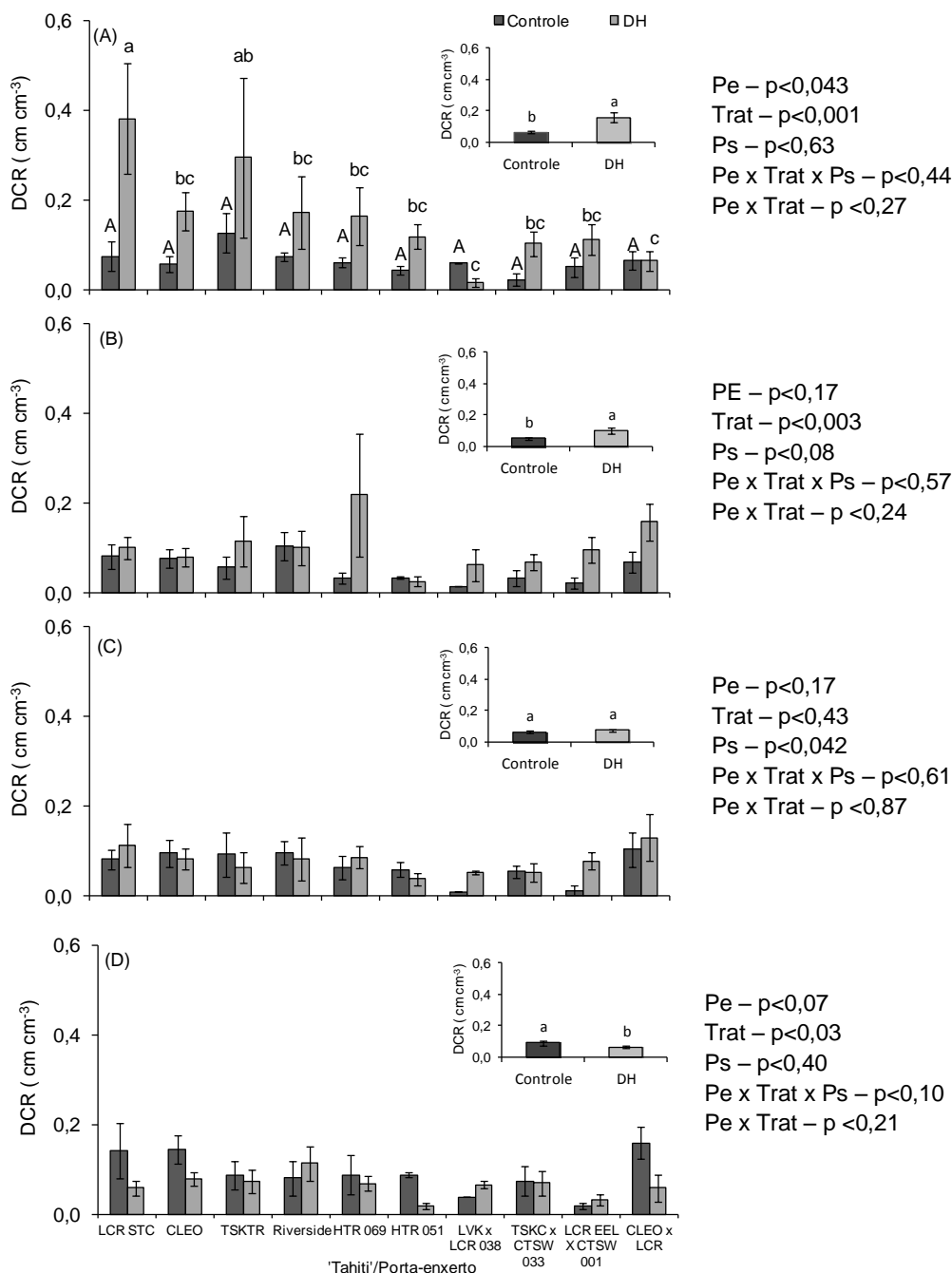
Com a precipitação de 101 mm, na segunda quinzena de janeiro, observou-se a recuperação do  $\psi_P$  para todas as combinações, na avaliação do dia 26 de janeiro de 2013 (Figura 2 e 7). Devido ao prolongamento do período seco até o início de abril de 2012, observou-se novamente redução do  $\psi_P$  para as plantas do tratamento déficit hídrico (Figura 2 e 7).

Em relação às combinações copa-porta-enxerto, menores reduções do  $\psi_P$  ocorreram para o 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-LVK x LCR-038, 'Tahiti'-CLEO x LCR, 'Tahiti'-HTR-069, 'Tahiti'-LCR EEL x CTSW-001, na avaliação do dia 13 de janeiro de 2013, não sendo observada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamentos. Contudo para as combinações 'Tahiti'-HTR-069 e 'Tahiti'-LCR EEL x CTSW-001, a menor redução do  $\psi_P$  pode estar associada aos valores baixos obtidos por parte de plantas do tratamento controle (Figura 7).

### **Densidade de comprimento de raiz (DCR)**

Foram observadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) na densidade de comprimento de raiz (DCR), entre as combinações copa-porta-enxerto, apenas na profundidade de 0-0,20 m. Diferenças de DCR entre os tratamentos controle e déficit hídrico foram detectadas significativamente ( $p \leq 0,05$ ) em todas as profundidades, com exceção para a camada de 0,4-0,6 m (Figura 9). Interações entre os fatores porta-enxerto, tratamento e posição de amostragem na linha e entre linha, não foram observadas de forma significativa ( $p \leq 0,05$ ).

No perfil de solo até 0,4 m de profundidade houve incremento de DCR com o déficit hídrico (Figura 9). Na camada de solo de 0-0,20 m, as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-TSKTR apresentaram maiores médias e os menores valores de DCR foram apresentados pelas combinações 'Tahiti'-LVK x LCR-038 e 'Tahiti'-CLEO x LCR. No perfil de solo de 0,6-0,8 m a maior DCR ocorreu para plantas do tratamento controle (Figura 9).

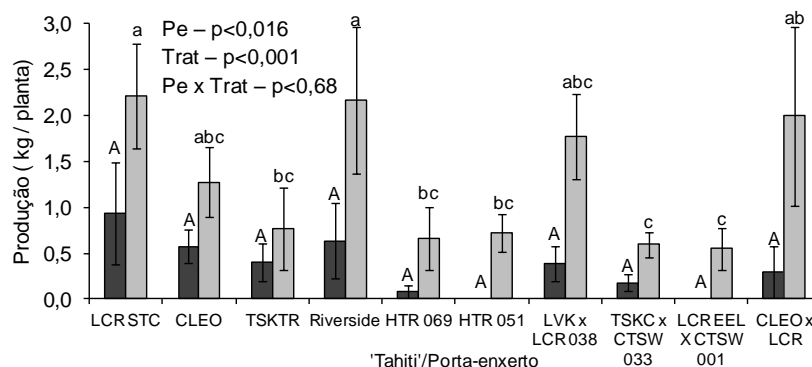


**Figura 9.** Densidade de comprimento de raiz (DCR) nas profundidades de 0-0,20 m (A); 0,20-0,40 m (B); 0,40-0,60 m (C) e 0,60-0,80 m (D), em dez porta-enxertos (Pe) de citros: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC), tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical’ (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Riverside’, híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038, tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] ‘Swingle’ (CTSW) – 033, limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR, sob copa ‘Tahiti’, nas posições (Ps) linha e entre linha. Barras indicam erro padrão da média (n=2x2). Letras maiúsculas comparam porta-enxertos no tratamento (Trat) controle e minúscula no tratamento de déficit hídrico (DH) (p≤0,05).



## Produção de frutos

A produção precoce de frutos ocorreu entre os 18 e 20 meses após o transplântio. Diferenças ( $p \leq 0,05$ ) entre as combinações copa-porta-enxerto e entre os tratamentos foram observadas (Figura 8). O tratamento de déficit hídrico induziu maior produção em relação ao tratamento controle e, neste tratamento, as combinações 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-'Riverside', 'Tahiti'-LVK x LCR-038 e 'Tahiti'-CLEO x LCR determinaram maior produção de frutos. As menores produções foram observadas para as combinações 'Tahiti'-LCR EEL x CTSW-001 e 'Tahiti'-TSKC x CTSW-033.



**Figura 8.** Produção de frutos (kg/planta) em pomar jovem de limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre dez porta-enxertos: limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical' (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção 'English'] 'Riverside', híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro 'Cravo' (LCR)-038, tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] 'Swingle' (CTSW) – 033, limoeiro 'Cravo Estação experimental de Limeira' (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR, submetidos ao tratamento controle (preto) e déficit hídrico (cinza). Letras maiúsculas comparam médias dos porta-enxertos submetidos ao tratamento controle e minúscula submetido ao tratamento de déficit hídrico ( $p \leq 0,05$ ). Barras representam o erro padrão da média de cada genótipo ( $n=3$ ).

## DISCUSSÃO

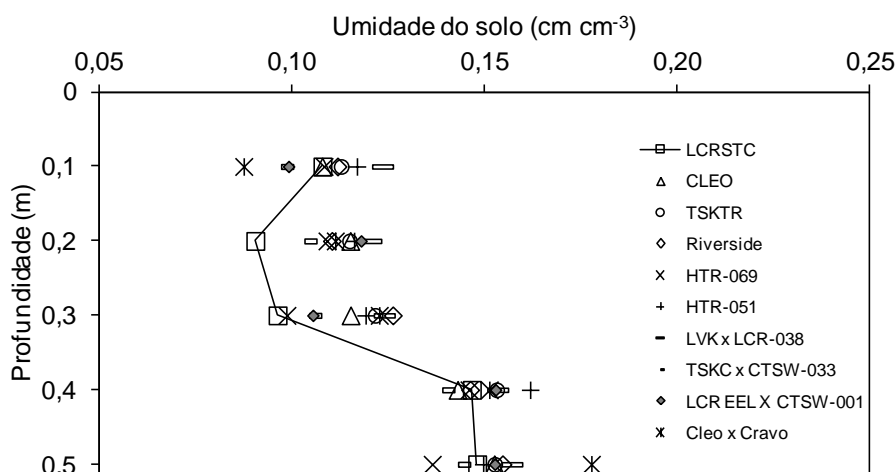
### Crescimento de plantas e condição climática

A redução do diâmetro do caule, altura e diâmetro da copa, observada para todas as combinações copa-porta-enxerto, quando submetidas ao tratamento estressado (Figura 4), é um mecanismo de prevenção ao déficit hídrico que busca

o equilíbrio entre crescimento e o uso de água (CLAEYS e INZÉ, 2013). O reduzido crescimento da parte aérea está associado ao menor acúmulo de biomassa em caules e folhas (SUASSUNA et al., 2012) uma vez que, em reação ao déficit hídrico, as plantas tendem a direcionar reservas para o sistema radicular, como constatado em citros (PEDROSO et al., 2014), priorizando a manutenção da absorção de água e nutrientes.

Neste estudo, durante os 12 meses de avaliação, o BH negativo, nos últimos sete meses foi determinante para reduzir o crescimento das plantas, mesmo ocorrendo precipitações no período (Figura 2). As diferenças de reduções para as variáveis de crescimento, entre as combinações copa-porta-enxerto, demonstram a variabilidade dos genótipos em relação às respostas ao déficit hídrico. É muito provável que o menor efeito do déficit hídrico para a combinação 'Tahiti'-HTR-051, em relação ao diâmetro do caule e altura da planta, e para a 'Tahiti'-LVK x LCR-038, em relação à altura (Figura 4), pode estar relacionado ao menor uso de água dos porta-enxertos envolvidos, os quais relacionaram-se a uma maior umidade do solo, no período seco, nas profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,40 m (Figura 10). Segundo Blum (2011) também é possível manter o crescimento, em condições hídricas limitantes, pela maximização do uso da água, fato que pode ter ocorrido com as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-CLEO x LCR, cujo solo onde foram cultivados apresentou maior redução da umidade nas profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m, e apresentaram redução de 25% na altura de plantas, enquanto a combinação 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 manifestou redução de 75% (Figuras 4 e 10).

Independente do efeito do déficit hídrico, outro aspecto relevante é que o porte da copa foi influenciado pelo porta-enxerto, com destaque para LCRSTC, CLEO, seguidos do TSKTR, 'Riverside' e CLEO x LCR, que proporcionaram maior altura e diâmetro da copa. Muitos são os fatores que podem determinar o maior ou menor crescimento da copa, em plantas enxertadas de citros, a exemplo das características do sistema radicular do porta-enxerto, que incluem a anatomia, arquitetura e condutividade hidráulica (MARTINEZ-ALCÁNTARA et al., 2013).



**Figura 10.** Média da umidade do solo, referente a oito dias do mês de janeiro de 2013, no perfil de 0 a 0,50 m de profundidade, para plantas do tratamento de déficit hídrico em pomar de laranja ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre dez porta-enxertos: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC), tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical’ (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Riverside’, híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038, tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] ‘Swingle’ (CTSW) – 033, limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR.

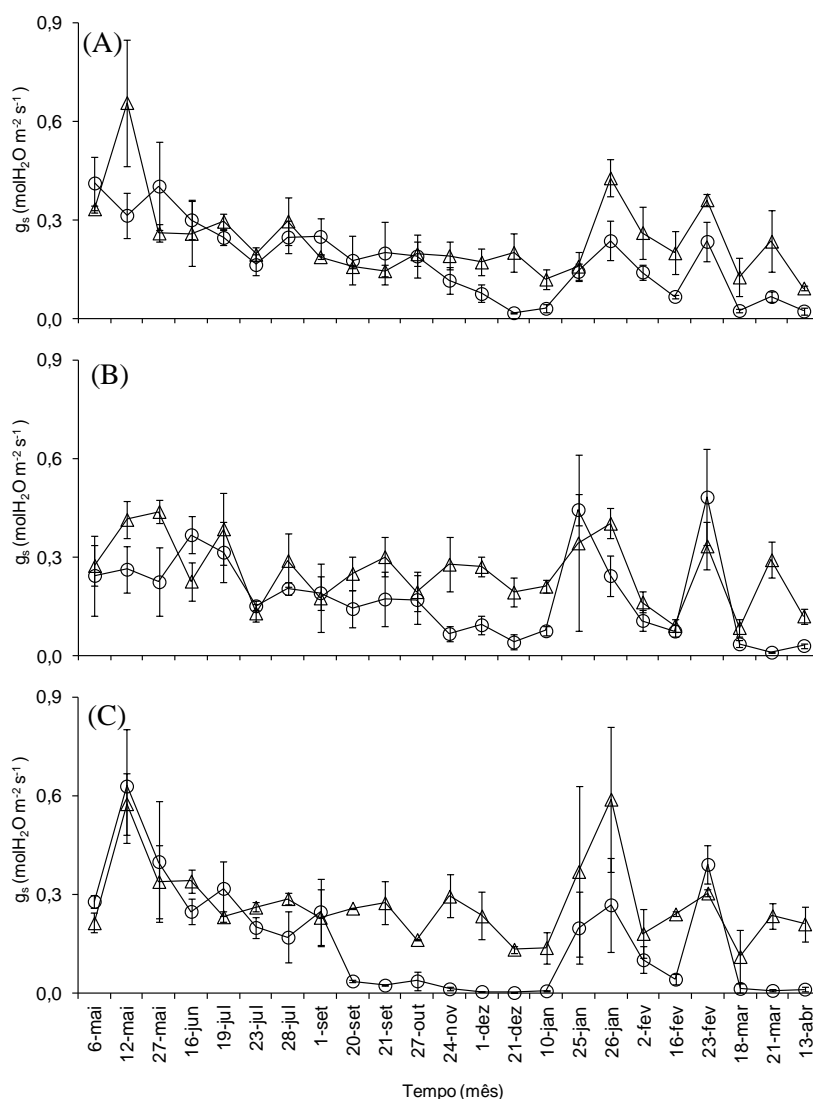
### Variáveis fisiológicas

A maior eficiência da combinação ‘Tahiti’-LCRSTC em manter valores de  $g_s$  mais elevados para uma faixa de menor umidade do solo, comparativamente às demais combinações copa-porta-enxerto, demonstra a capacidade de uso de água do LCRSTC (Figura 5). Segundo Tardieu (2012), a manutenção de  $g_s$  em condição hídrica limitante, favorece o crescimento da planta, embora haja o risco de estresse crônico com o esgotamento mais rápido da água do solo. Neste estudo, a manutenção de menor umidade de solo, a 0,20 m e 0,30 m de profundidade (Figura 10), não resultou em efeitos severos à variedade copa, e a manutenção de  $g_s$  pode estar associada à maior condutividade hidráulica do sistema radicular do porta-enxerto (MEDINA et al., 1998). Em laranja ‘Lane late’ (*C. sinensis*) sob o porta-enxerto citrange (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) ‘Carrizo’, Pérez-Pérez et al. (2008), associaram o pior desempenho, em relação ao crescimento e as trocas gasosas foliar, à maior redução da umidade do solo, que

potencializou os efeitos do déficit hídrico, comparado aos resultados observados com o porta-enxerto 'Cleópatra'. As diferentes respostas dos porta-enxertos, em relação à condição hídrica limitante, têm colocado o seguinte questionamento: qual o melhor mecanismo de prevenção ao déficit hídrico, maior ou menor uso da água pelo controle da transpiração? Segundo resultados deste estudo, o LCRSTC fuge à regra, pois mesmo em longo período de déficit hídrico, demonstrou característica de prevenção com maior eficácia no uso da água.

Uma análise dos efeitos causados pelo déficit hídrico também pode ser realizada em relação ao tempo, a exemplo de diversos estudos com citros (MEDINA et al., 1998; PEIXOTO et al., 2006; ROMERO et al., 2006; PÉREZ-PÉREZ et al., 2008; RODRIGUES-GAMIR, 2011), já que os porta-enxertos, em condições de campo, dificilmente encontram-se em uma mesma umidade do solo, devido a diferentes taxas de absorção de água. Além da combinação 'Tahiti'-LCRSTC, que demonstrou manutenção da  $g_s$ , mesmo em condição de baixa umidade, como mencionado anteriormente, a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 apresentou desempenho similar, embora com característica de uso de água diferente (Figura 11A e B). Já a combinação 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 apresentou o pior desempenho, relacionando-se a maiores reduções de  $g_s$  e de forma antecedente ao apresentado pelos outros genótipos (Figura 11C), o que explica o reduzido crescimento da parte aérea, observado nesta combinação.

No período seco, época em que o tratamento de déficit hídrico manifestou o maior efeito em relação às variáveis fisiológicas, a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038, apresentou maior capacidade de manter a  $g_s$ , mesmo quando o DPV às 13h foi superior a 2,5 kPa, considerado crítico para citros (KAUFMANN e LEVY, 1976; BRAKKE, 1995; SOUZA et al., 2004a). Nestas condições a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038, não se diferenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) apenas do 'Tahiti'LCRSTC (Figura 6). Esse menor impacto do déficit hídrico na  $g_s$  pode ser explicado pelo menor uso de água que a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 apresentou, diferentemente do 'Tahiti'LCRSTC.



**Figura 11.** Condutância estomática ( $g_s$ ) de limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] (T) sobre os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC) – (A), limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038 – (B), e limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 – (C), submetidos ao tratamento controle (triângulo) e déficit hídrico (círculo) em relação ao tempo. Barras indicam o erro padrão da média de cada genótipo ( $n=3$ ).

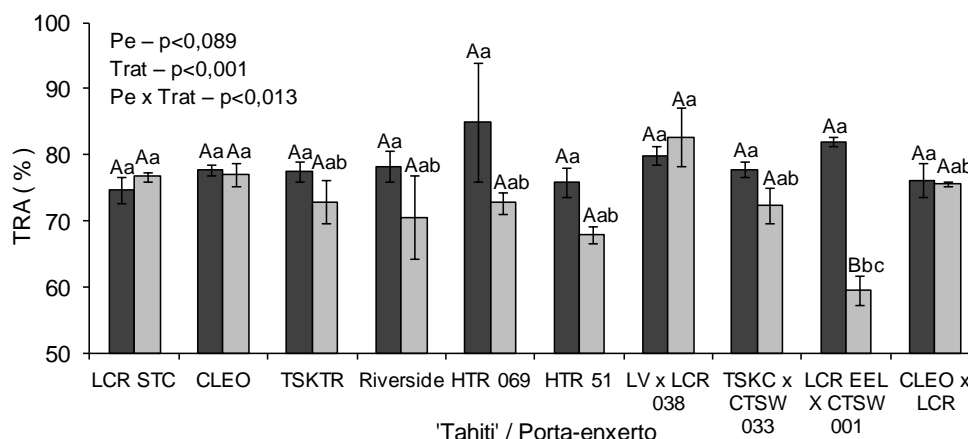
O menor  $\psi_P$  foliar observado em plantas do tratamento de déficit hídrico hídrico, principalmente no período seco, explica a redução no crescimento da parte aérea em todas as combinações copa-porta-enxerto. A redução de  $\psi_P$  dos tecidos foliares afeta diretamente alguns processos morfológicos, como a taxa de expansão de folhas e pode interferir em aspectos fisiológicos como a abertura estomática, conforme HSIAO et al. (1976). Segundo estes autores, variações

mínimas no turgor celular, na ordem de 0,2 a 0,3 MPa, podem ser um nível limiar e praticamente parar o crescimento de plantas.

É provável que o bom desempenho na manutenção de  $g_s$  do 'Tahiti'-LCRSTC e Tahiti'-LVK x LCR-038 esteja relacionado à capacidade de manter o  $\psi_P$  foliar com menores reduções, comparado às demais combinações copa-porta-enxerto. No período de maior déficit hídrico, na avaliação realizada em 13 de janeiro de 2013, estes genótipos não apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos controle e déficit hídrico (Figura 7). Nesta avaliação, a combinação Tahiti'-CLEO x LCR, Tahiti'-HTR-069 e Tahiti'-LCREEL x CTSW-001 também não expressaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos, embora para estas duas últimas combinações copa-porta-enxerto, a menor diferença entre os tratamentos pode ser atribuída à redução de  $\psi_P$  foliar para as plantas do tratamento controle.

Manter o  $\psi_P$  foliar acima dos limites críticos, de modo a possibilitar a abertura estomática, é um mecanismo que tem sido associado ao ajustamento osmótico celular, devido ao acúmulo de íons e carboidratos. Estudos pioneiros relatam este mecanismo em citros, com a laranjeira 'Valência' enxertada em limoeiro rugoso (*C. jambhiri* Lush.) (FERERES et al., 1979). Recentemente foi confirmado o efeito de diferentes porta-enxertos no ajustamento osmótico da copa de laranjeira 'Valência' (RODRIGUES-GAMIR, 2011), contudo, não existem relatos que associe o mecanismo de ajustamento osmótico ao porta-enxerto LCRSTC, bem como ao híbrido LVK x LCR-038.

Plantas que mantêm  $\psi_P$  foliar em níveis mais elevados apresentam maior teor relativo de água (TRA) na folha. Em uma avaliação de TRA, realizada no período seco, foi constatada interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores porta-enxerto e tratamento (Figura 12). Apesar de o efeito do tratamento ter ocorrido apenas para a combinação 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001, observou-se que variação de TRA, entre tratamentos, foi menos evidente para as combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-LVK x LCR-038, dando sustentação aos resultados de menor redução de  $\psi_P$  e  $g_s$  com o déficit hídrico (Figura 7 e 11). O efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) do porta-enxerto foi observado apenas para o grupo de plantas do tratamento de déficit hídrico, apresentando a combinação 'Tahiti'-LCREEL x CTSW-001, o menor valor (Figura 12).



**Figura 12.** Teor relativo de água da folha (TRA) de limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka] sobre dez porta-enxertos: limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* L. Osbeck) Santa Cruz’ (LCRSTC), tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. ex Tanaka) (CLEO) e ‘Sunki’ [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] Tropical’ (TSKTR), citrandarin [*C. sunki* x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. seleção ‘English’] ‘Riverside’, híbrido trifoliado HTR-069 e HTR-051, limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* V. Ten. & Pask.) (LVK) x limoeiro ‘Cravo’ (LCR)-038, tangerineira ‘Sunki’ comum (TSKC) x citrumelo [*C. paradisi* Macf x *P. trifoliata*] ‘Swingle’ (CTSW) – 033, limoeiro ‘Cravo Estação experimental de Limeira’ (LCREEL) x CTSW-001 e CLEO x LCR, determinado no mês de novembro de 2012, em plantas do tratamento controle (preto) e déficit hídrico (cinza). Letras maiúsculas comparam tratamentos para um mesmo porta-enxertos e minúscula comparam porta-enxerto em um mesmo nível de tratamento ( $p \leq 0,05$ ). Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo.

### Densidade de comprimento de raiz (DCR)

A DCR aumentou com o déficit hídrico no perfil de solo de 0–0,40m de profundidade, de forma mais expressiva nos primeiros 0,20 m de profundidade, indicando que em condições hídricas limitantes há uma maior mobilização de reservas para o crescimento radicular (Figuras 9A, B, C e D), em detrimento da redução de crescimento da parte aérea, como observado neste estudo (Figura 4). Segundo Blum (2005), o aumento de DCR é um mecanismo utilizado por plantas como prevenção ao déficit hídrico, contudo este aumento de comprimento radicular não, necessariamente, é acompanhado por aumento de massa.

As combinações ‘Tahiti’-LCRSTC e ‘Tahiti’-TSKTR foram as que apresentaram maior DCR com o déficit hídrico, na camada mais superficial do solo. Este resultado explica os menores valores de umidade do solo até a profundidade de 0,3 m, quando cultivado com a combinação ‘Tahiti’-LCRSTC (Figura 10), contudo esta relação não pode ser feita com ‘Tahiti’-TSKTR. Para

Valdez (2014) o crescimento das raízes não necessariamente reflete a maior extração água, pois além de sua presença, raízes dependem das características hidráulicas adequadas para permitir a captação de água.

A maior DCR da combinação 'Tahiti'-LCRSTC, pode está associada a maior condutividade hidráulica de raiz, conforme constatações de Medina et al. (1998) para limoeiro 'Cravo', resultando em maior capacidade de absorção de água, minimizando o impacto do déficit hídrico sobre  $g_s$  e  $\psi_P$ . Além disso, há constatações que a tolerância do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' (LCR), em condição de déficit hídrico, pode ser explicada também, pela sua maior capacidade de crescimento de raízes em profundidade (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

As combinações 'Tahiti'-CLEO, 'Tahiti'-'Riverside' e 'Tahiti'-HTR-069 relacionaram a valores de DCR intermediários na primeira camada de solo, quando submetidas ao tratamento de déficit hídrico, embora não tenha se diferenciado das demais combinações copa-porta-enxerto (Figura 9A). Já a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 reduziu a DCR na profundidade de 0-0,20 m quando submetida ao déficit hídrico, justificando maior umidade do solo nesta profundidade (Figura 9A e 10). Este porta-enxerto aumentou a DCR com o déficit hídrico entre as profundidades de 0,20-0,80m, contudo, não foi superior aos demais genótipos para justificar o seu bom desempenho em relação às variáveis fisiológicas ( $g_s$  e  $\psi_P$ ), no período de maior déficit hídrico, a partir do crescimento radicular. Este resultado demonstra que as características de prevenção ao déficit hídrico, apresentadas por 'Tahiti'-LVK x LCR-038, estão fortemente ligadas à sua economia no uso da água.

Outro aspecto relevante é que a DCR não apresentou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos na profundidade de 0,40-0,60 m e foi superior para o tratamento controle na profundidade de 0,60-0,80m. Nesta última camada de solo, embora não foi observada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os genótipos, a 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-CLEO e 'Tahiti'-CLEO x LCR destacaram-se pela maior DCR no grupo de plantas do tratamento controle e 'Tahiti'-'Riverside' no grupo de plantas do tratamento de déficit hídrico (Figura 9D).

O efeito de redução de DCR, em plantas do tratamento de déficit hídrico, nas profundidades maiores, pode ser explicado pela maior resistência do solo à



penetração de raízes, pois esta característica é potencializada com o secamento do solo e a presença da camada coesa, em Latossolos, nas profundidades de 0,3-0,5 m (SANTANA et al., 2006; SOUZA et al., 2004b), o que provavelmente foi minimizado no tratamento controle devido à irrigação das plantas.

Blum (2011) enumerou três importantes características das raízes que determinam a maior absorção de água e, portanto, agem como prevenção ao déficit hídrico: profundidade máxima de raízes, capacidade de penetração e capacidade de extração de água. Basicamente, o comprimento máximo da raiz é uma característica do genótipo, embora dependente da interação com o ambiente. Em solos com camada adensada, como verificado nos Latossolos dos Tabuleiros Costeiros (SOUZA et al., 2008), a capacidade de penetração é importante e define o aprofundamento radicular. Segundo Blum (2011), a base fisiológica para capacidade de penetração ainda não é clara, embora hajam indícios de que o turgor e a espessura de raízes, além de hormônios, contribuem para esta característica. Já a capacidade de extração está diretamente relacionada à anatomia radicular e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica (RIEGER e LITIVIN, 1999; HUANG e EISSENSTAT, 2000).

Muitos estudos apontam a alta DCR e o aprofundamento de raiz como características positivas de aclimação à seca e a variabilidade para esta característica representa uma fonte de progresso genético (DE DORLODOT et al., 2007) que pode ser mais explorada na citricultura. Considerando os resultados obtidos neste estudo, DCR não explica por si só o desempenho das combinações copa-porta-enxerto, já que porta-enxertos com características de DCR diferentes apresentam resultados semelhantes, a exemplo do que se verificou nas combinações 'Tahiti'-LCRSTC, 'Tahiti'-'Riverside', 'Tahiti'-LVK x LCR-038 e 'Tahiti'-CLEO x LCR, em relação à produção de frutos. Desta forma, além da DCR, as características de distribuição espacial devem ser consideradas (TARDIEU et al., 1992; MANSCHADI et al., 2006, 2008), assim como as propriedades hidráulicas do sistema radicular, que interferem fortemente na capacidade de absorção de água, sobretudo em condição de déficit hídrico (VALDEZ, 2014).

## Produção de frutos

Os resultados de produção de frutos, apesar de serem provenientes de colheitas precoces, realizadas entre 18 e 20 meses, após o plantio das mudas, já fornece um parâmetro de diferenciação entre as combinações copa-porta-enxerto, em relação ao fator produção. Mesmo o déficit hídrico provocando redução no crescimento das plantas, nos valores de  $g_s$  e  $\psi_P$  foliar, a produção de frutos foi significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) para as plantas do tratamento de déficit hídrico.

Independente da combinação com o porta-enxerto, este resultado demonstra a capacidade de produção da limeira ácida 'Tahiti' em condições hídricas limitantes. Aspectos considerados positivos do déficit hídrico podem justificar o melhor rendimento de produção para plantas do tratamento estressado. O aumento da floração em limoeiro, após déficit hídrico no verão, seguido da ocorrência de precipitação ou irrigação, foi constatado por Barbera e Carmi (1988). Segundo estes autores, árvores de limoeiro respondem bem a indução de floração, quando submetidas a um potencial hídrico de -2,7 MPa. De acordo a Southwick e Davenport (1986), a limeira ácida 'Tahiti' respondeu melhor a indução de floração, quando submetidas ao déficit hídrico severo, com potencial hídrico ao meio dia de -3,5 MPa, comparado ao moderado com potencial de -2,25 MPa.

A produção de frutos das combinações 'Tahiti'-LCRSTC e 'Tahiti'-LVK x LCR-038 pode ser justificada pelo bom desempenho que apresentaram em relação às variáveis fisiológicas. Embora não se tenha se destacado em relação às variáveis de crescimento e fisiológicas, apresentando características de prevenção ao déficit hídrico, a combinação 'Tahiti'-'Riverside' também apresentou elevada média de produção de frutos, sugerindo que outros fatores foram relevantes para a produção desta combinação copa-porta-enxerto. Já a combinação 'Tahiti'-CLEO x LCR, que também apresentou elevada produção, pode ter esse comportamento justificado pelas características do porta-enxerto em relação ao vigor no crescimento, manutenção de  $g_s$  e  $\psi_P$ , semelhantes às do parental LCR.

Corroborando com este trabalho, Cantuarias-Avilés et al. (2012) em estudos com 'Tahiti' sob 12 porta-enxertos, observaram maior produção acumulada

durante seis anos para o tratamento com limoeiro 'Cravo' (LCR), associando esse resultado à maior tolerância à seca do porta-enxerto. Em outro estudo com laranjeira 'Folha Murcha' (*C. sinensis*), sob 12 porta-enxertos, Cantuarias-Avilés et al. (2011) atribuíram maior escore de tolerância à seca ao limoeiro 'Cravo', o qual se destacou entre os porta-enxertos que proporcionaram as maiores produções acumuladas durante cinco anos de colheita.

## CONCLUSÕES

- O déficit hídrico induziu a redução de crescimento da parte aérea e aumento de densidade de comprimento de raiz nas primeiras camadas do solo. As combinações de limeira ácida 'Tahiti' com limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e tangerineira 'Sunki Tropical' apresentaram maior capacidade de aumentar a densidade de comprimento de raiz, quando submetido ao déficit.
- Os porta-enxertos híbrido LVK x LCR-038 e limoeiro 'Cravo Santa Cruz' conferiram à copa de limeira ácida 'Tahiti', melhor desempenho quanto à prevenção ao déficit hídrico, com menores reduções de potencial de turgor e condutância estomática, mesmo apresentando diferentes mecanismos de uso de água.
- A produção precoce de frutos de limeira ácida 'Tahiti' foi estimulada significativamente pelos porta-enxertos limoeiro 'Cravo Santa Cruz', citrandarin 'Riverside' e híbridos CLEO x LCR e LVK x LCR-038, quando submetidos ao déficit hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1998, 300p.
- BARBERA, G.; CARMI, F. Effects of different levels of water stress on yield and quality of lemon trees. Proceedings of International Society Citriculture, v. 2, p.

717-722, 1988.

BLUM, A. Crop Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production In: Plant Breeding for Water-Limited Environments. BLUM, A. (Ed.). Springer, p. 11-45, New York, 2011.

BLUM A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. Australian Journal of Agricultural Research, v. 56, p. 1159-1168, 2005.

BRAKKE, M.; ALLEN JR, L.H. Gas exchange of citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. Journal of the American Society for Horticultural Science, v. 120, n.3, p. 497-504, 1995.

CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; STUCHI, E.S.; SILVA, S.R.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; NETO, H.B. Rootstocks for high fruit yield and quality of 'Tahiti' lime under rain-fed conditions. Scientia Horticulturae, v. 142, p. 105-111, 2012.

CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; STUCHI, E.S.; SILVA, S.R.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E. Horticultural performance of 'Folha Murcha' sweet orange onto twelve rootstocks. Scientia Horticulturae, v. 129, p. 259-265, 2011.

CALBO, A. G. A.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. Hortscience, v. 45, n.3, p.418-423, 2010.

CARBONEAU, A. The early selection of grapevine rootstocks for resistance to drought conditions. American Journal of Enology and Viticulture, v.36, p.195-198, 1985.

CLAEYS, H.; INZÉ, D. The Agony of Choice: How Plants Balance Growth and Survival under Water-Limiting Conditions. Plant Physiology, v. 162, p. 1768-1779, 2013.

DE DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGES, L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R.; DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. Trends in Plant Science, v. 12, p. 474-481, 2007.

FAO STATISTICAL YEARBOOK, 2014. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 29 de Maio. 2014.

FERERES, E.; CRUZ-ROMERO, G.; HOFFMAN, G.J.; RAWLINS, S.L. Recovery of orange trees following severe water stress. *Journal of Applied Ecology*, v. 16, n. 3, p. 833-842, 1979.

HUANG, B.; EISSENSTAT, D. M. Linking Hydraulic Conductivity to Anatomy in Plants that Vary in Specific Root Length. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 125, n. 2, p. 260-264, 2000.

KAUFMANN, M.R.; LEVY, Y. Stomatal Response of Citrus Jambhiri to Water Stress and Humidity. *Physiologia Plantarum*, v. 38, p. 105-108, 1976.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Drip Irrigation. Berlin: Springer-Verlag. 1990. 652p.

MANSHADI, A.M.; CHRISTOPHER, J.; DE VOIL, P.; HAMMER, G.L. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology*, v. 33, p. 823-837, 2006.

MANSHADI, A.M.; HAMMER, G.L. CHRISTOPHER, J.T.; DE VOIL, P. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, v. 303, p. 115-129, 2008.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v.67, p.75-82, 2008.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M.R.; IGLESIAS, D.J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M.A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. monstruosa). *Trees*, v. 27, p. 629-638, 2013.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. & PINTOP, J.M. Fotossíntese de laranja

'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, v. 57, p. 1-14, 1998.

NEVES, D.M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B.S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S.; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. *Mol Biol Rep.*, publicação eletrônica, DOI: 10.1007/s11033-013-2634-z, 2013.

PEDROSO, F.K.J.V.; PRUDENTE, D.A.; BUENO, A.C.R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R.V. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. *Environmental and Experimental Botany*, v. 101, p. 26-35, 2014.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, p.439-443, 2006.

PÉREZ-PÉREZ, J. G.; ROMERO, P.; NAVARRO, J.M.; BOTIA, P. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. *Irrigation Science*, v. 26, P. 415–425, 2008.

PRUDENTE, R.M.; SILVA, L.M.S. da; CUNHA SOBRINHO, A.P.da. Comportamento da laranjeira 'Pêra' sobre cinco porta-enxertos em ecossistema de Tabuleiros Costeiros, Umbaúba-SE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, p.110-112, 2004.

RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER, J.B.; FORNER-GINER, M.A. Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, n. 126, p. 95–102, 2010.

RIEGER, M.; LITVIN, P. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany*, v. 50, p. 201-209, 1999.

ROMERO, P.; NAVARRO, J.M.; PEREZ-PEREZ, J.; GARCIA-SANCHEZ, F.; GOMEZ-GOMEZ, A.; PORRAS, I.; MARTINEZ, V.; BOTIA, P. Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral. *Tree Physiology*, v. 26, p. 1537-1548, 2006.

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

STUCHI, E.S.; DONADIO, L.C.; SEMPIONATO, O.R.; PERECIN, D. Produtividade e qualidade dos frutos da laranja 'Pêra' clone IAC em 16 porta-enxertos na região de Bebedouro-SP. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, p.359-362, 2004.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, A. C. M.; BRITO, K. S. A.; MELO, A. S. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.12, p. 1305-1313, 2012.

SOUZA, G.M.; RIBEIRO, R.V.; PINCUS, S.M. Changes in network connectance and temporal dynamics of gas exchange in *Citrus sinensis* under different evaporative demands. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 16, n. 3, p. 119-130, 2004a.

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

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 503-513, 2008.

SOUTHWICK, S.M., DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*, v. 81, p. 26-29, 1986.

STENZEL, N.M.C.; NEVES, C.S.V.J. Rootstocks for 'Tahiti' lime. *Scientia Agricola*, v. 61, p. 151-155, 2004.

TARDIEU, F.; BRUCKLER, L.; LAFOLIE, F. Root clumping may affect the root water potential and the resistance to soil-root water transport. *Plant and Soil*, n. 140, p. 291-301, 1992.

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 1, p. 25-31, 2012.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955. 104p.

VALDEZ, V. Root hydraulics: The forgotten side of roots in drought adaptation. *Field Crops Res*, 2014. disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.017>, acesso em: 15-05-2013.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes mecanismos de prevenção ao déficit hídrico podem ser utilizados pelas combinações copa-porta-enxertos. O limoeiro 'Cravo', pé-franco e em combinação com as copas de laranjeira 'Pera' e limeira ácida 'Tahiti', se destacou pela maior capacidade de absorção de água e aprofundamento do sistema radicular, o que favoreceu quando cultivado em condição de campo, sob déficit hídrico, em menores reduções de condutância estomática, potencial hídrico e potencial de turgor. Este porta-enxerto determinou à copa de limeira ácida 'Tahiti', ajustamento osmótico foliar, quando a fração de água transpirável do substrato variou entre 5 a 20%.

A tangerineira 'Sunki Maravilha' (TSKMA), pé-franco, manifestou intolerância ao déficit hídrico severo, com impactos no fechamento estomático e produção de fitomassa, e, quando foi avaliada sob a copa de laranjeira 'Pera', em condição de campo, apresentou menor potencial hídrico foliar, condutância estomática e produção de frutos. Essas manifestações de intolerância, não foram evidenciadas quando a copa foi de limeira ácida 'Tahiti'.

Já a tangerineira 'Sunki Tropical' (TSKTR), pé-franco e combinada com a copa de limeira ácida 'Tahiti', sob déficit hídrico, apresentou menor impacto na redução de fitomassa da parte aérea e de raiz, sendo associada ao mecanismo de prevenção ao déficit hídrico, a partir do aumento do comprimento radicular por unidade de volume de solo. Este mecanismo foi observado quando a TSKTR foi cultivada, tanto em vaso, quanto em condição de campo, em Latossolo Amarelo Distrocoeso. Ambas as tangerineiras, sob a copa de 'Tahiti', apresentaram ajustamento osmótico foliar, mais rápido que o limoeiro 'Cravo', quando a fração de água transpirável do substrato variou entre 40 a 50%.

O citrandarin 'Riverside' se destacou como porta-enxerto que conferiu as copas de laranjeira 'Pera' e limeira ácida 'Tahiti' boa produção de frutos. O mecanismo de prevenção ao déficit hídrico identificado para esse porta-enxerto,

quando avaliado sob a copa 'Tahiti', foi o de aumento do sistema radicular por unidade de volume de solo, na profundidade de 0,20 m. Além disso, observou-se maior comprimento de raiz por unidade de massa, apresentando maior eficiência na formação de novas raízes, com menor gasto de energia. O maior ajustamento osmótico em folhas de 'Tahiti' foi determinado pelo 'Riverside' quando o déficit hídrico reduziu a fração de água transpirável do substrato para aproximadamente 40 a 50%, no mesmo período observado, nas combinações com as tangerineiras TSKMA e TSKTR.

Os porta-enxertos que apresentaram característica de menor uso de água, retardaram os efeitos do déficit hídrico quando combinados a uma variedade copa, a exemplo do ananicante HTR-051 e híbrido LVK x LCR-038. Neste estudo, a combinação 'Tahiti'-LVK x LCR-038 se destacou, em condição de campo, sob déficit hídrico, por apresentar menor redução de condutância estomática, destacando-se em relação ao limoeiro 'Cravo', e manutenção do potencial de turgor e bom desempenho de produção de frutos.

Os experimentos em casa de vegetação serviram para caracterizar os mecanismos de prevenção ao déficit hídrico, embora seja necessário um critério no julgamento dos genótipos avaliados, pois a limitação de tamanho do recipiente de cultivo pode interferir nos resultados. A murcha precoce do limoeiro 'Cravo', acompanhada de redução de potencial hídrico foliar e condutância estomática, em casa de vegetação, foram contrárias ao observado em condição de campo, onde o maior volume de solo disponível e explorado pelo sistema radicular foi determinante para as reações ao déficit hídrico. Neste sentido, um protocolo de estudo para avaliação de porta-enxertos de citros, submetidos ao déficit hídrico, deve considerar resultados obtidos em casa de vegetação e em condição de campo.