



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

**IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E EFICIÊNCIA DO USO DA**  
**ÁGUA EM LIMA ÁCIDA 'TAHITI' NO SEMIÁRIDO BAIANO**

**ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**ABRIL – 2010**

# **IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM LIMA ÁCIDA 'TAHITI' NO SEMIÁRIDO BAIANO**

**ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO**

Engenheiro Agrônomo

Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 2006

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

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

**Co-orientador: Dr. Eugênio Ferreira Coelho**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

S192

Sampaio, Antonio Hélder Rodrigues

Irrigação com déficit hídrico e eficiência do uso de água em Lima ácida "tahiti" no semiárido baiano/ Antonio Hélder Rodrigues Sampaio. -. Cruz das Almas, BA, 2010.

f. 87. ; il.

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

Co-orientador: Eugênio Ferreira Coelho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Área de Concentração Agricultura irrigada e Manejo de Sistemas Hidroagrícolas.

1. Irrigação. 2. Citros I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias e Tecnológicas. II. Título.

CDD 633.18

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

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DO ALUNO ANTONIO HÉLDER RODRIGUES SAMPAIO**

---

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

---

Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

---

Dr. Delfran Batista dos Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
Baiano – IFBaiano Senhor do Bonfim

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias em.....Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em .....

## **DEDICO**

**Aos meus pais Antonio Sampaio e Maria do Carmo Sampaio**

Pela educação, formação moral, amor e carinho

**A minha irmã Lea, cunhado Silvano e queridos sobrinhos Davi e Liz**

Pelo carinho, amizade e estímulo

**A minha namorada Cyntia Layane**

Por fazer parte da minha vida

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por abençoar todos os passos em busca dos meus objetivos;

Em especial a minha família pelo amor e carinho;

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, ao Núcleo de Engenharia de Água e Solo – NEAS e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias por oferecer a oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela concessão de bolsa de estudo;

A Embrapa Mandioca e Fruticultura pela infra-estrutura e apoio durante a realização desse trabalho;

Aos pesquisadores Dr. Maurício e Dr. Eugênio Ferreira Coelho pela confiança, dedicação, estímulo e orientação durante o curso;

A todos os professores que fazem parte do programa de pós-graduação em Ciências Agrárias, pelo apoio e ensinamentos;

Aos colegas da Pós-graduação, Eliel Ferreira, Márcio Alves, Olívia Nepomuceno, Jorge Luiz, Mateus Machado, Rogério e Diógenes Barbosa, pela contribuição, amizade, convívio e pelos inúmeros momentos de estudos em grupo;

Aos colegas que participaram de forma efetiva, contribuindo para a realização do experimento, Rossini Daniel, Victor Vinícius, Gean Carlo, Tibério, Zinho e Edivaldo Junior;

Aos responsáveis pela fazenda Boa Vista, pertencente ao grupo laço Agropastoril LDTA, pela parceria na realização do experimento. Particularmente aos funcionários Clovis, Guilherme, Abiderman, Diego, Marcelo e Dorival que sempre apoiaram o desenvolvimento das atividades.

Aos funcionários da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical e integrantes do laboratório de Irrigação e Drenagem, Tarcísio, Zé Carlos e Antonio, pela ajuda e apoio;

Ao setor de transportes da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical pela logística e companheirismo de todos os motoristas;

Aos meus ex-orientadores da graduação, Dra. Cecília Ritzinger e Dr. Rogério Ritzinger, pela confiança, incentivo e amizade;

A pesquisadora Dra. Laura Molina Melleti, pelo apoio e incentivo a minha formação profissional;

Aos amigos Cristovam Alves, Fábio Matos e Leonardo Amorim que tiveram sempre presentes na minha caminhada;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. A todos que me apoiaram e torceram por mim e que porventura não foram citados, meus sinceros agradecimentos e que Deus abençoe a todos.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO .....	01
<b>Capítulo 1</b>	
AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM POMAR DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI' IRRIGADO POR MICROASPERSÃO .....	19
<b>Capítulo 2</b>	
INDICADORES FISIOLÓGICOS DA LIMA ÁCIDA 'TAHITI' SUBMETIDAS À DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO SEMIÁRIDO BAIANO .....	46
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	87

# **IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM LIMA ÁCIDA 'TAHITI' NO SEMIÁRIDO BAIANO**

Autor: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Orientador: Maurício Antonio Coelho Filho

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo testar estratégias de manejo do déficit de irrigação, evidenciando a técnica do secamento parcial do sistema radicular - PRD, e avaliando os impactos na produção de frutos, na eficiência de uso de água (EUA) e no comportamento fisiológico de plantas de lima ácida 'Tahiti' com cinco anos de idade, nas condições semiáridas de laçu-BA. Os tratamentos avaliados foram: T1, T2, T3 (PRD 50% ET<sub>c</sub>) com a posição do microaspersor em relação a planta alternada a cada 7, 14 e 21 dias respectivamente, molhando-se lados opostos do sistema radicular; T4 (DI 50% ET<sub>c</sub>) a irrigação foi fixa em um só lado utilizando um microaspersor por planta; T5 – testemunha (100% ET<sub>c</sub>) a irrigação foi fixa com dois microaspersores por planta; e o T6 (DI 25% ET<sub>c</sub>) a cada intervalo de 21 dias, alternou-se o uso entre 1 e 2 microaspersores por planta. Verificou-se significativamente ( $P < 0,05$ ) maiores produtividades para os tratamentos T5 e T6 com 23,16 e 22,49 t/ha/ano, respectivamente, bem como maiores valores de condutância estomática e transpiração. A estratégia de PRD não apresentou vantagem sobre o tratamento com déficit fixo. Mesmo com redução na produtividade, os tratamentos com déficit hídrico, T1 e T4, apresentaram maiores valores para EUA com 9,32 e 9,48 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Dentre os tratamentos de PRD, o T1 respondeu fisiologicamente com maior controle estomático em relação aos demais e apresentou maior produtividade, 17,12 t/ha/ano. A produção não foi afetada com déficit de 25% sendo uma alternativa viável para o aumento da eficiência do uso da água no pomar. Dependendo do custo/escassez da água, um déficit hídrico de 50% pode ser adotado, esperando-se redução de 30% na produtividade.

**Palavras-chaves:** manejo de irrigação, transpiração, citrus

# IRRIGATION WITH DEFICIT AND WATER USE EFFICIENCY FOR ACID LIME 'TAHITI' IN THE SEMIARID OF BAHIA STATE

Author: Antonio Hélder Rodrigues Sampaio

Adviser: Maurício Antonio Coelho Filho

**ABSTRACT:** The present work had as objective to test strategies for irrigation management with deficit, focusing the technique of partial root drying and evaluating its impacts on fruit yield, on water use efficiency (EUA) and on physiologic behavior of five years old Tahiti lime acid under semi arid conditions of laçu county, Bahia State. The treatments were: T1, T2, T3 (50% ETc PRD) formed from plants irrigated by a microsprinklers with his position alternating every 7, 14 and 21 days, respectively, wet themselves on opposite sides of the root system; T4 ( DI 50% ETc) irrigation was fixed on one side using one emitter per plant, T5 (100% ETc) was the control treatment using two microsprinklers per plant with fixed position; In case of T6, at each interval of 21 days, one and two microsprinklers were used per plant, alternately. There was significantly ( $P < 0.05$ ) higher yields for treatments T5 and T6 with 23,16 and 22,49 t/ha/year, respectively, as well as higher stomatal conductance and transpiration. Strategies PRD showed no advantages over treatment with fixed deficit. Treatments with water deficit, T1 and T4 showed higher efficiency of water use with 9,32 and 9,48 kg/m<sup>3</sup>, respectively, even with a marginal reduction in yield. Treatment T1 responded physiologically with larger automatic control and resulted in higher yield with 17,12 t/ha/year among the strategies of the PRD. The production was not affected with deficit of 25% that is a feasible alternative for increase water use efficiency in the orchard. Depending on cost/water scarcity ratio, a water deficit more accentuated might be adopted as alternative for irrigation management, where it might be expected to decrease 30% in yield when 50% of the irrigated is reduced under evaluated conditions.

**Key-words:** irrigation management, sweating, citrus

## INTRODUÇÃO

### ORIGEM E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO LIMÃO 'TAHITI'

A lima ácida 'Tahiti', *Citrus latifolia* Tanaka, é uma espécie pertencente ao gênero Citrus, originada na Califórnia, a partir de sementes de limão que haviam sido introduzidas do Tahiti, por volta de 1870. As árvores de lima ácida 'Tahiti' são de porte médio e atingem de 3 a 4 m de altura, a copa é densa e de formato normalmente arredondado; as folhas e flores são aromáticas e de tamanho pequeno; e os frutos são ricos em vitamina C e possuem, ainda, quantidades significativas de vitaminas A e do complexo B, além de sais minerais, contendo cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro (MATTOS JR. et al., 2003).

Dentre as espécies cítricas, a de maior precocidade, apresentando, em geral uma produção significativa já a partir do terceiro ano, mas, só a partir do quinto em diante é que começa a expressar rendimentos econômicos. Apesar de ser uma lima ácida, essa cultura é mais conhecida com limão 'Tahiti', e as estatísticas disponíveis sobre produção agrupam limas e limões verdadeiros, devido também ao fato de países europeus, como Espanha e Itália, produzirem mais limões verdadeiros (MATTOS JR. et al., 2003).

De acordo as estimativas, no ano de 2007, encontram-se no mundo cerca de 923,8 mil hectares plantados com esta espécie, registrados em mais de 100 países diferentes e com produtividade média de 13,72 t h<sup>-1</sup>. O Brasil com 45,4 mil hectares cultivados com limão é o quarto produtor, representando 8% da produção mundial, totalizando 1,018 milhões de toneladas de frutos produzidos. Nacionalmente destacam-se na produção de limão 'Tahiti' o Estado de São Paulo com produtividade média de 24,1 t h<sup>-1</sup>, Minas Gerais com 17,01 t h<sup>-1</sup> e Bahia com 15,73 t h<sup>-1</sup>, representando 78,84%, 4,24% e 3,88% da produção total, respectivamente (FAO, 2009).

Os preços praticados na comercialização dessa fruta no mercado interno apresentam forte sazonalidade, com alta significativa entre agosto e novembro, e queda de preço no primeiro semestre. Em 2007 o menor preço praticado foi de R\$ 2,34 por caixa de 27 kg colhido e o maior em outubro, R\$ 20,89 por caixa. (BOTEON, 2007).

O crescimento da produção brasileira deve-se pela difusão da lima ácida 'Tahiti' nos países europeus, principalmente pelo consumo da caipirinha. O mercado promissor de lima ácida 'Tahiti' apresenta-se bastante atrativo para o Brasil, uma vez que há a possibilidade de incrementos de área plantada e aumento de produtividade dos pomares já instalados por meio de práticas agrícolas mais tecnificadas. Segundo Rojas (2003) a necessidade de garantir uma maior produtividade, obrigará os citricultores a adotarem novos sistemas de produção, entre eles a aplicação da irrigação destaca-se como potencialidade para aumentos de produção.

### **OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

A agricultura irrigada cresce no mundo inteiro com o objetivo de potencializar a produção de alimentos para suprir a demanda da população. O grande desafio da atualidade é praticar uma agricultura aprimorada tanto na produção de produtos com qualidade, quanto no uso racional dos recursos hídricos. O elevado consumo de água em projetos de irrigação e as múltiplas disputas pelos recursos hídricos tornam-se necessário a utilização de modelos de irrigação que permitam maior eficiência no uso de água.

A irrigação eficiente consiste no suprimento de água necessária ao desenvolvimento potencial das culturas, de modo que a quantidade de água aplicada não exceda a capacidade de absorção e de aproveitamento do sistema radicular da planta. A aplicação em excesso freqüentemente promove a degradação do uso do solo por meio de erosão hídrica e a lixiviação de fertilizantes, além de causar problemas de drenagem.

Os recursos hídricos disponíveis ao uso da humanidade são compostos basicamente pelas águas dos rios, lagos e mananciais subterrâneos até 400 m de profundidade. A competitividade pelo uso da água está caracterizada, segundo as

estatísticas divulgadas por três grandes demandas: Uso urbano ou doméstico, uso industrial e uso agrícola. A agricultura irrigada não é apenas a maior usuária de água na produção agrícola (RAMOS & OLIVEIRA, 1998; 1999), ela representa em âmbito mundial, cerca de 69% de toda a água doce consumida, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano apenas 8% (BONGANHA, 2001).

Tal fato demonstra a necessidade dos irrigantes utilizarem a água com maior eficiência possível, uma vez que as reservas de águas disponíveis encontram-se cada vez mais escassas, especialmente em regiões onde existe uma má distribuição da precipitação pluviométrica.

### **ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO POR MEIO DE DÉFICIT HÍDRICO**

O incremento da área irrigada, a escassez de recursos hídricos e energéticos tem fomentado a utilização de sistemas e manejo de irrigação que aumentem a eficiência do uso da água (EUA). Dentre as estratégias propostas para elevar este índice, destacam-se a utilização da irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), possibilitando a redução do volume de água aplicado em comparação com a aspersão convencional (FOLEGATTI et al., 2004), e a utilização de déficit hídrico durante estádios de desenvolvimento da planta menos sensíveis, economizando água, com mínimo efeito sobre a produtividade (CHALMERS et al., 1981).

Segundo Sánchez–Blanco & Torrecillas (1995) as investigações sobre a irrigação com déficit hídrico têm permitido um aumento da eficiência do uso da água, pois a adoção de estratégias neste sentido pode ser capaz de reduzir a quantidade de água aplicada, causando um mínimo impacto na produção.

Os benefícios potenciais da irrigação com déficit são atribuíveis a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais (ENGLISH & NAVAI, 1996).

Na década de 80, trabalhos foram desenvolvidos por meio do uso de estratégia de irrigação deficitária, visando reduzir o máximo às perdas de produtividade pela cultura com o decréscimo da lâmina de irrigação. A mesma foi conceituada como irrigação com déficit controlado, sendo apresentados pelas siglas RDI (Regulated déficit Irrigation) e RDC (Riego Deficitario Controlado).

Segundo Mitchell et al. (1984) o princípio deste método baseia-se na redução da irrigação em períodos fenológicos que o déficit hídrico controlado não afeta consideravelmente a produção e qualidade da colheita, e supri plenamente as necessidades hídricas durante as fases do ciclo da cultura mais sensíveis. Um dos objetivos do déficit controlado é evitar um crescimento vegetativo excessivo da planta que podem em alguns casos induzir efeitos negativos na frutificação. De acordo a este autor a redução da irrigação durante a brotação e crescimento dos ramos, pode favorecer ao atendimento pleno das necessidades da planta na fase de frutificação, sem limitar o crescimento de fruto.

Hargreaves & Samani (1984) citam que estratégias de irrigação com déficit controlado podem proporcionar retornos econômicos por unidade de área, maiores que os obtidos nas produções com máximas irrigações. Várias investigações em relação à resposta ao déficit hídrico foram realizadas em citros, merecendo destaque para os trabalhos com laranja valência (CASTEL & BUJ, 1990), limão (SANCHEZ BLANCO et al., 1989) e tangerina (PENG & RABE, 1998).

A partir da década de 90, simultaneamente ao uso do RDI, estudos para otimização da irrigação com déficit hídrico foram desenvolvidos por meio do uso técnica de secamento parcial do sistema radicular (*Partial rootzone drying* - PRD). Segundo Kriedemann & Goodwin (2003) os pesquisadores John Possingham e Brian Loveys começaram, na Austrália, as primeiras investigações com a cultura da videira. Esta nova técnica constitui na alternância do lado de irrigação no sistema radicular, enquanto parte das raízes são irrigadas, outra parte são expostas ao secamento do solo. Os lados de umedecimento e secamento são alternados com uma frequência que depende do tipo de solo e planta analisada.

O déficit hídrico, através da estratégia de PRD, tem mostrado que é possível reduzir o uso de água pelas culturas mantendo a produção em um patamar satisfatório, mesmo com impactos no crescimento vegetativo das plantas. A teoria defendida é que o sistema radicular passa a produzir uma maior quantidade de ácido abscísico (ABA) nas raízes que se transloca pelo eixo vascular, concentrando-se na parte aérea, ocasionando um fechamento parcial dos estômatos e conseqüentemente menor perda de água para atmosfera (DAVIES & ZHANG, 1991; GOWING et al., 1993).

Segundo Pimentel & Rossiello (1995) um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ABA no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, ocasionando além do fechamento estomático, a diminuição da expansão celular, e em caso de déficit severo, a produção de ABA aumenta de tal forma que provoca a queda das folhas mais velhas. Outro efeito, atualmente sendo tema de muitos trabalhos científicos, é a ativação dos genes de tolerância à seca (IVANOVIC et al., 1992; DIAB et al., 2004; HAZEN et al., 2005; KASSUNGA et al., 2004; RABBANI et al., 2003).

A alteração da concentração de ABA na seiva do xilema e as mudanças de pH estão associadas ao comportamento de umidade do solo, havendo associação com a redução do crescimento vegetativo e condutância estomática (ALVES & SETTER, 2000, 2004; BAHRUN et al., 2002; DAVIES et al., 2002; DAVIES & ZHANG, 1991; DODD et al., 1996; LOVEYS et al., 1997; SOBEIH et al., 2004; STOLL et al., 2000; WILKINSON & DAVIES, 2002). Alguns pesquisadores defendem a hipótese que a redução da condutância estomática em períodos de deficiência hídrica seja devido a fatores diferentes e às vezes independentes, incluindo a sinalização hidráulica e química (GARCIA-MATA & LAMATTINA, 2003).

De acordo a Pimentel (2008) o processo de abertura e fechamento dos estômatos, bem como a regulação do crescimento vegetativo, envolve vários processos interdependentes, controlados por diversos fitormônios, e substâncias inorgânicas. Tem sido estudados e citados como participantes do processo de sinalização química, além do ácido abscísico, os hormônios: citocininas (STOLL et al., 2000), etileno (HARE et al., 1997; SUHITA et al., 2003), auxinas e giberelinas (JACKSON, 2002).

O fechamento dos estômatos reduz a transpiração foliar e a fotossíntese por redução do fluxo de vapor de água e dióxido de carbono na folha (MCCARTHY et al., 2001). Contudo, segundo Jones (1992) uma pequena redução na abertura estomática pode reduzir substancialmente a perda de água com um mínimo de efeito sobre a absorção de CO<sub>2</sub> e de fotossíntese.

Um dos fatores determinantes para êxito da técnica de PRD é o tempo de alternância de irrigação entre partes do sistema radicular. O intervalo de alternância ideal deve estimular, por meio do secamento parcial, uma constante

emissão de sinais químicos da raiz para as folhas. De acordo a Hare et al. (1997), Hartung et al. (2002) e Wilkinson & Davies (2002), quando o mesmo lado da planta é mantido seco por longos períodos de tempo, a biossíntese de ABA já não se torna contínua, paralisando o controle estomático e o consumo de água da planta passa a ser normal. Intervalos longos de alternância podem provocar estresse acentuado, suberização da epiderme da raiz, conseqüentemente perda de raízes secundárias, impedindo assim a regeneração das raízes quando hidratada novamente (NORTE & NOBEL, 1991; ASSENG et al., 1998). Estudos em videira constataram que a alternância de irrigação pode variar de 3 à 5 dias, até cerca de três semanas (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

Coelho et al. (2007) avaliaram por meio de sondas de TDR (*time-domain reflectometer*) o comportamento de secamento e umedecimento de um solo franco arenoso, com a cultivar Kent, sob o regime de PRD, na região de laçu, semiárido da Bahia. Após aplicação de déficit de 50% da evapotranspiração da cultura e variando os lados de irrigação na frequência de 7, 14 e 21 dias, observou para condição do experimento que a alternância de sete dias foi o suficiente para reduzir a água disponível abaixo da capacidade de campo, sendo o intervalo que teoricamente parte das raízes de um lado da planta cessa a absorção de água e passa a restringir o processo transpiratório.

É preciso levar em conta o tipo de cultura, as características do solo, sistema de irrigação e o clima da região, para decisão de qual intervalo de alternância de irrigação é mais viável. Muitos dos fatores determinantes para o êxito da irrigação com RDI podem ser aplicados como estratégias para a técnica de PRD. De acordo a Chalmers (1990), pioneiro no estudo de RDI, recomenda-se sistema de irrigação com alta eficiência, com aplicação localizada, solos poucos profundos com baixa capacidade de retenção e acrescenta que volumes pequenos de solos irrigados favorecem a obtenção de sistemas radiculares concentrados, que facilita a recarga rápida do perfil. Segundo Kriedemann & Goodwin (2003) o uso de solos argilosos são menos indicados para aplicação da técnica de PRD. Neste caso, o grande potencial de movimento lateral exige a aplicação de pequenos volumes de água para o êxito da técnica.

Pode-se citar como vantagem do PRD a indução do crescimento de raízes secundárias devido às alterações bioquímicas na planta (STOLL et al., 2000), o que reduz a vulnerabilidade à seca (ZHANG & TARDIEU, 1996). Um sistema

radicular mais amplamente distribuído no volume de solo, como resultado da alternância dos lados de irrigação na planta pode resultar em uma melhor absorção de nutrientes e de água pelo sistema radicular (KANG et al., 1998).

A redução do crescimento vegetativo excessivo é vantajosa, pois aumenta a disponibilidade de fotoassimilados e nutrientes necessários para a formação dos frutos (STIKIC et al. 2003). Um menor vigor vegetativo, também resulta em menores quantidades de água necessária para manter a cultura, menor oportunidade para ataque de pragas e doenças e aumento da exposição dos frutos à luminosidade (KANG et al. 2000; WILEY, 1997). Têm-se observado uma maior velocidade de maturação dos frutos devido à maior exposição à luz. Na área de Irrigação murrumbidgee, Austrália, foi observado que videiras sob o regime de irrigação em PRD apresentaram uvas em ponto de colheita uma semana antes, comparado às plantas do tratamento controle (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003). Em experimentos na Turquia, videiras apresentaram frutos em ponto de colheita duas semanas antes que as plantas controle (NEW IRRIGATION METHOD COULD HALVE AGRICULTURAL WATER CONSUMPTION, 2002).

Outra vantagem do PRD refere-se à manutenção de melhor aeração e condição de umidade do solo propícia as atividades dos microorganismos, que podem resultar em melhor benefício para o crescimento de plantas. Wang et al. (2008) constatou esta tendência em estudos com a cultura do milho, no qual microorganismos do solo foram uniformemente distribuídos em ambos os lados de aplicação de água, no tratamento PRD, alcançando valores superiores a tratamentos de irrigação convencional e irrigação fixa em apenas um lado da planta.

O impacto do PRD tem sido extensivamente investigado em videira (DRY & LOVEYS, 1999, 2000a, b; STOLL & LOVEYS, 2000) e, em menor medida, em outras culturas perenes, por exemplo, Oliveiras (WAHBI et al., 2005), maçã (LEIB et al., 2006), manga (SPREER et al., 2007), Pêra (ABRISQUETA, et al., 2008) e Citrus (CEVAT KIRDA, 2007; TREEBY, 2007; RAVEH, 2008).

Resultados de três temporadas no sul da Austrália mostraram que o fruto da videira sob tratamentos de irrigação com PRD, aumentou a qualidade do vinho devido a maior acidez titulável, pH mais baixos e uma maior concentração de cor, fenóis e glicosil-glucose (WILEY, 1997).

Em videira, particularmente, tem sido demonstrado que o PRD não tem efeito negativo em relação à produtividade, todavia pode melhorar a qualidade do fruto com uma redução de mais de 50% do consumo de água em relação a tratamentos que atendem plenamente a necessidade hídrica da cultura (LOVEYS et al. 2001). Resultados encontrados a partir de testes de campo com PRD em uva, cultivar Shiraz, na região do Noroeste de Victoria, Austrália, ao longo de quatro temporadas, mostraram um aumento da eficiência do uso da água para tratamentos de PRD de 58, 65, 33 e 58% (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

Sadras (2008) realizou uma análise específica dos resultados obtidos em videiras, espécie com maior número de estudos com a técnica de PRD, e demonstrou que para uma mesma lâmina de água aplicada, não foi encontrado diferença na eficiência de uso de água entre o PRD e as demais formas de irrigação. Isto indica que o aumento da eficiência de uso da água encontrada nos experimentos com a cultura foi devido a menores taxas de irrigação em relação à irrigação convencional e não devido à utilização do método.

Posadas et al. (2008) testou em batatas a alternância do lado de irrigação a cada semana para tratamentos de PRD e comparado ao déficit hídrico convencional (DI), obteve resultados de produção e EUA semelhantes, ambos com redução de 50% lâmina.

Vários ensaios com PRD foram realizados em tomates na Universidade de Lancaster, bem como alguns estudos abrangentes na Índia. Estes resultados foram muito semelhantes aos encontrados em videiras, ou seja, o crescimento da planta foi reduzido e as perdas na produção limitadas, aumentando o teor de açúcar e a eficiência de uso da água (Stikic et al. 2003).

Alguns dos trabalhos na Universidade de Lancaster foram desenvolvidos com a separação física das raízes de planta (ou seja, colocando metade em um saco plástico e outra metade em outro saco plástico) para garantir que os dois lados obtivessem distintas umidades. Em tomate, por exemplo, os experimentos mostraram reduções significativas no crescimento vegetativo, com redução de 26% na altura das plantas, 10% no número de folhas, 22% na área foliar e uma redução na parte aérea e peso seco da raiz, com 29% e 23% respectivamente. Os açúcares do fruto aumentaram 13% em tomates submetidos ao PRD, porém não houve mudanças significativas no peso de frutos secos. A economia de água resultou em um aumento de 59% para os tratamentos em PRD.

Raveh (2008) constatou que em limoeiro, submetido a técnica de PRD com 50% de redução de água, por um período de 60 dias, apresentou uma redução de 89% de ramos emergidos quando comparados com tratamento com suprimento adequado de água.

Spreer et al. (2006) testaram em manga durante dois anos os efeitos do PRD e déficit hídrico convencional, reduzindo a lâmina em 50% em relação ao tratamento controle. Os resultados mostraram uma redução marginal na produção de frutos sem o comprometimento da qualidade.

Na aplicação de PRD em milho constatou-se que para uma redução da lâmina de irrigação de 35% houve um decréscimo da biomassa total de 6-11%, em comparação com plantas irrigadas com 100% de sua necessidade hídrica (Kang e Zhang, 2004). Outra experiência com pimentas irrigadas por gotejamento mostrou uma economia de água próximo de 40% para as plantas do tratamento de PRD, com um rendimento de produtividade semelhante à das plantas irrigadas com sua necessidade hídrica plenamente atendida (Kang et al., 2001).

A técnica PRD também foi testada em pomares de pêssego na China, usando um sistema de irrigação por gotejamento (GONG et al., 2001), e em um pomar de pêra em Victoria, Austrália, usando um sistema de irrigação por inundação (KANG et al. 2002b). Os resultados mostraram uma economia de água de 52% em pêssego e 23% em Pêra.

No Brasil, poucos estudos foram realizados, a exemplo dos de Silva (2005) para a cultura da videira e Coelho Filho et al. (2009) para cultura da Manga. De maneira geral, as pesquisas direcionadas nos últimos anos vêm tentando responder como e com que intensidade as respostas bioquímicas dessa técnica influenciam na produtividade de uma cultura. Muitos trabalhos relatam a economia de água alcançada pelo método, todavia pode-se observar na maioria das investigações que utilizaram o PRD como estratégia, que o déficit hídrico convencional alcançou resultados de produtividades semelhantes, a exemplo dos trabalhos de Pudney & McCarthy (2004) para uva, Kirda (2007) para tangerina, Treeby (2007) e Dziki (2008) para laranja de umbigo e Zegbe-Domínguez (2003) para tomate.

Desta forma, para a recomendação do uso de estratégias de PRD na prática, torna-se necessário, estudos caracterizando diferentes culturas, solo, tempo de alternância dos lados de irrigação, épocas de aplicação, eficiência do

uso de água e produtividade. Além disto, é preciso avaliar o custo/benefício, pois a adoção desta estratégia poderá significar adaptação do sistema de irrigação para o funcionamento da mesma, bem como a necessidade de mão de obra especializada para manejo da irrigação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRISQUETA, J. M.; MOUNZER, O.; LVAREZ, S. A.; CONEJERO, W.; GARCÍA-ORELLANA, Y.; TAPIA, L. M.; VERA, J.; ABRISQUETA, I.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. **Agricultural water management**, v. 95, p. 959-967, 2008.

ASSENG, S.; RITCHIE, J. T.; SMUCKER, A. J. M; ROBERTSON, M. J. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. **Plant Soil**. 201: 265-273, 1998.

BAHRUN, A.; JENSEN, C.; ASCH, F.; MOGENSEN, V. Drought-induced changes in xylem pH, ionic composition, and ABA concentration act as early signals in fieldgrown maize (*Zea mays* L.). **J. Exp. Bot.**, v. 53, p. 251-263, 2002.

BONGANHA, C.A. Consciência "Água". **Citricultura Atual**, v.4, n.24, p.8-9, 2001.

BOTEON, M.; BRAGA, D.; PUPIN, F. Dados econômicos: mercados interno e externo. **VIII Encontro do Limão Tahiti**. Cordeirópolis, 2007. Disponível em: [http://www.cepea.esalq.usp.br/citros/?id\\_page=447](http://www.cepea.esalq.usp.br/citros/?id_page=447) Acesso em 20 mar. 2010. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. p.13-30.

CASTEL, J.R.; BUJ, A. Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation. **Irrig. Sci.** 11, 121–127, 1990.

CHALMERS, D. J. **Control del crecimiento de la planta por la regulación de los déficits de agua y la limitación de la zona de humectación.** *Frut* 5, p. 369-375, 1990.

CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P. D.; VANHEEK, L. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106, p. 307-312, 1981.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, V. V. M.; VELLAME, L. M.; SANTANA, J. A. do VALE. Manejo de irrigação com déficit (PRD) em pomar de manga 'KENT' no semiárido baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2009. Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais, 2009. 202 p.

COELHO, E. F.; SANTANA, J. A. do VALE.; COELHO FILHO, M. A.; VEIMROBER JUNIOR, L. A. A. Umidade do Solo sob Manejo de Irrigação pelo Molhamento Parcial do Sistema Radicular. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007. Gramado. **Anais...**Rio Grande do Sul, 2007. 4p.

COHEN, A., GOELL, A. 1984. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. **Proc. Int. Soc. Citriculture Cong.** (Sao Paulo), v. 1, p. 114-121.

DAVIES, W. J.; HARTUNG, W. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity? In: **Proceedings of the 4th International Crop Science Congress**, Sep. 26-Oct. Brisbane, Australia. v. 1, 2004.

DAVIES, W. J.; S. WILKINSON, LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytol**, v. 153, p. 449-460, 2002.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biol.** v. 42, p. 55-76, 1991.

DIAB, A. A.; TEULAT-MERAH, B.; THIS, D.; OZTURK, N. Z.; BENSCHER, D.; SORRELLS, M. E. Identification of drought-inducible genes and differentially expressed sequence tags in barley. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, p. 1417–1425, 2004.

DODD, I.; STIKIC, R.; DAVIES, W. J. Chemical regulation of gas exchange and growth of plants in drying soil in the field. **J. Exp. Bot.**, v. 47, p. 1475-1490, 1996.

DRY, P.R., LOVEYS, B. R. Partial drying of the rootzone of grape I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. **Vitis**, v. 39, p. 3-7, 2000a.

DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. **Vitis**, v. 38, p. 151–156, 1999.

DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Partial drying of the rootzone of grape II. Changes in the pattern of root development. **Vitis**, v. 39, p. 9-12, 2000b.

DZIKITI, S.; LEMEURE, R.; STEPPE, K. Partial Rootzone Drying of Drip Irrigated 'Navel' Orange Trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] under Semi-Arid Tropical Conditions, **Acta Hort**, n. 792, ISHS 2008.

ENGLISH, M.; NAVAJD, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 32, p. 1-14. 1996.

FAO STATISTICAL YEARBOOK, 2009. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org/siti/339/default.aspx>. Acesso em: 29 de mar. 2010.

FOLEGATTI, M. V.; SILVA, T. J. A.; CASARINI, E. **O manejo da irrigação como elemento essencial na utilização racional dos recursos hídricos**. In: THAME,

L. C. M. (Ed.). A cobrança pelo uso da água na agricultura. Embu: Igual Editora, p. 213-219, 2004.

GARCIA-MATA, C. Lamattina, L. Abscisic acid, nitric oxide and stomatal closure - is nitrate reductase one of the missing links? ***Trends in Plant Science***, vol. 8, no. 3, pp. 20-26, 2003.

GOWING, D. J.; DAVIES, W. J.; JONES, H. G. A positive rootsourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus domestica* Borkh. **J. Exp. Bot.**, v. 41, p. 1535-1540, 1993.

HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. The involvement of cytokinins in plant responses to environmental stress. **Plant Growth Regulation**, vol. 23, pp. 79-103, 1997.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Economic consideration of deficit irrigation. **J. Irr. And Drainage Eng.** 110: 343-358, 1984.

HARTUNG, W.; SAUTER, A.; HONSE, E. Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where does it go to? **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 27-32, 2002.

HAZEN, S. P.; PATHAN, M. S.; SANCHEZ, A.; BAXTER, I.; DUNA, M.; ESTES, B.; CHANG, H. S.; ZHU, T.; KREPS, J. A.; NGUYEN, H. T. Expression profiling of rice segregating for drought tolerance QTLs using a rice genome array. **Functional and Integrative Genomics**, v. 5, p. 104-116, 2005.

IVANOVIC, M.; QUARRIE, S.A.; DJORDJEVIC, J.; PEKIC, S. Inheritance of abscisic acid production in maize (*Zea mays* L.) leaves in response to rapid drought stress and in the field. **Maydica**, v. 37, p. 313-318, 1992.

JACKSON, M. B.; Long-distance signalling from roots to shoots assessed: the flooding story. **Journal of Experimental Botany**, vol. 53, no. 367, pp. 175-181, 2002.

JONES, H.G. **Plants and Microclimate**: A quantitative Approach to Environmental Plant Physiology, Ed. 2. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

KANG, S.; LIANG, Z.; HU, W.; ZHANG, J. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant. **Agricultural Water Management**, v. 38(1), p. 69-76, 1998.

KANG, S.; WENJUAN, S.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, vol. 67, pp. 207-214, 2000.

KANG, S.; ZHANG, L.; XIAOTAO, H.; Li, Z.; JERIE, P. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. **Sci. Hort.** V. 89, p. 257-267, 2001.

KASUGA, M.; MIURA, S.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. A combination of the *Arabidopsis* DREB1A gene and stress-inducible *rd29A* promoter improved drought and low temperature stress tolerance in tobacco by gene transfer. **Plant Cell Physiology**, v. 45, n. 3, p.346-350, 2004

KIRDA, C.; TOPALOGLU, F.; TOPÇU, S.; KAMAN, H. Mandarin Yield Response to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation, **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, p. 1-10, 2007.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying, **Land & Water Australia**, Canberra, 2003.

LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K.; JABRO, J. J.; Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. **Irrig. Sci.** v. 24, p. 85-99, 2006.

LOVEYS, B.; GRANT, J.; DRY, P.; MCCARTHY, M. **Progress in the development of partial rootzone drying**. CSIRO, Plant Industry, University of Adelaide, SARDAI, 2001.

LOVEYS, B.; GRANT, J.; DRY, P.; MCCARTHY, M. **Progress in the development of Partial Rootzone Drying**. In 'The Australian Grapegrower & Winemaker', p. 18-20, 1997.

MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. **Lima ácida Tahiti**. MCCARTHY, M. G.; LOVEYS, B. R.; DRY, P. R.; STOLL, M. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines, in Water Reports 22: **Deficit Irrigation Practices**, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2001.

MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H.; CHALMERS, D. J. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, v. 109, p. 604-606, 1984.

New irrigation method could halve agricultural water consumption, 2002, news article, environmental data interactive exchange (edie), viewed 15 May 2004, <http://www.edie.net/news/Archive/5925.cfm>

NORTH, G. B.; NOBEL, P. S. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of *Agave deserti* (Agavaceae). *Am. J. Bot.*, v. 78, p. 906-915, 1991.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. p. 71-100.

PENG, Y.H.; RABE, E. Effect of differing irrigation regimes on fruit quality, yield, fruit size and net CO<sub>2</sub> assimilation of 'Mihowase' satsuma. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, v. 73, p. 229-234, 1998.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R. O. P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. **Anais...** EMBRAPA/CNPMS, v.1, p. 449 (131-146), 1995.

POSADAS, A.; ROJAS, G.; MÁLAGA, M.; MARES, V.; QUIROZ, R. A. **Partial root-zone drying: An alternative irrigation management to improve the water use efficiency of potato crops.** International Potato Center. P. O. Box. v. 1558, Lima 12, Peru. Produced by the CIP Communication and Public Awareness Department (CPAD). November 2008.

PUDNEY, S.; MCCARTHY, M. G. Water use efficiency of field grown chardonnay grapevines subjected to partial rootzone drying and deficit irrigation. In: R. L. Snyder (ed.) 4th International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. **Acta Horticulturae**, p. 567-573, 2004.

RABBANI, M. A.; MARUYAMA, K.; ABE, H.; KHAN, M. A.; KATSURA, K.; ITO, Y.; RAMOS, M. M.; OLIVEIRA, R. A. de. Irrigação em pequenas e médias propriedades. **Tecnologia & Treinamento Agropecuário**, n. 9, p. 8, dez./jan. 1998/99.

RAVEH, E. Partial Root-Zone Drying as a Possible Replacement for 'Verdelli' Practice In Lemon Production. **Acta Horticulturae: V International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops.** Ed. I. Goodwin. Cidade Mildura, Austrália, 30 June 2008.

ROJAS, J. S. D. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação.** Piracicaba, SP, 2003, 110 f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SADRAS, V. O. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. **Irrig. Sci.** v. 27, p. 183-190, 2009.

SANCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A.; LEÓN, A.; DEL AMOR, F. The effect of different irrigation treatments on yield and quality of Verna lemon. **Plant Soil**, v. 120, p. 299-302, 1989.

SILVA, J. A. M. Partial rootzone drying and deficit irrigation on grapevine cv. Petite Syrah. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

SOBEIH, W.Y.; DODD, I. C.; BACON, M. A.; GRIERSON, D.; DAVIES, W. J. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. **J. Exp. Bot.** v. 55, p. 2353-2363, 2004.

SPREER, W.; NAGLE, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.; ONGPRASERT, S.; MÜLLER, J. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. 'Chok Anan'). **Agricultural Water Management**, v. 88, p. 173-180, 16 March 2007.

STIKIC, R.; POPOVIC, S.; SRDIC, M.; SAVIC, D.; JOVANOVIC, Z.; PROKIC, L. J.; ZDRAVKOVIC, J. Partial root-zone drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Special Issue: p. 164-171, 2003.

STOLL, M.; LOVEYS, B. R. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. **J. Exp. Bot.** v. 51, p. 1627-1634, 2000.

TREEBY, M.T.; HENRIOD, R.E.; BEVINGT, K. B.; MILNE, D. J.; STOREY, R. Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. **Agricultural water management**, v. 91, p. 24-32, 2007.

WAHBI, S.; WAKRIM, R.; AGANCHICH, B.; TAHI, H.; SERRAJ, R. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field

conditions under arid climate I. Physiological and agronomic responses. **Agric. Ecosys. Environ.**, v. 106, p. 289-301, 2005.

WANG, J.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, F.; LI, Z.; ZHANG, J. Effects of alternate partial root-zone irrigation on soil microorganism and maize growth. **Plant Soil**, v. 302, p. 45-52, 2008.

WILEY, S. Trialling new techniques to grow better fruit. **The Australian Grapegrower & Winemaker**, vol. May, 1997.

WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. **Plant Cell Environ.** v. 25, p. 195-210, 2002.

YOSHIWARA, K.; SEKI, M.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Monitoring expression profiles of rice genes under cold, drought, and high-salinity stresses and abscisic acid application using cDNA microarray and RNA gel-blot analyses. **Plant Physiology**, v. 133, p. 1755–1767, 2003.

ZEGBE-DOMÍNGUEZ, J. A.; BEHBOUDIAN, M. H.; LANG, A.; CLOTHIER B. E. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) **Scientia Horticulturae**, v. 98, p. 505-510, 2003.

ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Antitranspirant activity in the xylem sap of maize plants. **J. Exp. Bot.**, v. 42, p. 317-321, 1991.

ZHANG, J.; TARDIEU, F. Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root system. **Plant and Cell Physiology**. v. 37(5), p. 598-605, 1996.

## CAPÍTULO 1

### **AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM POMAR DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI' IRRIGADO POR MICROASPERSÃO<sup>1</sup>**

---

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

## **AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM POMAR DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI' IRRIGADO POR MICROASPERSÃO**

**RESUMO:** Objetivou-se estudar o manejo de irrigação com déficit hídrico, por meio de irrigação com secamento parcial do sistema radicular das plantas (PRD) visando o aumento da eficiência de uso da água em pomar de lima ácida 'Tahiti' com cinco anos de idade nas condições semiáridas de laçu-BA. Os tratamentos avaliados foram: T1, T2, T3 (PRD 50% ETc) que constituíram de plantas irrigadas por um microaspersor com sua posição alternada a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente, molhando-se lados opostos do sistema radicular; T4 (DI 50% ETc) a irrigação foi fixa em um só lado utilizando um microaspersor por planta; T5 (100% ETc) constituiu o tratamento testemunha utilizando dois microaspersores por planta com posição fixa; e o T6 (DI 25% ETc) a cada intervalo de 21 dias, alternou-se o uso entre 1 e 2 microaspersores por planta. As maiores produtividades foram observadas nos tratamentos T5 e T6, 23,16 e 22,49 t/ha/ano, respectivamente, sendo significativamente superiores aos demais tratamentos ( $P < 0,05$ ). Este resultado demonstra que o efeito de lâmina ocorreu apenas quando a irrigação foi reduzida em 50%. A alternância dos lados de irrigação não apresentou vantagens sobre o tratamento com déficit fixo. Dentre os tratamentos de PRD o tratamento T1 apresentou melhor desempenho com produtividade de 17,12 t/ha/ano e com redução de 26,08% comparado à testemunha. Não houve diferença estatística para eficiência do uso de água, contudo ocorreu a tendência de maiores eficiência para os tratamentos T1 e T4 com 9,32 e 9,48 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, comparado ao tratamento testemunha que obteve média de 6,30 kg/m<sup>3</sup>. Efetivamente, a irrigação com déficit pode ser utilizada como alternativa para o manejo de água no pomar nas condições avaliadas, sem impactos quando se reduz 25% do volume irrigado.

**Palavras – chave:** manejo de irrigação; irrigação com déficit, citrus

## EVALUATION OF IRRIGATION SCHEDULING WITH PARTIAL DRYING OF THE ROOT SYSTEM IN AN ORCHARD OF 'TAHITI' MICRO SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM

**ABSTRACT:** The objective was to study the management of irrigation with water deficit by irrigation with partial root drying (PRD) for optimization of water use in the orchard of 'Tahiti' with 5 years of age in semi-arid conditions of Iaçú-BA. The treatments were: T1, T2, T3 (50% ET<sub>c</sub> PRD) formed from plants irrigated by a microsprinklers with his position alternating every 7, 14 and 21 days, respectively, wet themselves on opposite sides of the root system; T4 (DI 50% ET<sub>c</sub>) irrigation was fixed on one side using one emitter per plant, T5 (100% ET<sub>c</sub>) was the control treatment using two microsprinklers per plant with fixed position; In case of T6, at each interval of 21 days, one and two microsprinklers were used per plant, alternately. The treatments T5 and T6 had the highest yield with 23,6 and 22,9 t/ha/year, respectively, being significantly higher than other treatments ( $P < 0,05$ ). This result demonstrates that the effect of water depth only occurred when irrigation was reduced by 50%. Alternating sides for irrigation had no benefit over treatment compared to fixed deficit. Among treatments, PRD with T1 treatment showed better performance with a yield of 17,2 t/ha/year with a reduction of 26,8% compared to the control. There was no statistical difference for water use efficiency, however there was a tendency for greater efficiency for T1 and T4 with 9,32 and 9,48 kg/m<sup>3</sup>, respectively, compared to the control treatment that had an average of 6,30 kg / m<sup>3</sup>. Indeed, the use of deficit irrigation might be a good alternative for water management in the orchard under the conditions evaluated without impacts when 25% of the irrigated volume is reduced.

**KEY-WORDS:** irrigation management, deficit irrigation, citrus

## INTRODUÇÃO

O incremento da área irrigada na produção agrícola e as limitações ao uso dos recursos hídricos têm exigido a adoção de estratégias para otimizar a eficiência de irrigação e do uso de água pelas culturas na agricultura irrigada. O manejo de irrigação com déficit hídrico, a exemplo do uso regulado de déficit hídrico em fases de crescimento vegetativo (RDI), e a própria utilização de sistemas de irrigação localizada têm sido utilizados com o propósito de aumentar a produção por unidade de água aplicada com manutenção da qualidade do produto.

A partir da década de 90, simultaneamente ao uso do RDI, estudos para otimização da irrigação com déficit hídrico foram desenvolvidos por meio do uso da técnica de secamento parcial do sistema radicular (*Partial rootzone drying* - PRD). Esta técnica constitui na alternância do lado de irrigação no sistema radicular, enquanto parte das raízes são irrigadas, outra parte são expostas ao secamento do solo. Os lados de umedecimento e secamento são alternados com uma frequência que depende do tipo de solo e planta analisada (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

O déficit hídrico, através da estratégia de PRD, tem mostrado que é possível reduzir o uso de água pelas culturas mantendo a produção em um patamar satisfatório, mesmo com impactos no crescimento das plantas. A teoria defendida é que o sistema radicular passa a produzir uma maior quantidade de ácido abscísico (ABA) nas raízes que se transloca pelo eixo vascular, concentrando-se na parte aérea, ocasionando um fechamento parcial dos estômatos e conseqüentemente menor perda de água para atmosfera (DAVIES & ZHANG, 1991 e GOWING et al., 1993).

Segundo Jones (1992) uma pequena redução na abertura estomática pode reduzir substancialmente a perda de água com um mínimo de efeito sobre a absorção de CO<sub>2</sub> e no processo fotossintético. São importantes estudos apurados, em nível de campo, das relações entre fluxo de vapor e dióxido de carbono entre planta e atmosfera que são sabidamente afetados pelos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos, além do conhecimento do impacto das alterações das relações hídricas da planta na produção e qualidade

do produto. Havendo diminuição da utilização de água no processo de transpiração que é responsável por mais de 95% da água absorvida pela planta (COMSTOCK, 2002) e manutenção de produtividade e qualidade do produto, haverá aumento da eficiência de uso pelas plantas.

O secamento parcial do sistema radicular tem sido extensivamente investigado em várias culturas, principalmente em videira (DRY & LOVEYS, 1999, 2000a, b; STOLL & LOVEYS, 2000) e, em menor medida, em outras culturas perenes, por exemplo, Oliveiras (WAHBI et al., 2005), maçã (LEIB et al., 2006), manga (SPREER et al., 2007), Pêra (ABRISQUETA et al., 2008) e Citrus (CEVAT KIRDA, 2007; TREEBY, 2007; RAVEH, 2008).

Durante quatro temporadas na região de Victoria, Austrália, estudos em condição de campo com a cultura da videira, cultivar Shiraz, mostraram que plantas submetidas a tratamento de PRD com redução de 40% da lâmina de irrigação em relação ao tratamento testemunha, irrigado com 100% de sua necessidade hídrica, apresentaram um aumento da eficiência do uso de água respectivamente de 58, 65, 33 e 58% com redução média da produtividade entre 15 à 20% (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

Além da economia de água, outra vantagem atribuída ao manejo com déficit hídrico via PRD é a indução do crescimento de raízes secundárias devido às alterações bioquímicas na planta (STOLL et al., 2000), o que reduz a vulnerabilidade à seca (ZHANG & TARDIEU, 1996) e ainda, um aumento na eficiência de absorção de nutrientes devido a formação de um sistema radicular mais amplamente distribuído no volume de solo, como resultado da alternância dos lados de irrigação (KANG et al., 1998).

O controle do crescimento vegetativo excessivo também é vantajoso, pois aumenta a disponibilidade de fotoassimilados e nutrientes necessários para a formação dos frutos (STIKIC et al. 2003). Um menor vigor vegetativo, também resulta em menor quantidades de água necessária para manter a cultura, menor oportunidade para ataque de pragas e doenças e aumento da exposição dos frutos à luminosidade (KANG et al. 2000; WILEY, 1997).

Um dos fatores determinantes para êxito da técnica de PRD é o tempo de alternância de irrigação entre partes do sistema radicular. O intervalo de alternância ideal deve estimular, por meio do secamento parcial, uma constante emissão de sinais químicos da raiz para as folhas. De acordo a Hare et al. (1997),

Hartung et al. (2002) e Wilkinson & Davies (2002), quando o mesmo lado da planta é mantido seco por longos períodos de tempo, a biossíntese de ABA já não se torna contínua, paralisando o controle estomático e o consumo de água da planta passa a ser normal. Intervalos longos de alternância podem provocar estresse acentuado, suberização da epiderme da raiz, conseqüentemente perda de raízes secundárias, impedindo assim a regeneração das raízes quando hidratada novamente (NORTE & NOBEL, 1991; ASSENG et al., 1998).

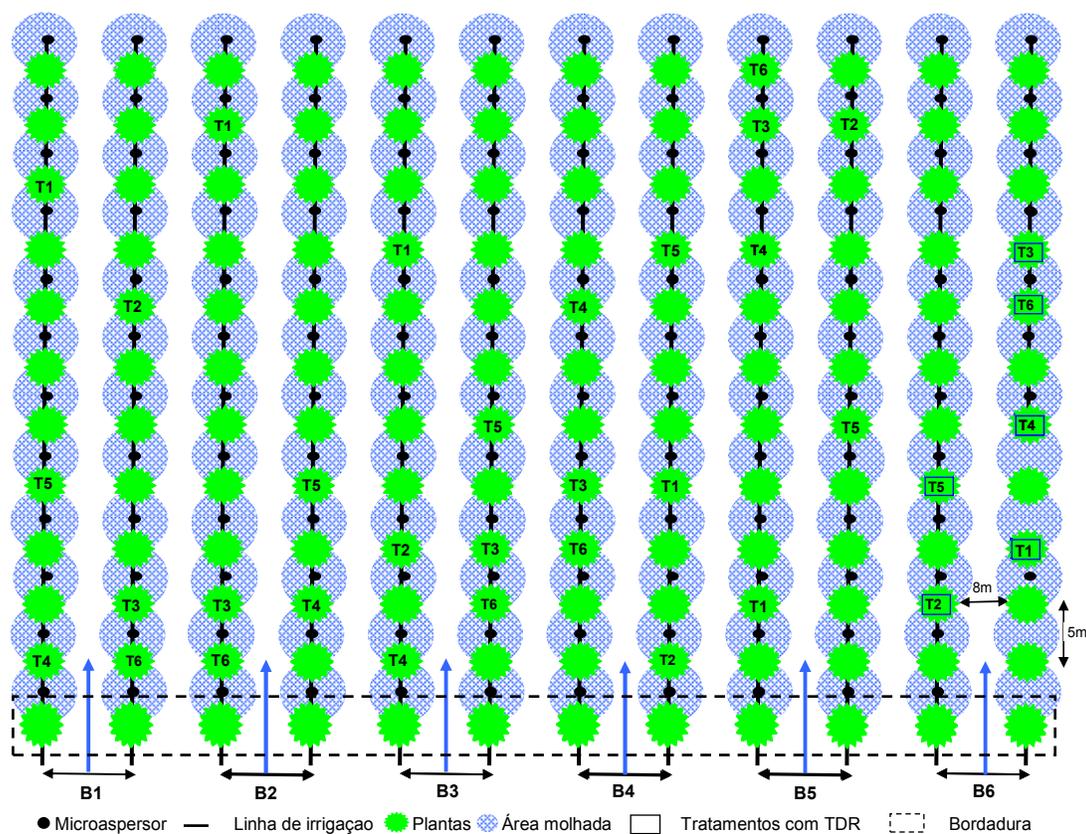
As pesquisas realizadas nos últimos anos com PRD vêm tentando responder como e com que intensidade o mecanismo bioquímico desencadeado por esta técnica influencia na produtividade de uma cultura. Muitos trabalhos relatam a economia de água alcançada pelo método, contudo, observa-se que na maioria das investigações, o déficit hídrico convencional alcança resultados de produtividades semelhantes, a exemplo dos trabalhos de Pudney e McCarthy (2004) para uva, Kirda (2007) para tangerina, Treeby (2007) e Dzikiti (2008) para laranja de umbigo e Zegbe-Domínguez (2003) para tomate.

No Brasil, são poucos os estudos utilizando a técnica de PRD, a exemplo dos de Silva (2005) para a cultura da videira e Coelho Filho et al. (2009) para cultura da Manga. O presente trabalho objetivou estudar o efeito do secamento parcial do sistema radicular, PRD, como estratégia de déficit hídrico para a otimização do uso de água em pomar de lima ácida 'Tahiti' no semi-árido baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na fazenda Boa Vista, pertencente à laçu Agropastoril Ltda, no município de laçu, semi-árido baiano, localizado nas coordenadas geográficas 12°46'00" de latitude sul e 40°13'00" de longitude oeste, com altitude de 280 m. O experimento ocorreu no período de maio de 2008 à agosto de 2009 em pomar de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) com cinco anos de idade, enxertadas em limão 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) no espaçamento de 8,0 x 5,0m.

O delineamento experimental foi blocos casualizados com seis tratamentos e seis repetições (Figura 1). Utilizou-se o próprio sistema de irrigação da fazenda que era microaspersão com emissores de vazão de 19 L h<sup>-1</sup>.

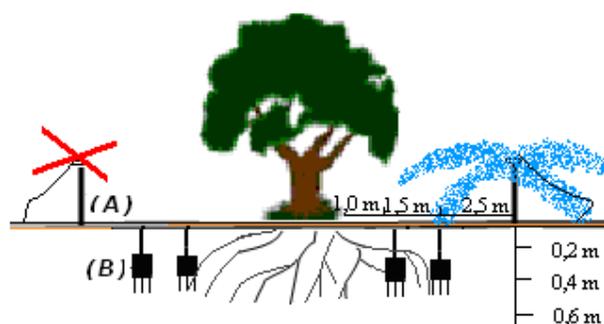


**Figura 1.** Croqui do experimento com déficit hídrico e irrigação com secamento parcial do sistema radicular em lima ácida 'Tahiti'.

As parcelas experimentais foram compostas por uma planta, sendo que, em conformidade com os tratamentos aplicados eram irrigadas com um ou dois microaspersores localizados a 2,5 m do tronco. Os tratamentos analisados foram: T1, T2, T3 (PRD 50% ET<sub>c</sub>) que constituíram de plantas irrigadas por um microaspersor com sua posição alternada a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente, molhado-se lados opostos do sistema radicular; T4 (DI 50% ET<sub>c</sub>) irrigação com déficit hídrico convencional utilizando um microaspersor fixo, molhando apenas um lado do sistema radicular da planta; T5 (100% ET<sub>c</sub>) tratamento testemunha com irrigação fixa utilizando dois microaspersores por planta, molhando simultaneamente os lados opostos do sistema radicular, representando o manejo de irrigação desenvolvido na fazenda; e o T6 (DI 25% ET<sub>c</sub>) que a cada intervalo de 21 dias, alternou-se o uso entre 1 e 2 microaspersores por planta.

Foram utilizados tampões com a finalidade de cortar a irrigação e iniciar o período de secamento de parte do sistema radicular para os tratamentos de PRD. Os micros foram verificados a cada mudança, uma vez que em alguns períodos observou-se excesso de material em suspensão, ocasionando o entupimento.

O regime de secamento e umedecimento do solo foram monitorados em cada lado da planta por meio da técnica de reflectometria de domínio no tempo (TDR) utilizando sondas de 10 cm de comprimento, calibradas para o solo conforme metodologia de Coelho et al. (2006), localizadas a 30 cm de profundidade e posicionadas a 1,0m e 1,5m do caule (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema indicando o posicionamento dos microaspersores em relação à planta (A) e dos sensores de umidade (TDR) (B).

O volume de água aplicado no tratamento testemunha foi estimado pela evapotranspiração da cultura para irrigação localizada ( $ET_c$ ), calculado por meio de medidas de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), utilizando o tanque classe A, localizado em estação meteorológica da própria fazenda a 800 m do experimento, pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e fator de localização ( $K_r$ ) de acordo a Keller & Bliesner (1990) (Equação 1).

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_r \quad (Eq. 1)$$

Sendo:

$ET_c$  – Evapotranspiração da cultura para irrigação localizada;

$ET_o$  – Evapotranspiração de referência;

$K_c$  – Coeficiente de cultivo;

$K_r$  – Fator de localização ( $0,10\sqrt{PAS}$ );

PAS – Porcentagem de área sombreada;

O manejo de irrigação adotado na fazenda foi realizado com turno de rega diário. Para efeito de análise deste manejo procedeu-se um comparativo entre o  $K_c$  adotado e o  $K_c$  sugerido por Allen et al., (1998) corrigido para zonas semi-áridas (Equação 2).

$$K_c = K_{ctab} + [0,04(U2 - 2) - 0,004(RH \text{ min} - 45)] \times \left(\frac{h}{3}\right)^3; \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

$K_c \text{ tab}$  – 0,65 (manual 56 FAO);

$U2$  – velocidade média do vento (m/s);

$RH \text{ min}$  – umidade relativa mínima (%);

$h$  – altura média de plantas (m)

O Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) variou de 0,6 e 1,10 (Tabela 1). Estes valores estão coerentes com os ajustes propostos pelo manual 56 da FAO, corrigido para zona semi-árida. A precipitação pluviométrica foi registrada durante todo experimento por um pluviômetro localizado na estação meteorológica da própria fazenda ao lado do tanque classe A.

**Tabela 1.** Valor mensal acumulado de precipitação,  $ETo$ ,  $ETc$  para irrigação localizada,  $K_c$  utilizado no pomar e estimado para zonas semiáridas (FAO 56) para lima ácida ‘Tahiti’, Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

	2008							2009						
	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Precipitação	43,0	21,5	11,0	10,0	7,0	143,5	125,0	119,5	73,0	11,0	103,0	42,0	8,0	49,0
$ETo$ (mm)	111	120	153	166	200	216	159	155	144	229	134	124	110	120
$ETc$ (mm)	52,3	57,4	73,1	81,8	94,7	105,7	77,9	74,7	70,1	108,9	60,6	61,7	54,5	56,6
$K_c$ adotado	1,01	0,83	0,73	0,76	0,84	0,77	0,60	0,73	0,66	0,73	0,73	0,86	1,10	1,09
$K_c$ estimado	0,68	0,70	0,70	0,73	0,72	0,68	0,72	0,72	0,73	0,73	0,63	0,65	0,68	0,70

O balanço de água no solo foi realizado para identificar os excessos ou déficits extremos, no manejo de irrigação das plantas testemunhas, que pudessem interferir na aplicação dos tratamentos. Utilizou-se como parâmetro a fração de água disponível no solo, obtido por meio da diferença da umidade média na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha (PM), nas tensões -6

Kpa e -1500 Kpa, considerando a profundidade do sistema radicular de 1,0 m e a fração de reposição de água de 0,5 (Equação 3).

$$FAD = (Ug_{cc} - Ug_{pm}) \times ds \times z \times fr \quad (Eq. 3)$$

Sendo:

FAD - Fração de água disponível à planta (mm);

Ug CC - umidade do solo na capacidade de campo (g/kg);

Ug Pm - umidade do solo no ponto de murcha (g/kg);

ds - densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>);

z - profundidade do sistema radicular (m);

fr - fração de reposição de água para citrus

Para determinação da FAD foi utilizado a umidade gravimétrica média do perfil, nas profundidades de 0 à 1,0 m, tanto para capacidade de campo (6 Kpa) e ponto murcha (1500 Kpa), bem como para densidade do solo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Retenção de água no solo em diferentes tensões para três profundidades e densidade do solo, Fazenda Boa vista, laçu-BA.

Retenção de água no solo – Ug (%)							
Profundidade	6 KPa	10 KPa	33 KPa	100 KPa	300 KPa	1500 KPa	ds (g/cm <sup>-3</sup> )
0 – 0,20 m	9,44	8,48	8,29	7,28	6,90	5,55	1,58
0,20 – 0,40 m	9,88	9,24	9,01	7,98	7,54	5,86	1,65
0,40 – 1,00 m	9,75	8,41	7,66	7,30	6,98	5,49	1,56

A adubação foi realizada por meio de fertirrigações distribuídas durante os meses de realização do experimento, utilizando a quantidade de 113 kg/ha de nitrogênio, 52 kg/ha de fósforo e 113 kg/ha de potássio. Para os tratamentos em PRD, devido a redução do volume de água aplicado, foi adicionado os fertilizantes manualmente em quantidade para equiparar a adubação do tratamento controle.

As colheitas foram realizadas a partir da instalação do experimento, entretanto para efeito de análise considerou o período entre o mês de agosto, época que os tratamentos já tinham 80 dias de instalados, e o mês de julho de 2009. Para análise da eficiência de uso de água (EUA) foram consideradas as lâminas de irrigação dos 80 dias anteriores à primeira colheita. A EUA foi calculada em todos os tratamentos levando em conta a produtividade total dos

frutos e a lâmina bruta de água aplicada através da irrigação, conforme a equação:

$$EUA = \frac{P}{LBA} \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo:

EUA - Eficiência do uso de água ( $\text{Kg m}^{-3}$ );

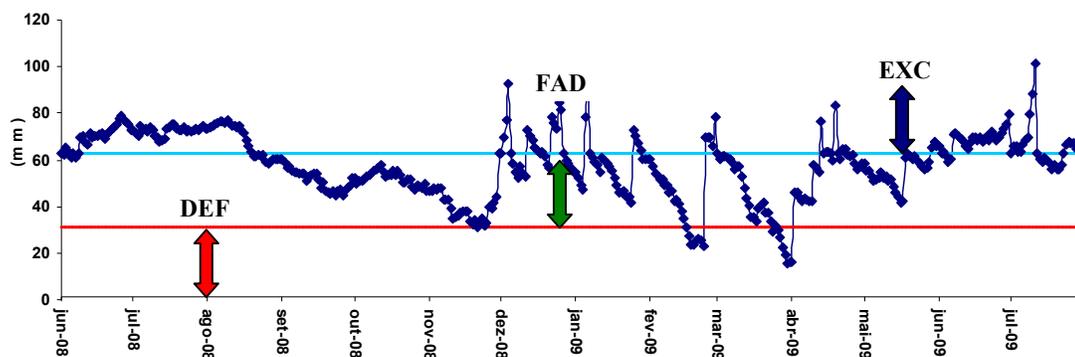
P - Produtividade total, ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

LBA = Lâmina bruta de água aplicada no pomar ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )

Além da análise global de produção e EUA, realizou-se uma análise separada no período do verão e do inverno, com a finalidade de se detectar o efeito dos tratamentos nas diferentes épocas do ano. O peso médio e o diâmetro equatorial de frutos também foram analisados. Procedeu-se a coleta de dez frutos por planta, sendo estes acondicionados em sacos plásticos previamente identificados e levados ao laboratório de fisiologia vegetal do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical (CNPMT) onde foram pesados em balança analítica. Posteriormente o diâmetro equatorial de frutos foi medido com o auxílio de um paquímetro convencional. As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e ao teste de Scott-knott para diferenciação das médias a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como frequentemente se observa em pomares irrigados, a dificuldade de operacionalidade do sistema de irrigação, frente a grande demanda da fazenda, possibilitou uma redução da disponibilidade de água no solo abaixo da FAD no decorrer do experimento (Figura 3), o que aumentou mais a severidade dos tratamentos com déficit hídrico. Salienta-se que os déficits ocorreram, no período das chuvas, chegando a limites críticos nos meses entre novembro e abril possivelmente por não se realizar na prática o manejo de irrigação baseado na umidade do solo. Os limites máximos e mínimos de armazenamento de água estiveram entre 62,71 e 31,35 mm, respectivamente, indicando a faixa ótima de umidade para as plantas.



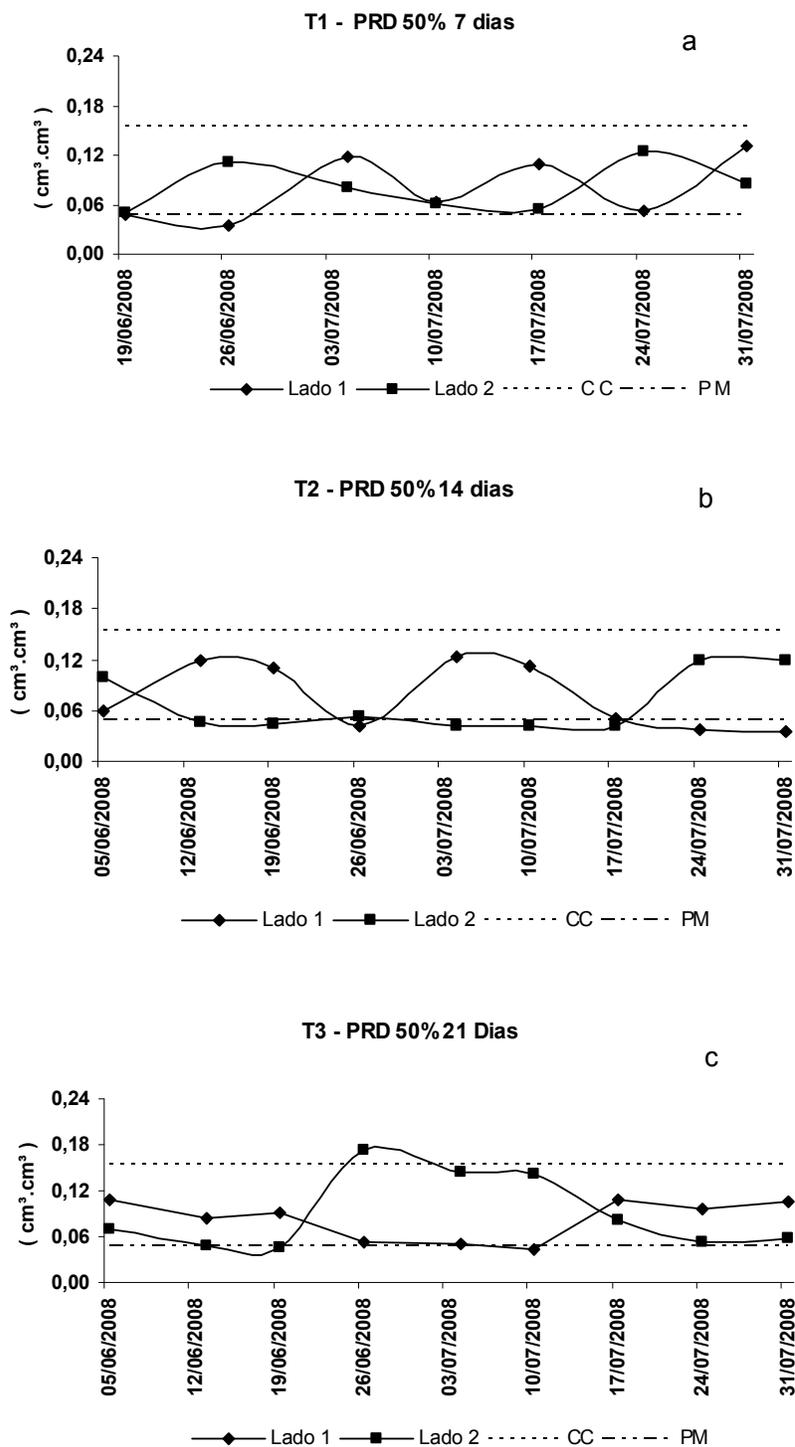
**Figura 3.** Fração de água disponível (FAD), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) em pomar irrigado de lima ácida 'Tahiti', nos meses de junho de 2008 a julho de 2009, Fazenda Boa Vista, laçu- BA.

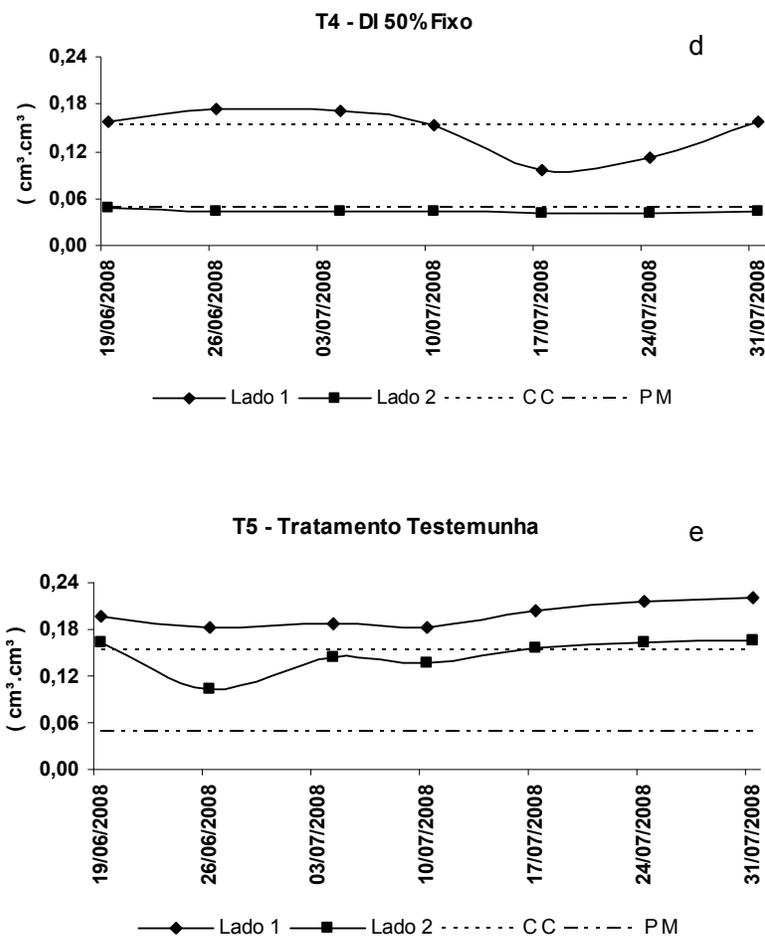
As umidades do solo na zona radicular, monitorada nos dois lados da planta, apresentaram valores compatíveis ao manejo com déficit hídrico, caracterizando os tratamentos aplicados (Figuras 4 a, b, c, e). Observam-se valores ao longo do tempo variando em cada lado do sistema radicular entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, dependendo da estratégia de déficit hídrico adotada.

O tratamento T1 indicou que a estratégia de alternância do lado de irrigação no sistema radicular da planta a cada 7 dias foi suficiente para oscilação da umidade entre a capacidade de campo e ponto de murcha (Figura 4a). Estudos com PRD realizados por Coelho et. al., (2007), trabalhando com monitoramento de umidade por meio de sondas de TDR, em experimentos também realizados na fazenda Boa Vista com a cultura da mangueira, mostraram que o intervalo de alternância da irrigação de 7 dias foi suficiente para redução da água disponível abaixo da capacidade de campo, sendo o intervalo em que parte das raízes de um lado da planta cessa a absorção de água e passa a restringir o processo transpiratório.

Como esperado nos tratamentos T2 e T3 com período de alternância de 14 e 21 dias, respectivamente, o sistema radicular foi submetido a um maior tempo de secamento e umedecimento em um mesmo lado do sistema radicular refletindo nos valores de umidade (Figura 4b e c). Já para o tratamento de déficit fixo, T4, as umidades apresentaram-se constantes, de um lado, valores superiores ou próximos da capacidade de campo e do outro sempre abaixo do ponto de murcha (Figura 4d). Em relação ao tratamento testemunha, T5, irrigado

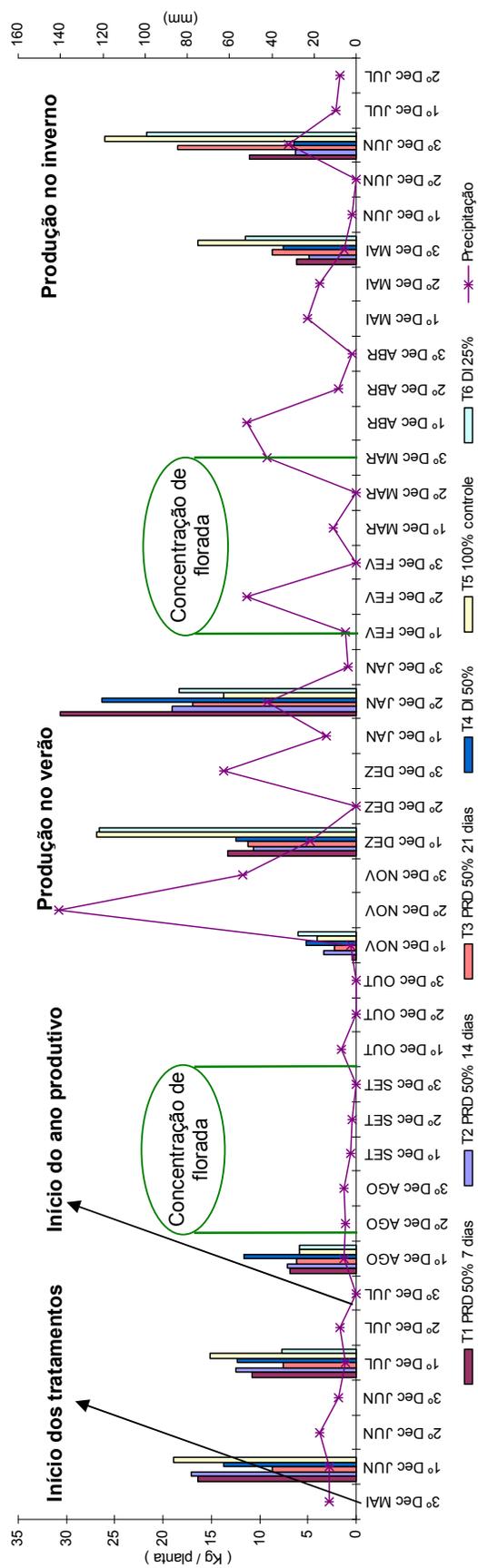
com dois microspersores, as umidades de ambos os lados permaneceram próximo ou superior à capacidade de campo (Figura 4e).





**Figura 4** (a, b, c, d, e). Média da umidade do solo nos dois lados do sistema radicular da planta, obtidas por TDR a 0,30 m de profundidade, Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

Na Figura 5 estão apresentadas as produções de cada tratamento durante a realização do experimento e as precipitações acumuladas por decêndios. A época do verão caracterizou-se como o período de maior acúmulo de chuva, bem como maior evapotranspiração da cultura, conforme dados apresentados na Tabela 1. Observa-se também na Figura 5, que a concentração de florada entre os meses de agosto e setembro foram responsáveis pelas colheitas no verão, assim como, as floradas entre fevereiro e março de 2009 originaram a produção de frutos no período do inverno.



**Figura 5.** Produtividade média de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ submetida a tratamentos de irrigação utilizando PRD e média da precipitação pluviométrica na Fazenda Boa Vista, no período de Junho de 2008 à Julho de 2009, laço – BA.

Considerando a produção anual de frutos, houve diferença significativa entre os tratamentos estudados ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott (Tabela 3). Os tratamentos T5 e T6 obtiveram produtividade superior aos demais, apresentando 23,16 e 22,49 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, atendendo a média nacional de 22,43 t ha<sup>-1</sup> para pomares de cinco anos de idade (FAO, 2009). Este resultado demonstra que o efeito de lâmina ocorreu apenas quando a irrigação foi reduzida em 50%. Entre os tratamentos de déficit hídrico de 50% não houve diferença estatística significativa.

**Tabela 3.** Produtividade média de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ submetida à irrigação com PRD, eficiência de uso de água (EUA), diâmetro e peso médio de frutos, no período de agosto de 2008 à julho de 2009, Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

Tratamentos	Produção (ton/ha)	EUA (Kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro de Frutos (cm)	Peso de Frutos (g)
T1 - PRD 7 dias	17,12 b	9,32 a	5,37 a	94,92 a
T2 - PRD 14 dias	12,82 b	6,98 a	5,43 a	96,73 a
T3 – PRD 21 dias	15,93 b	8,67 a	5,53 a	101,71 a
T4 – DI Fixo 50%	17,41 b	9,48 a	5,24 a	88,21 a
T5 - Testemunha	23,16 a	6,30 a	5,49 a	97,80 a
T6 – DI 25%	22,49 a	8,16 a	5,47 a	98,00 a
Média	18,16	8,15	5,43	96,65
CV (%)	29,45	27,39	2,73	7,19

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A alternância dos lados de irrigação não apresentou vantagens sobre o tratamento com déficit fixo (T4), este, com rendimento de 17,41 t ha<sup>-1</sup> estatisticamente igual ao das plantas submetidas ao PRD. Considerando os valores brutos de produtividade, observou-se dentre os tratamentos de PRD, um melhor desempenho para o tratamento com inversão dos lados a cada 7 dias (T1), apresentando produtividade de 17,12 t ha<sup>-1</sup>, com redução de 26,08% comparado à testemunha (Tabela 3).

Segundo Kirda (2007), estudos realizados com PRD na Turquia, em tangerina (*Citrus reticulata* cv. Marisol), mostraram uma redução de 10% na produção de frutos quando comparou tratamentos de PRD com redução de 50% da lâmina de irrigação em relação ao tratamento testemunha. Neste trabalho também verificou rendimentos parecidos utilizando a técnica de PRD e DI. Ainda de acordo com o autor não foi observado efeito negativo na produção com redução da lâmina de 30%.

Na região de Negev, Noroeste de Israel, Raveh (2008) ao testar diferentes

estratégias para produção de limão na entre safra, observou que a utilização da técnica de PRD em um período de 60 dias ininterruptos e em seguida irrigação plena, não diferiu estatisticamente do rendimento das plantas do tratamento controle que foram irrigadas atendendo totalmente a sua necessidade hídrica. Ao mesmo tempo, este autor também verificou que a alternância dos lados de irrigação não ofereceu vantagens sobre o tratamento com déficit fixo, corroborando, portanto, com os resultados encontrados por Kirda (2007) e também por este trabalho.

Experimentos com laranja de umbigo (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) na região semi-árida da África do Sul, com precipitação de 700 a 800 mm, confirmaram essa tendência, no qual a redução da lâmina de irrigação em 50% não afetou a produtividade e a alternância de irrigação não teve efeito em relação ao déficit hídrico (DZIKITI et al., 2008).

Ainda em relação a Tabela 3, não houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) para as variáveis diâmetro e peso médio de fruto. Isto mostra a rusticidade dos citruses, mais especificamente do limoeiro às condições adversas. Em condições de restrição de água ou custo elevado, a alternativa de déficit hídrico é muito atraente quando as perdas nas produções são reduzidas. Além disto, a qualidade de frutos precisa ser avaliada, pois, é fator determinante para escoamento e/ou processamento dos mesmos.

Júnior (2006) ao estudar o efeito de níveis de irrigação com 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência em plantas de lima ácida 'Tahiti', pomar com idade de quatro anos, detectou durante dois anos consecutivos que não houve diferença estatística para produção e diâmetro de frutos, além disso, a espessura da casca, acidez, pH e sólidos solúveis não apresentaram diferenças. Já em experimento com tangerina, Kirda (2007) observou uma redução no peso médio de frutos e no diâmetro com o decréscimo de 50% da lâmina de irrigação, contudo, os tratamentos de déficits, PRD e DI avaliados, apresentaram valores semelhantes.

Spreer et al. (2007) testaram durante dois anos os efeitos do PRD e DI em manga reduzindo a lâmina de irrigação 50% do tratamento testemunha e constataram que apesar da redução marginal na produção, o desenvolvimento e a qualidade pós-colheita dos frutos não foram influenciados negativamente. Treeby (2007) ao testar PRD e DI em laranja de umbigo enxertada em cinco portas-enxertos diferentes, utilizando uma redução média de 40% da lâmina aplicada durante dois anos de estudos, observou produção de maior número de frutos com peso reduzido

e menor quantidade de suco, comparado com o tratamento controle, entretanto, o resultado global da produção não foi afetado.

Em relação a produção de frutos no período do verão, não foi detectada diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. A boa disponibilidade de água nas fases mais sensíveis ao déficit hídrico, floração e pegamento de frutos, entre os meses de agosto a outubro de 2008, dados apresentados na Figura 3, e as precipitações ocorridas nos meses de novembro, dezembro e janeiro, Figura 5, contribuíram para um bom rendimento dos tratamentos, inclusive dos submetidos ao déficit de 50% da lâmina de irrigação.

**Tabela 4.** Produtividade de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ submetida à irrigação com PRD, eficiência de uso de água (EUA) nas épocas de verão e inverno, no período de 2008 à julho de 2009, Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

Tratamento	Produção verão (ton/ha)	Produção inverno (ton/ha)	EUA verão (Kg/m <sup>3</sup> )	EUA inverno (Kg/m <sup>3</sup> )
T1 - PRD 7 dias	11,11 a	4,30 b	13,05 a	5,76 a
T2 - PRD 14 dias	8,24 a	2,80 b	9,68 a	3,74 a
T3 – PRD 21 dias	7,60 a	6,80 b	8,93 a	9,10 a
T4 – DI Fixo 50%	11,00 a	3,50 b	12,91 a	4,69 a
T5 - Testemunha	11,12 a	10,60 a	6,53 a	7,09 a
T6 – DI 25%	12,74 a	8,30 a	9,98 a	7,41 a
Média	41,22	24,17	10,18	6,3
CV (%)	40,16	44,39	36,75	53,50

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Considerando os valores brutos de produtividade, a tendência de menores rendimentos por parte dos tratamentos T2 e T3 (PRD 14 e 21 dias), no período do verão, atribui-se possivelmente a falta de adaptação do sistema radicular a períodos longos de secagem e umedecimento na alternância dos lados de irrigação, e baixa capacidade de recuperação ao déficit hídrico com as chuvas ocorridas neste período. A relação raiz/copa pode aumentar quando ocorre um período de deficiência hídrica, como estratégia da planta para maior extração de água. Existindo uma unidade limiar para planta alocar biomassa quando submetida ao déficit de água no solo. Quando a planta é submetida ao secamento extremo do solo essa capacidade de resposta pode ser perdida (Xu, 2010).

Esta hipótese é reforçada pelos rendimentos dos tratamentos T1 (PRD 7 dias) e T4 (DI Fixo), ambos, também com redução de 50% da lâmina água aplicada, contudo a alternância semanalmente dos lados de molhamento e secamento, no primeiro caso, e adaptação do sistema radicular a um molhamento fixo, em parte

das raízes, no segundo caso, podem ter contribuído para um melhor desempenho, comparados aos tratamentos T2 e T3.

A tendência de menores produtividades por parte dos tratamentos de PRD com período de alternância maiores corroboram com a afirmação de Norte & Nobel (1991) e Asseng et al. (1998), pois segundo eles, o tempo de alternância da irrigação é muito importante, pois ele está diretamente relacionado com a possibilidade, em caso de alto estresse, de suberização da epiderme da raiz, conseqüentemente perda de raízes secundárias, impedindo assim a regeneração das raízes quando hidratada novamente.

Já no período do inverno houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos para produção de frutos (Tabela 4). Os tratamentos com déficit hídrico de 50% obtiveram uma redução de até 74% observados entre os tratamento T2 e T5 com médias de  $2,8 \text{ t ha}^{-1}$  e  $10,6 \text{ t ha}^{-1}$ . A redução de 25% na lâmina aplicada no tratamento T6 não afetou a produção. A diferença de produtividade nesta época de produção, entre a testemunha e tratamentos com redução da lâmina de 50%, sofreu influência da redução da fração de água disponível no solo (FAD) no período de floração, mês de fevereiro a março, o que causou maior severidade do déficit hídrico ao pegamento de frutos (Figura 3). Contrariando esta tendência o tratamento T3 que alcançou o menor rendimento no verão, se destacou entre os demais submetidos ao déficit hídrico de 50%, alcançando produtividade de  $6,8 \text{ t ha}^{-1}$ . Este rendimento pode ser explicado, possivelmente, devido ao armazenamento de reservas em períodos anteriores, revestido em produção de frutos na época do inverno.

Ainda em relação as Tabelas 3 e 4, não houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos quando avaliada a eficiência de uso da água (EUA), tanto para período anual, bem como para as épocas de verão e inverno. Ao observar os valores brutos de EUA, houve como esperado a tendência de aumento para os tratamentos em déficit, destacando o T1 e T4 com  $9,32$  e  $9,48 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente, comparado ao tratamento T5 que obteve média de  $6,30 \text{ kg/m}^3$ .

Quando comparamos a EUA por época de colheita, observa-se maior eficiência no uso de água das plantas no período do verão, em conseqüência do maior percentual de colheita em relação à época do inverno. A EUA do período do inverno para os tratamentos em déficit de 50%, com exceção para T3 (PRD 21 dias) foi menor que o tratamento controle, devido a grande redução na produção. Este resultado é atribuído a problemas existentes no manejo de água do pomar conforme

discutido anteriormente, acentuando o efeito da deficiência hídrica no período do inverno, Figura 3. É interessante observar, também, que a produtividade do tratamento T6 (DI 25%) reduziu em relação ao T5 (100%) no período de inverno, podendo estar associado a esse fator.

Kirda (2007) observou em tangerina uma maior eficiência para os tratamentos com déficit, comparado ao tratamento com irrigação total, entretanto, corroborando com o presente estudo, os tratamentos DI e PRD não apresentaram diferenças estatísticas. Segundo o autor, no primeiro e segundo ano de estudo os resultados médios de EUA para o tratamento com irrigação plena foram 4,0 e 5,6 kg/m<sup>3</sup> respectivamente e para os tratamentos com déficit 9,0 e 15,0 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Cruz et al. (2005) ao estudar evapotranspiração real de um pomar com a variedade de laranja 'Valencia', enxertada sobre limoeiro cravo com 11 anos de idade, encontrou uma eficiência de uso de água variando entre 1,57 a 4,53 kg/m<sup>3</sup>.

O que se tem buscado nos estudo com PRD é otimizar o uso da água, possibilitando a produção comercial dos frutos. Segundo Zhang & Davies (1990; 1991), Bacon et al. (1998) o mecanismo de sinalização da raízes impede a transpiração de "luxo" levando a economia de água quando as raízes são expostas a uma secagem parcial. Segundo Davies et al. (2000) quando a produção permanece em patamar parecido e a eficiência aumenta, mesmo com níveis de irrigações menores, compreende-se que ocorreu um redirecionamento de assimilados destinado ao crescimento vegetativo para priorizar a produção de frutos.

Os experimentos cujos resultados das técnicas de PRD e DI são semelhantes deduzem que a economia de água torna-se possível devido ao déficit e não ao método de irrigação utilizado. De maneira geral, muitos estudos têm avaliado apenas lâmina de irrigação, não atentando para o período de alternância dos lados de irrigação, embora seja fator de grande importância para o êxito do método, precisando também ser levado em conta o tipo de solo e a espécie de planta estudada. Sadras (2009) realizou meta análise de um grupo de dados relacionados à eficiência do uso da água para os métodos PRD, déficit hídrico e irrigação convencional e constatou que em 80% dos casos a EUA foi maior, variando próximo dos 20%, com a utilização do déficit, PRD ou DI. Apenas em 20% dos casos a EUA para tratamentos submetidos ao PRD foi superior ao déficit hídrico convencional. Quando comparou a técnica de PRD com irrigação convencional, utilizando mesma lâmina de água aplicada, observou superioridade para produção de frutos em 5%.

## CONCLUSÕES

- O tratamento testemunha (T5) proporcionou maior produtividade de frutos devido a maior quantidade de água aplicada. Entretanto observou-se que a redução da lâmina de irrigação em 25% não reduziu a produtividade nas condições em que o experimento foi realizado;
- Dentre os tratamentos que utilizaram a técnica de secamento parcial de raiz, o T1 com a alternância dos lados de irrigação a cada 7 dias, apresentou tendência de maiores rendimentos quando observamos valores globais de produtividade. A maior frequência na alternância dos lados de irrigação reduziu o efeito drástico do déficit hídrico, resultando em uma redução de 26,08% na produtividade, comparado ao tratamento testemunha;
- Levando em consideração a produção total, os tratamentos de PRD (T1, T2 e T3) não apresentaram vantagens sobre o tratamento com déficit fixo (T4), obtendo produtividades semelhantes estatisticamente, nas épocas de verão e inverno, bem como na produção anual;
- O maior percentual de frutos foi colhido no verão e neste período não se observou diferença estatística entre os tratamentos de déficit hídrico (PRD e DI) e testemunha. Sendo um indicativo, nas condições estudadas, de melhor período para aplicar o manejo com o déficit como estratégia para otimização do uso da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRISQUETA, J. M.; MOUNZER, O.; LVAREZ, S. A.; CONEJERO, W.; GARCÍA-ORELLANA, Y.; TAPIA, L. M.; VERA, J.; ABRISQUETA, I.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. **Agricultural water management**, v. 95, p. 959-967, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and drainage Paper, 56).

ASSENG, S.; RITCHIE, J. T.; SMUCKER, A. J. M; ROBERTSON, M. J. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. **Plant Soil**. 201: 265-273, 1998.

BACON, M.; WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. pH-regulated cell expansion is ABA dependent. **Plant Physiology**, 118: 1507-1515. 1998.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, V. V. M.; VELLAME, L. M.; SANTANA, J. A. do VALE. Manejo de irrigação com déficit (PRD) em pomar de manga 'KENT' no semiárido baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2009. Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais, 2009. 202 p.

COELHO, E. F.; SANTANA, J. A. do VALE.; COELHO FILHO, M. A.; VEIMROBER JUNIOR, L. A. A. Umidade do Solo sob Manejo de Irrigação pelo Molhamento Parcial do Sistema Radicular. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007. Gramado. **Anais...**Rio Grande do Sul, 2007. 4p.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; LEDO, C. A. da S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 23-30, 2006.

COMSTOCK, J. P. Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, n. 367, p. 195-200. 2002.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C. R.; CARVALHO, L. A.; Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 659-668, 2005.

DAVIES, W. J.; HARTUNG, W. Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity? In: **Proceedings of the 4th International Crop Science Congress**, Sep. 26-Oct. 1, Brisbane, Australia, 2004.

DAVIES, W. J.; M. A.; BACON, D. S.; THOMPSON, W.; SOBEIH AND L. G. RODRIGUEZ. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. **J. Exp. Bot.** v. 51, p. 1617- 1625, 2000.

DAVIES, W. J.; S. WILKINSON, LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytol.** V. 153, p. 449-460, 2002.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J.; Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42. p. 55 – 70, 1991.

DODD, I.; STIKIC, R.; DAVIES, W. J. Chemical regulation of gas exchange and growth of plants in drying soil in the field. **J. Exp. Bot.** v. 47, p. 1475-1490, 1996.

DRY, P. R., LOVEYS, B. R. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. **Vitis**, n. 38, p. 151-156, 1999.

DRY, P.R., LOVEYS, B. R. Partial drying of the rootzone of grape I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. **Vitis**, n. 39, p. 3-7, 2000a.

DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Partial drying of the rootzone of grape II. Changes in the pattern of root development. **Vitis**, n. 39, p. 9-12, 2000b.

DZIKITI, S.; LEMEURE, R.; STEPPE, K. Partial Rootzone Drying of Drip Irrigated 'Navel' Orange Trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] under Semi-Arid Tropical Conditions, **Acta Hort**, n. 792, ISHS 2008.

FAO STATISTICAL YEARBOOK, 2009. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org/siti/339/default.aspx>. Acesso em: 29 de mar. 2010.

GOWING, D. J.; DAVIES, W. J.; JONES, H. G. A positive rootsourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus domestica* Borkh. J. **Exp. Bot.** v. 41, p. 1535-1540, 1993.

HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. The involvement ocytokinins in plant responses to environmental stress. **Plant Growth Regulation**, vol. 23, pp. 79-103, 1997.

HARTUNG, W.; SAUTER, A.; Hose, E. Absciscic acid in the xylem: where does it come from, where does it go to? **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 27-32, 2002.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**: A quantitative approach to environmental plant physiology, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 428 p, 1992.

JUNIOR, J. A. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. Piracicaba, 2006. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ.

KANG, S., LIANG, Z., HU, W.; ZHANG, J. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant. **Agricultural Water Management**, v. 38, p. 69-76, 1998.

KANG, S.; WENJUAN, S.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, vol. 67, pp. 207-214, 2000.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KIRDA, C.; TOPALOGLU, F.; TOPÇU, S.; KAMAN, H. Mandarin Yield Response to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, p. 1-10, 2007.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. **Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying**. Irrigation Insights N. 3. Land & Water Australia, Canberra. 2003

LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K.; JABRO, J. J.; Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. **Irrig. Sci.** v. 24, p. 85-99, 2006.

LOVEYS, B.; GRANT, J.; DRY, P.; MCCARTHY, M. **Progress in the development of Partial Rootzone Drying**. In 'The Australian Grapegrower & Winemaker', p. 18-20, 1997.

NORTH, G. B.; NOBEL, P. S. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of *Agave deserti* (Agavaceae). **Am. J. Bot.** v. 78, p. 906-915, 1991.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R. O. P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. **Anais...** EMBRAPA/CNPMS, v.1, p. 449 (131-146), 1995.

PUDNEY, S.; MCCARTHY, M. G. Water use efficiency of field grown chardonnay grapevines subjected to partial rootzone drying and deficit irrigation. In R.L. Snyder (ed.) 4th International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. **Acta Horticulturae**, p. 567-573, 2004.

RAVEH, E. Partial Root-Zone Drying as a Possible Replacement for 'Verdelli' Practice In Lemon Production. **Acta Horticulturae: V International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops**. Ed. I. Goodwin. Cidade Mildura, Austrália, 30 June 2008.

SADRAS, V. O. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. **Irrig Sci**, v. 27, p. 183-190, 2009.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A. **Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego Deficitario Controlado en cultivos y leñosos**. In: zapata, M. & Segura, P.; eds. Riego Deficitario Controlado. Mundi prensa. Madrid, p. 43-63. 1995.

SILVA, J.A.M. **Irrigação lateralmente alternada e com déficit controlado na videira cv. Petite Syrah**. Viçosa: UFV, 2005. 92p. Dissertação (Mestrado).

SOBEIH, W.Y.; DODD, I. C.; BACON, M. A.; GRIERSON, D.; DAVIES, W. J. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. **J. Exp. Bot.** v. 55, p. 2353-2363, 2004.

SPREER, W.; NAGLE, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.; ONGPRASERT, S.; MÜLLER, J. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. 'Chok Anan'). **Agricultural Water Management**, v. 88, p. 173-180, 16 March 2007.

STIKIC, R.; POPOVIC, S.; SRDIC, M.; SAVIC, D.; JOVANOVIC, Z.; PROKIC, L. J.; ZDRAVKOVIC, J. Partial root-zone drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Special Issue: p. 164-171, 2003.

STOLL, M.; LOVEYS, B.; DRY, P. Whole Plant Integration and Agriculture Exploitation. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1627-1634, 2000.

TREEBY, M. T.; HENRIOD, R. E.; BEVINGTON, K. B.; MILNE, D. J.; STOREY, R. Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. **Agricultural water management**. n. 91, p. 24-32. 2007.

WAHBI, S.; WAKRIM, R.; AGANCHICH, B.; TAHI, H.; SERRAJ, R. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. **Physiological and agronomic responses**. *Agric., Ecosys. Environ.* n. 106, p. 289–301, 2005.

WILEY, S. Trialling new techniques to grow better fruit. **The Australian Grapegrower & Winemaker**, vol. May, 1997.

WILKINSON, S., DAVIES, W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. **Plant Cell Environ.** v. 25, p. 195-210, 2002.

XU, Z.; Zhou, G.; Shimizu, H. Plant responses to drought and rewatering. **Plant Signaling & Behavior**, V. 5:6, p. 1-6, June 2010.

ZEGBE-DOMÍNGUEZ, J. A.; BEHBOUDIAN, M. H.; LANG, A.; CLOTHIER B. E. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) **Scientia Horticulturae**, v. 98, p. 505-510, 2003.

ZHANG, J. DAVIES, W. J. Antitranspirant activity in the xylem sap of maize plants. **J. Exp. Bot.** v. 42, p. 317-321, 1991.

ZHANG, J. DAVIES, W. J. Changes in the concentration of ABA in xylem sap as function of changing soil water status will account for changes in leaf conductance. **Plant Cell Environ.** v. 13, p. 277-285, 1990.

ZHANG, J.; TARDIEU, F. Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root system. **Plant and Cell Physiology**, v. 37, p. 598-605, 1996.

## **CAPÍTULO 2**

**INDICADORES FISIOLÓGICOS DA LIMA ÁCIDA 'TAHITI' SUBMETIDAS À  
DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO SEMIÁRIDO  
BAIANO**

## INDICADORES FISIOLÓGICOS DA LIMA ÁCIDA 'TAHITI' SUBMETIDAS A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO SEMIÁRIDO BAIANO

**RESUMO:** O presente trabalho teve o objetivo de avaliar indicadores fisiológicos em plantas de lima ácida 'Tahiti' submetidas à irrigação com déficit hídrico enfatizando a técnica do secamento parcial do sistema radicular (PRD), nas condições semiáridas de laçu-BA. Ao longo do tempo foram monitoradas a condutância estomática ( $g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a resistência estomática ( $R_s - \text{cm s}^{-1}$ ), a transpiração foliar ( $T_f - \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a temperatura foliar ( $T_p - ^\circ\text{C}$ ), o potencial hídrico de ramos ( $\Psi_{wf} - \text{MPa}$ ) e densidade de fluxo de seiva ( $u - \text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Os tratamentos avaliados foram: T1, T2, T3 (PRD 50% ETc) que constituíram de plantas irrigadas por um microaspersor com sua posição alternada a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente, molhando-se lados opostos do sistema radicular; T4 (DI 50% ETc) a irrigação foi fixa em um só lado utilizando um microaspersor por planta; T5 (100% ETc) constituiu o tratamento testemunha utilizando dois microaspersores por planta com posição fixa; e o T6 (DI 25% ETc) a cada intervalo de 21 dias, alternou-se o uso entre 1 e 2 microaspersores por planta. Houve tendência dos maiores valores de  $g_s$  e  $T_f$  para os tratamentos que receberam maiores níveis de irrigação (T5 e T6). Estatisticamente ( $p < 0,05$ ) comprovou-se que a alternância dos lados de irrigação a cada 7 dias desenvolveu o mecanismo de maior controle estomático e redução da transpiração foliar. No período avaliado, houve aumento dos parâmetros  $g_s$  e  $T_f$  do inverno para o verão e maiores valores nos horários entre 11h e 13h40min. Houve resposta ao déficit aplicado ao se analisar o  $\Psi_{wf}$ ,  $T_p$  e  $u$ . Com base nestes resultados discutem-se os efeitos do déficit hídrico e implicações na eficiência do uso da água.

**Palavras – chave:** Condutância estomática, transpiração, citrus

## PHYSIOLOGICAL INDICATORS OF THE ACID LIME 'TAHITI' SUBMITTED TO DIFFERENT DEFICIT IRRIGATION STRATEGIES IN THE SEMI ARID OF BAHIA STATE

**ABSTRACT:** The present work had the objective of evaluating physiological indicators in plants of the acid lime 'Tahiti' subjected to irrigation water deficit enphasising partial rootzone drying (PRD) technique, in semi-arid conditions of laçu-BA. Measurements of stomatal conductance ( $g_s$  –  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), stomatal resistance ( $R_s$  –  $\text{cm s}^{-1}$ ), transpiration ( $T_f$  –  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), leaf temperature ( $T_p$  -  $^{\circ}\text{C}$ ), water potential of twigs ( $\Psi_{wf}$  - MPa) and sap density flow ( $u$  –  $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) were taken with time. The treatments were: T1, T2, T3 (50%  $ET_c$  PRD) formed from plants irrigated by a microsprinklers with his position alternating every 7, 14 and 21 days, respectively, wet themselves on opposite sides of the root system; T4 ( DI 50%  $ET_c$ ) irrigation was fixed on one side using one emitter per plant, T5 (100%  $ET_c$ ) was the control treatment using two microsprinklers per plant with fixed position; In case of T6, at each interval of 21 days, one and two microsprinklers were used per plant, alternately. There was a tendency of larger values of  $g_s$  e  $T_f$  that received larger amount of irrigation (T5 e T6). The changing of irrigation sides every 7 days resulted statistically ( $p < 0,05$ ) in a technique for stomatal control and transpiration reduction. There was an increase of  $g_s$  and  $T_f$  from winter to summer and larger values during the period of 11h and 13h40min. There was response to the applied water deficit when  $\Psi_{wf}$ ,  $T_p$  and  $u$  were analysed. Based on these results, the effect of water deficit and the implications on water use efficiency are discussed.

**Key-words:** stomatal conductance, transpiration, citrus

## INTRODUÇÃO

A otimização dos recursos hídricos torna-se necessário principalmente em regiões semiáridas onde há baixa precipitação pluviométrica e sua distribuição ocorre em poucos meses do ano. Observa-se no campo da pesquisa, várias estratégias com o objetivo de aumentar a eficiência de sistemas de irrigação e do uso da água pelas culturas. Neste último caso, ganha relevada importância o conhecimento fisiológico das relações hídricas do vegetal em estudo.

A partir do início da década de 90, uma nova estratégia de manejo de irrigação começou a ser investigada com o objetivo de aumentar a eficiência de uso da água pelas culturas. Conhecida como *Partial rootzone drying* (PRD) – irrigação com secamento parcial do sistema radicular, foi observada inicialmente por John Possingham e Brian Loveys em plantios de uva no sul da Austrália (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

Em seguida outros experimentos avaliaram o impacto do PRD em diferentes regiões, em maior escala com a cultura da videira (DRY & LOVEYS, 1999, 2000a, b; STOLL & LOVEYS, 2000), além de estudos com oliveiras (WAHBI et al., 2005), maçã (LEIB et al., 2006), manga (SPREER et al., 2007), Pêra (KANG et al., 2002a) e Citrus (KIRDA, 2007; TREEBY, 2007; RAVEH, 2008).

Na irrigação com PRD, parte do sistema radicular da planta é irrigado e a outra parte é submetido ao secamento do solo. Os lados de irrigação são alternados com uma frequência que depende de diversos fatores, como espécie de planta, tipo de solo e condições climáticas.

Segundo Davies e Zhang (1991), a alternância de irrigação, em parte das raízes, induz o mecanismo de redução de perda de água através do fechamento dos estômatos. As reduções na abertura estomática são atribuídas à sinalização química de ácido abscísico (ABA) que se deslocam a partir das raízes para a parte aérea. Experimentos conduzidos por Hartung et al. (2002) e Zhang et al. (2001) mostraram que o fechamento estomático ocorreu quando o potencial hídrico foliar não tinha sido ainda afetado, reforçando a teoria da emissão de sinais químicos das raízes para a parte aérea.

Muitos estudos comparativos entre irrigação convencional, déficit hídrico e PRD foram realizados, avaliando a produção e eficiência de uso de água. Contudo, informações relacionadas a respostas fisiológicas das plantas

submetidas à técnica de PRD ainda são escassas na literatura e constitui como fator preponderante para o aprimoramento do manejo de irrigação. O uso de indicadores fisiológicos relacionados ao estado hídrico do vegetal pode explicar os mecanismos de conservação de água em plantas submetida ao PRD, comparada com outros métodos de irrigação.

Davies & Albrigo (1994) comentaram que a análise de parâmetros fisiológicos tais como condutância estomática e assimilação de CO<sub>2</sub>, são fundamentais para melhor compreensão dos fatores que limitam a produtividade e/ou crescimento das plantas. De acordo com Syvertsen & Lloyd (1994) e Nobel (1999), as variações nas relações água-planta são as principais respostas para alterações no estado do solo e atmosfera, sendo que as relações hídricas afetam diretamente a transpiração, no processo de abertura e fechamento estomático e no fluxo de CO<sub>2</sub> dentro do mesófilo.

Segundo Jones (1992) uma pequena redução na abertura estomática pode reduzir substancialmente a perda de água com um mínimo de efeito sobre a absorção de CO<sub>2</sub> e de fotossíntese. De acordo Comstock (2002), o uso desse conhecimento na prática pode resultar em diminuição significativa da utilização de água, pois a transpiração consome mais de 95% da água absorvida pela planta, ficando apenas o menor percentual para produção de frutos e crescimento vegetativo.

Outros parâmetros fisiológicos utilizados para caracterizar a resposta das plantas ao déficit hídrico podem explicar o comportamento de plantas submetidas à técnica de PRD. Dentre os relatados na literatura, as medidas de temperatura da folha (JACKSON, 1982) e o potencial de água na folha determinado em câmara de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), são bastante utilizados.

A temperatura foliar pode ser usada como indicador do grau de déficit hídrico da planta. Sua medida torna-se um tanto difícil, podendo ser realizada por termopares diminutos aderidos à superfície inferior da folha ou por uma técnica mais adequada para avaliação de déficit hídrico que é a termometria por infravermelho que permite a determinação à distância da temperatura de uma superfície foliar (ANGELOCCI, 2002). Quando o déficit de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, podendo chegar a níveis prejudiciais ao metabolismo da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). Segundo Maggiotto (1996) a temperatura foliar

pode subir 4 a 5 °C acima da temperatura ambiente. Temperaturas foliares altas podem provocar diminuição na taxa fotossintética, redução na atividade enzimática e até a desnaturação de enzimas (HALE & ORCUTT, 1987).

O potencial hídrico é uma medida do grau de hidratação da planta e fornece um índice relativo do estresse hídrico ao qual a planta está submetida (TAIZ & ZEIGER, 2004). Segundo Shalhevet (1983) o decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática. Angelocci (2002) cita que é preciso levar em conta a variação temporal para esta medida e quando o objetivo for a comparação do potencial foliar entre tratamentos, as medidas devem ocorrer nos horários de maior demanda hídrica da atmosfera, entre 11 às 14 horas, quando existe certa estabilidade do potencial de água.

Segundo Rojas (2003) as estratégias de medidas dos indicadores fisiológicos citados anteriormente podem apresentar grande variabilidade espacial e temporal e sua associação ao grau de déficit hídrico fica bastante complexo. O conhecimento da transpiração em fruteiras a partir de metodologias de determinação de fluxo de seiva pode ser viável para avaliação dos efeitos do déficit hídricos. De acordo a Coelho e Filho (2002), atualmente grande parte dos estudos sobre medidas de transpiração em frutíferas são feitos com base em metodologias de fornecimento de calor no tronco. Sensores são fixados ou inseridos nos troncos ou ramos de plantas para medição do fluxo de seiva, que no período de 24 horas tem demonstrado grande aproximação com a transpiração. O método da sonda de dissipação térmica desenvolvido por Granier (1985) permite a determinação da densidade de fluxo de seiva no caule possibilitando assim à estimativa do fluxo de seiva em plantas lenhosas. Segundo Valancogne & Nasr (1993) sob condição de boa disponibilidade de água no solo, o fluxo de seiva pode representar bem a transpiração diária.

Diante das vantagens e desvantagens de cada metodologia, convém associar um maior número de investigações que dêem suporte para entendimentos dos mecanismos de conservação de água na planta. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar indicadores fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de lima ácida 'Tahiti' submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz – PRD, na região de laçu, semiárido baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na fazenda Boa Vista, pertencente à laçu Agropastoril Ltda, no município de laçu, semiárido baiano, localizado nas coordenadas geográficas 12°46'00" de latitude sul e 40°13'00" de longitude oeste, com altitude de 280 m. O experimento ocorreu no período de maio de 2008 à agosto de 2009 em pomar de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) com cinco anos de idade, enxertadas em limão 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) no espaçamento de 8,0 x 5,0m.

O delineamento experimental foi blocos casualizados com seis tratamentos e seis repetições. Utilizou-se o próprio sistema de irrigação da fazenda que era microaspersão com emissores de vazão igual a 19 L h<sup>-1</sup>. As parcelas experimentais foram compostas por uma planta, sendo que, em conformidade com os tratamentos aplicados eram irrigadas com um ou dois microaspersores localizados a 2,5 m do tronco, Figura 1.



Figura 1. Planta de limoeiro submetida à técnica de PRD.

Os tratamentos analisados foram: T1, T2, T3 (PRD 50% ETc) que constituíram de plantas irrigadas por um microaspersor com sua posição alternada a cada 7, 14 e 21 dias, respectivamente, molhado-se lados opostos do sistema radicular; T4 (DI 50% ETc) irrigação com déficit hídrico convencional utilizando um microaspersor fixo, molhando apenas um lado do sistema radicular

da planta; T5 (100% ETc) tratamento testemunha com irrigação fixa utilizando dois microaspersores por planta, molhando simultaneamente os lados opostos do sistema radicular, representando o manejo de irrigação desenvolvido na fazenda; e o T6 (DI 25% ETc) que a cada intervalo de 21 dias, alternou-se o uso entre 1 e 2 microaspersores por planta.

O volume de água aplicado no tratamento testemunha foi estimado pela evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (ETc), calculado por meio de medidas de evapotranspiração de referência (ETo), utilizando o tanque classe A, localizado em estação meteorológica da própria fazenda a 800 m do experimento, pelo coeficiente de cultura (Kc) e fator de localização (Kr) de acordo a Keller & Bliesner (1990) (Equação 1).

$$ETc = ETo \times Kc \times Kr \quad (Eq. 1)$$

Sendo:

ETc – Evapotranspiração da cultura para irrigação localizada;

ETo – Evapotranspiração de referência;

Kc – Coeficiente de cultivo;

Kr – Fator de localização ( $0,10\sqrt{PAS}$ );

PAS – Porcentagem de área sombreada;

O manejo de irrigação adotado na fazenda foi realizado com turno de rega diário. Para efeito de análise deste manejo procedeu-se um comparativo entre o Kc adotado e o Kc sugerido por Allen et al., (1998) corrigido para zonas semi-áridas (Equação 2).

$$Kc = Kctab + [0,04(U2 - 2) - 0,004(RH \text{ min} - 45)] \times \left(\frac{h}{3}\right)^3; \quad (Eq. 2)$$

Sendo:

Kc tab – 0,65 (manual 56 FAO);

U2 – velocidade média do vento (m/s);

RH min – umidade relativa mínima (%);

h – altura média de plantas (m)

O Coeficiente de cultivo (Kc) variou de 0,6 e 1,10 (Tabela 1). Estes valores estão coerentes com os ajustes propostos pelo manual 56 da FAO, corrigido para zona semiárida. A precipitação pluviométrica foi registrada durante todo experimento por um pluviômetro localizado na estação meteorológica da própria fazenda ao lado do tanque classe A.

**Tabela 1.** Valor mensal acumulado de precipitação, ETo, ETc para irrigação localizada, Kc utilizado no pomar e Kc estimado para zonas semiáridas (FAO 56) para lima ácida 'Tahiti', Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

	2008							2009						
	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
Precipitação	43,0	21,5	11,0	10,0	7,0	143,5	125,0	119,5	73,0	11,0	103,0	42,0	8,0	49,0
ETo (mm)	111	120	153	166	200	216	159	155	144	229	134	124	110	120
ETc (mm)	52,3	57,4	73,1	81,8	94,7	105,7	77,9	74,7	70,1	108,9	60,6	61,7	54,5	56,6
Kc adotado	1,01	0,83	0,73	0,76	0,84	0,77	0,60	0,73	0,66	0,73	0,73	0,86	1,10	1,09
Kc estimado	0,68	0,70	0,70	0,73	0,72	0,68	0,72	0,72	0,73	0,73	0,63	0,65	0,68	0,70

A adubação foi realizada via fertirrigação distribuída durante os meses de realização do experimento, utilizando a quantidade de 113 kg/ha de nitrogênio, 52 kg/ha de fósforo e 113 kg/ha de potássio. Para os tratamentos em PRD, devido a redução do volume de água aplicado, foi adicionado os fertilizantes manualmente em quantidade para equiparar a adubação do tratamento controle.

### Medidas Fisiológicas

Para avaliar possíveis estresses hídricos nas plantas foram medidos os seguintes indicadores fisiológicos: condutância estomática ( $gs - mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), resistência estomática ( $Rs - cm\ s^{-1}$ ), transpiração foliar ( $Tf - mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), temperatura foliar ( $Tp - ^\circ C$ ), potencial hídrico de ramos ( $\Psi_{wf} - MPa$ ) e densidade de fluxo de seiva ( $u - m^3\ m^{-2}\ s^{-1}$ ).

As medidas de transpiração foliar, condutância estomática foram realizadas com o porômetro LI - 1600 (LI – COR, USA) e de resistência estomática com o AP4 (Delta – T Devices). A temperatura foliar foi obtida por meio de termômetro de infravermelho e o potencial hídrico através de uma bomba de pressão tipo Scholander et al. (1965), (Figuras 2 e 3).



**Figura 2.** Medidas de Porometria (A); e termometria foliar por infravermelho (B).



**Figura 3.** Câmara de pressão e manômetro da bomba Scholander (A); Exudação de seiva do ramo para medição do potencial hídrico (B).

As avaliações foram realizadas após 15 dias do início da aplicação dos tratamentos e caracterizou o ciclo anual de produção, registrando o comportamento fisiológico das plantas, em dias de sol, dias nublado e períodos de precipitação elevada. As plantas selecionadas para as leituras fisiológicas tiveram as copas divididas em quatro quadrantes, norte, sul, leste e oeste e as medidas ocorreram principalmente entre 11 e 14 horas.

Para condutância estomática, resistência estomática e transpiração foliar as medidas ocorreram em folhas fisiologicamente maduras, entre a primeira e a quinta folha após o ápice do ramo, localizado a uma altura média de 1,5 m. Em cada quadrante foi avaliada uma folha, totalizando quatro folhas por planta. As medidas foram realizadas em um bloco selecionado aleatoriamente, constituído de uma planta por parcela experimental. Com a finalidade de evitar variações climáticas que interferissem nos resultados, as medidas porométricas tiveram

duração de 20 a 30 minutos e os horários de leitura durante o dia representaram as repetições.

O potencial hídrico foi avaliado em ramos constituídos de 4 à 6 folhas com diâmetro médio de 10 a 20 mm, retirados sempre em posição exposta ao sol, entre 1,5 e 1,8 m do solo, conforme procedimentos realizados por Castro Neto et al. (2004) e Cotrim (2008). A amostragem de quatro ramos, um em cada quadrante, foi realizada em quatro blocos selecionados aleatoriamente. Procurou-se observar o momento que a seiva expelida pela seção do ramo deixava de ser aquela substância espumosa e passava a ser uma substância mais aquosa e transparente, conforme Castro Neto et al. (2004) e Lima Filho (2004).

Na avaliação da temperatura foliar, as medidas foram realizadas em cinco folhas por quadrante, totalizando vinte folhas por planta e os dados foram obtidos em três blocos selecionados aleatoriamente.

A densidade de fluxo de seiva foi determinada por meio do método de dissipação térmica de Granier (1985) e os valores obtidos no período de 24 horas foram utilizados como parâmetro de comparação entre os tratamentos. No presente trabalho foi utilizado três sondas termopares de 2 cm de comprimento, alinhadas verticalmente e distanciadas de 8 a 10 cm, construídas conforme Coelho Filho et al. (2006) e Vellame (2007). A primeira sonda foi aquecida constantemente a uma potência elétrica de aproximadamente 0,2 W e a diferença de temperatura entre esta e a segunda sonda não aquecida foi associado ao fluxo de seiva na área condutora do xilema. A diferença de temperatura entre a segunda e terceira sonda não aquecidas foi relacionada à possível existência de gradiente térmico natural (Figura 4A).



**Figura 4.** Detalhe da instalação dos sensores de *Granier* (A) e procedimento de isolamento em caule de Lima ácida 'Tahiti' (B).

As sondas foram introduzidas no tronco das plantas por meio de orifícios realizados por uma furadeira. Estes orifícios foram revestidos por um cilindro de latão de 3 mm de diâmetro por 2 cm de comprimento. O espaço existente entre as sondas e os cilindros de latão foi preenchido com pasta térmica, com a finalidade de melhorar o contato e facilitar a percepção da temperatura pelo sensor. Após a instalação dos sensores, a secção do caule foi isolada com tecido neoprene, Figura 4B, e em seguida papel alumínio para não sofrer interferência da temperatura externa, conforme realizado por Vellame (2007).

Para o registro dos dados de diferença de temperatura entre as sondas foi utilizado um “datalogger” (CR10X Campbell SCI) com armazenamento da média dos sinais emitidos a cada 30 minutos. Os seis tratamentos foram monitorados durante período de maio a agosto de 2009. As medidas ocorreram em um bloco selecionado aleatoriamente, monitorando-se uma planta por tratamento. A uniformidade, em altura, diâmetro de copa e diâmetro de caule foi pré-requisito para a escolha das plantas analisadas.

A estimativa do fluxo total de transpiração da planta, mediante a utilização do método de *Granier*, como proposto pelo seu autor, pressupõe o conhecimento da área total de xilema. No entanto, nem sempre é suficiente determinar esta área total, dado que as áreas de xilema de formação mais antiga perdem gradualmente a sua função de condução de água (ZIMMERMANN & BROWN, 1971), sendo mais adequado determinar a área de xilema funcional.

Por se tratar de um procedimento de natureza destrutiva e vulnerável a erros na determinação da área funcional condutora de água, devido a variação radial da porosidade dos vasos condutores, a exemplo das constatações de Paço (2008), o presente trabalho utilizou como parâmetro de medida a densidade de fluxo de seiva ( $u = \text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) obtidas pontualmente no caule da planta a uma altura de 0,30 m do solo e na profundidade de 2 cm, considerando a espessura da casca.

A densidade de fluxo de seiva foi calculada pela razão entre a diferença de temperatura dos sensores instalados no tronco (K), baseado na equação empírica desenvolvida por Granier (1985).

$$u = 118,99 \times 10^{-6} k^{1.231} \quad (\text{Granier, 1985}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

$u$  – Densidade de fluxo de seiva ( $m^3m^{-2}s^{-1}$ )

$$K = \frac{(\Delta TM - \Delta T)}{\Delta T}$$

$\Delta TM$  - Diferença máxima de temperatura no dia entre os sensores, °C;

$\Delta T$  - Diferença instantânea de temperatura entre os sensores, °C;

Os parâmetros fisiológicos que permitiram estatísticas foram avaliados pelo programa Sisvar através de análise de variância e testes de médias (Tukey), adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E TRANSPIRAÇÃO FOLIAR

A análise de variância da condutância estomática (gs) e transpiração foliar (Tf) da lima ácida 'Tahiti', submetida à irrigação com déficit (PRD e DI), avaliados em quatro horários no dia 5 de junho de 2008, apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos e horários (tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância de condutância estomática e transpiração foliar da lima ácida 'Tahiti' submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, em 05 de Junho de 2008, laço – BA.

Fator de variação	GL	Quadrados médios	
		Condutância estomática	Transpiração Foliar
Tratamento	4	0,0259*	11,5156*
Horário	3	0,0171*	19,1512*
Resíduo	12	0,0024	1,7237
CV (%)		27,54	29,04

\*Significativo a 5% de probabilidade.

De acordo com o teste de média, o tratamento testemunha (T5) obteve maior condutância estomática (gs) e transpiração foliar (Tf), apresentando valores

médios respectivos de  $0,312 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  e  $7,26 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , considerando as quatro medidas do dia (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias da condutância estomática e transpiração foliar da lima ácida ‘Tahiti’ avaliados ao longo do dia 5 de junho de 2008.

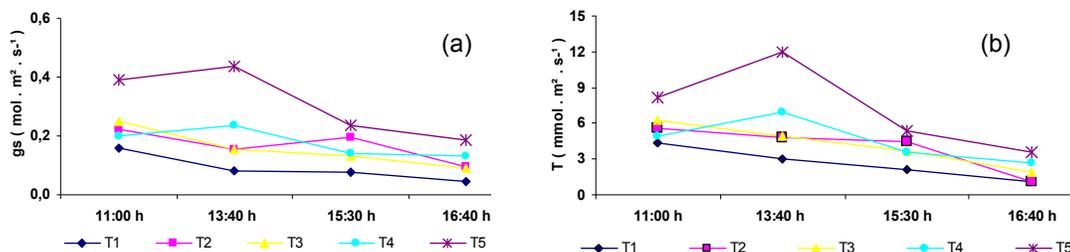
	Condutância estomática ( $\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ )	Transpiração foliar ( $\text{mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ )
T1	0,092 b	2,620 b
T2	0,165 b	4,015 b
T3	0,155 b	4,180 b
T4	0,177 b	4,522 ab
T5	0,312 a	7,265 a

\*Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Este resultado revela que após 15 dias da aplicação dos tratamentos as plantas de lima ácida ‘Tahiti’ submetidas ao déficit hídrico já apresentavam redução da condutância estomática e transpiração foliar. Outro fator importante é que os tratamentos de PRD apresentaram menor média de transpiração que o tratamento T4 (DI 50% fixo), com destaque para o tratamento T1 (PRD 7 dias) com menores valores de  $g_s = 0,092 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  e  $T_f = 2,62 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , indicando uma tendência de maior controle estomático. É importante salientar que nesta primeira avaliação apenas o tratamento T1 foi alternado os lados de irrigação.

Dzikiti (2008) ao estudar a técnica de PRD com alternância dos lados de irrigação a cada 10 dias, observou em plantas de laranja de umbigo com 4 anos de idade, a redução da condutância estomática e da transpiração com aplicação de 50% de déficit hídrico em relação às plantas testemunhas, irrigadas com 100% da ETc. Segundo Davies e Zhang (1991), a alternância de irrigação, em parte das raízes, induz o mecanismo de redução de perda de água através do fechamento dos estômatos, corroborando a base teórica dessa estratégia de irrigação deficitária, que atribui as reduções na abertura estomática principalmente à sinalização química de ácido abscísico (ABA) da raiz para parte aérea.

As curvas diárias de condutância estomática e transpiração foliar apresentaram comportamentos semelhantes e obtiveram maiores valores na parte da manhã. A diferença entre os horários foi mais acentuada para o tratamento testemunha (T5), obtendo valores máximos de  $g_s = 0,44 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  e  $T_f = 11,96 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , no horário de 13h40min (Figura 5).



**Figura 5.** Condutância estomática (a) e transpiração foliar (b) da lima ácida ‘Tahiti’ em condição de sol, dia 05 de junho de 2008, fazenda Boa Vista, laço – BA.

Os horários entre 11h e 13h40min apresentaram-se como o período de maior diferença entre os tratamentos submetidos ao déficit hídrico e o tratamento testemunha. Esta diferença acentuada foi reduzida no período da tarde após as 15h30min. Este comportamento é justificado pela maior demanda evapotranspirométrica ocorrer nos horários próximos ao meio dia, sendo o momento em que as plantas submetidas ao déficit hídrico passam a regular, acentuadamente a perda de água, reduzindo a condutância e transpiração em relação a testemunha.

De acordo com Machado et al. (2002) estudos com laranja ‘Valencia’ em condições controladas apresentaram a mesma tendência de maior condutância estomática pela manhã, horários entre 9 às 11 horas, decrescendo à tarde, horário entre 13 às 15 horas. Já a taxa de transpiração apresentou valores similares entre os dois horários, mesmo com redução da condutância no período da tarde, diferindo dos resultados encontrados no presente estudo.

Simões (2007) avaliando as curvas diárias de condutância estomática e transpiração foliar em lima ácida ‘Tahiti’, município de Jaíba, norte do Estado de Minas Gerais, observou um aumento progressivo até os horários entre 11 às 14 horas quando a planta começou a regular a abertura estomática, reduzindo em seguida as taxas de condutância e transpiração.

A partir do primeiro resultado, as próximas avaliações de condutância estomática e transpiração foliar foram realizadas entre os horários de 11 às 14 horas, período de maior diferenciação entre os tratamentos. As médias de condutância estomática e transpiração foliar da lima ácida ‘Tahiti’ dos tratamentos avaliados, no período entre junho à dezembro de 2008, foram submetidas à

análise de variância. Segundo a análise estatística houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância de condutância estomática e transpiração foliar da lima ácida 'Tahiti' submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, no período de junho à dezembro de 2008, laçu – BA.

Fator de variação	GL	Quadrados médios	
		Condutância estomática	Transpiração Foliar
Tratamento	5	0,046*	27,716*
Época	4	0,130	46,482
Resíduo	23	0,016	6,702
CV (%)		30,53	22,67

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados observados mostraram a tendência de redução de gs e Tf com aplicação do déficit hídrico. O tratamento testemunha - T5 obteve a maior condutância estomática do período, apresentando  $0,56 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , entretanto, não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2, T3, T4 e T6. O menor resultado para condutância estomática foi encontrado no T1 que indicou maior controle estomático que os demais tratamentos de déficit hídrico, apresentando  $0,27 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Tabela 5).

**Tabela 5.** Médias da condutância estomática e transpiração foliar em plantas de lima ácida 'Tahiti' avaliados no período de junho à dezembro 2008.

	Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Transpiração foliar ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
T1	0,27 c	7,82 c
T2	0,39 ab	10,86 ab
T3	0,44 ab	11,31 ab
T4	0,38 ab	10,50 ab
T5	0,56 a	14,33 a
T6	0,45 ab	13,67 a

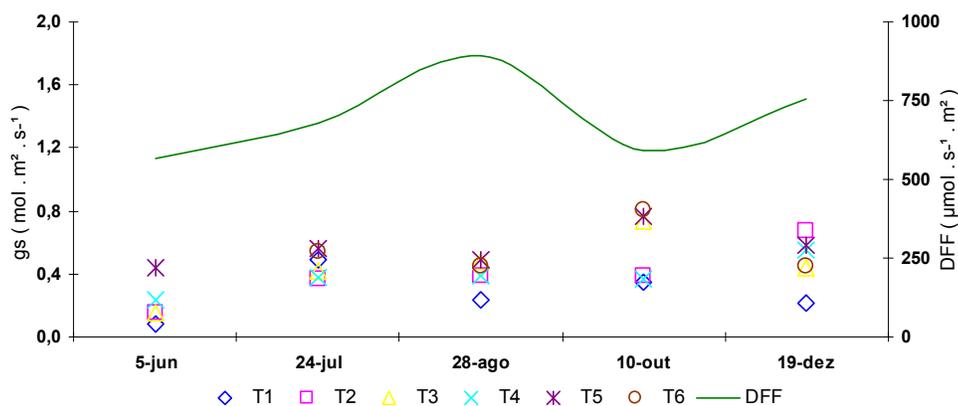
\*Médias seguidas pela mesma letra não difere estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 5 que a transpiração foliar também apresentou maior para o tratamento testemunha - T5, seguido do tratamento T6, apresentando valores respectivos de 14,33 e 13,67  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , não diferenciando estatisticamente dos tratamentos T2, T3 e T4. Já o tratamento T1 apresentou significativamente menor média de  $7,82 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

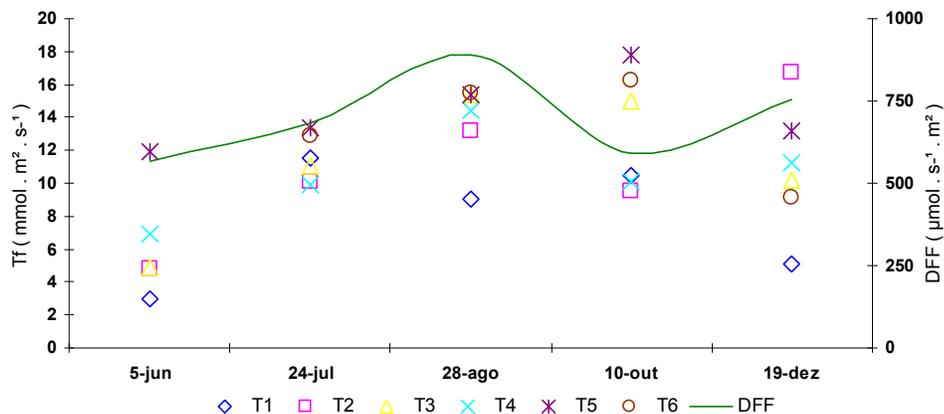
Os valores encontrados no presente estudo estão próximos dos registrados por Syvertsen e Lloyd (1994) em condição de laboratório. Segundo a modelagem realizado por este autor, entre condutância estomática, transpiração foliar e temperatura do ar, os valores observados de  $g_s$  variam de 0,3 à 0,5 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e de  $T_f$  entre 6 e 8 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para temperaturas próximas de 30 °C. Quando a temperatura relacionada foi igual a 37 °C os valores de  $g_s$  reduziram para 0,2 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e de  $T_f$  variaram até 10 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Rocha (2008) ao estudar diferentes porcentagens de área molhada em lima ácida 'Thaiti' com 7 anos de idade, encontrou os maiores valores de  $g_s = 0,103$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e de  $T_f = 1,35$  mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, resultados parecidos aos registrados por Irigoyen (2008) com  $g_s = 0,083$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e  $T_f = 1,97$  mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Angelocci (2004) ao estudar relações hídricas em lima ácida 'Thaiti' observou valores máximos de  $g_s = 7$  à 8 mm s<sup>-1</sup> e  $T_f = 11$  µg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> que para efeito comparativo, dependendo da temperatura e pressão, aproximam-se de 0,3 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 6,11 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Nas figuras 6 e 7 estão apresentados os valores médios de condutância estomática e transpiração foliar de cada tratamento, bem como a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos médios na superfície foliar do período.



**Figura 6.** Variação da condutância estomática ( $g_s$ ) da lima ácida 'Tahiti' e densidade de fluxo fótons fotossinteticamente ativos (DFF) no período de junho a dezembro de 2008, fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.



**Figura 7.** Variação da transpiração foliar (Tf) da lima ácida ‘Tahiti’ e densidade de fluxo fótons fotossinteticamente ativos (DFF) no período de junho a dezembro de 2008, fazenda Boa Vista, laço – BA.

De forma geral o comportamento sazonal da condutância estomática foi similar ao da transpiração foliar. Observou-se uma tendência de aumento da condutância estomática e transpiração foliar entre os períodos do inverno frio e seco e verão quente e úmido. Corroborando com estes resultados, Machado et al. (2002) detectaram em plantas de laranja ‘Valência’ com idade de 3 anos, cultivadas em telado, a redução da condutância estomática e transpiração foliar no sentido dos meses mais quentes e úmidos para os mais frios e secos. O autor atribuiu as variações observadas a mudanças climáticas e/ou estágio fisiológico das plantas, já que as demais condições foram padronizadas, como idade da folha, densidade de fótons e umidade do solo.

Segundo Elfving et al. (1972) a condutância estomática varia significativamente ao longo das estações do ano para uma mesma densidade de fluxo de fótons, mesmo nas plantas bem-hidratadas, significando que outros fatores ambientais estão limitando abertura estomática durante as épocas do ano, como a baixa temperatura. De acordo a Eamus & Cole (1997) e Prior et al. (1997) a variação sazonal da taxa de fotossíntese e da condutância dos estômatos em espécies arbóreas, nas regiões tropicais, está relacionada com as condições de déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura do ar e principalmente umidade do solo, característica de cada estação do ano.

De acordo as Figuras 6 e 7, o mês de junho apresentou as menores taxas de condutância estomática e transpiração foliar, destacando o tratamento T1 com menores valores de  $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $2,98 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. A

tendência de maior controle estomático por parte do tratamento T1 foi menos evidente na avaliação do mês de julho. Neste dia apesar das medidas ocorrerem no período de meio dia com densidade de fótons média de  $680 \mu\text{mol s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ , observou-se na parte da manhã condição nublada, o que pode ter reduzido efeito deste tratamento, compensando com maiores condutância e transpiração foliar no horário da avaliação.

Jones (1994) relatou que a abertura máxima dos estômatos é obtido com valores de densidades de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) superiores a  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mas isto depende da espécie e da radiação natural ambiente. Para citrus, a saturação é atingida quando DFF atinge cerca de  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (SYVERTSEN e LLOYD, 1994). De acordo a Angelocci et al. (2004), regressões entre  $g_s$  e DFF mostraram que o ponto de saturação lumínica está na faixa entre 400 a  $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

As maiores taxas de condutância e transpiração do período foram observadas no mês de outubro, destacando-se os tratamentos T6 com  $g_s = 0,8 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e testemunha – T5 com  $T_f = 17,79 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figuras 6 e 7). É importante lembrar que na avaliação do mês de outubro, o tratamento T6 recebia a quantidade de água igual ao tratamento testemunha, de acordo a alternância dos lados da irrigação deste tratamento.

A tendência de maior condutância estomática e transpiração foliar para o tratamento testemunha não foi seguida nas medidas do dia 19 de dezembro, pois foi registrado os maiores valores para o tratamento T2, apresentando  $g_s = 0,66 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $T_f = 14,89 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , enquanto o tratamento testemunha apresentou valores de  $g_s = 0,58 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $T_f = 13,19 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Esse comportamento pode ser justificado pelo elevado índice de precipitação do mês de dezembro (Tabela 1), que possivelmente restabeleceu o 'status' hídrico das plantas em déficit. A aproximação entre os tratamentos em déficit hídrico e testemunha foi mais evidente nas medidas de condutância estomática. É interessante observar que mesmo quando os tratamentos de déficit hídrico apresentaram condutância estomática próximo ao tratamento testemunha, o tratamento T1 (PRD 7 dias) manteve maior controle estomático.

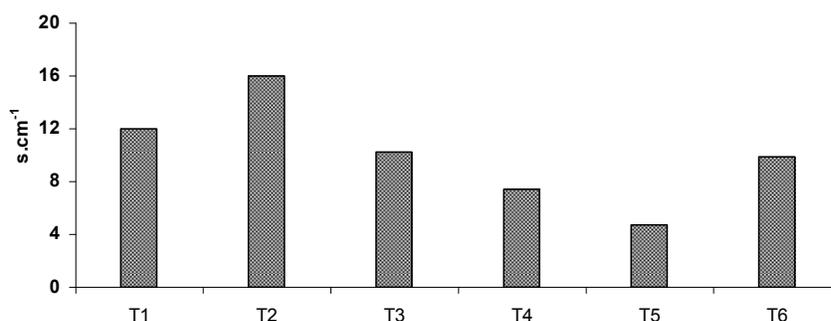
Os valores de condutância estomática e transpiração foliar podem sofrer variação devido a inúmeros fatores. Um fator bastante importante, discutido por Irigoyen (2008) é a distribuição de DFF nas diferentes faces das plantas. Isto

mostra a necessidade de padronização da coleta de dados em relação à orientação e o tempo gasto para amostragem. Coelho Filho et al. (2005) observou elevada amplitude nos valores de transpiração de lima ácida 'Tahiti', a partir de leituras porométricas, com tendência de aumento do coeficiente de variação nos horários de pico, entre 13h00 e 14h00. Nestes horários o autor registrou variação entre 2 a 20  $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

De acordo a Angelocci et al. (2004) valores médios de  $g_s$  e de  $T_f$  para lima ácida 'Tahiti', nos meses de setembro e outubro no estado de São Paulo, apresentaram desvio padrão da média elevado, com predomínio dos coeficientes de variação em torno de 40-50% e, às vezes chegando a mais de 100%, independente da condição da folha. No presente estudo os valores médios destes parâmetros representaram os quatro quadrantes da planta, sendo, portanto, sujeito as grandes variações mencionadas pelos autores.

## RESISTÊNCIA ESTOMÁTICA E POTENCIAL HÍDRICO DOS RAMOS

No ano de 2009, o comportamento estomático das plantas foi avaliado a partir de medidas de resistência estomática realizadas no início do inverno, mês de maio e no início do verão, mês de agosto. Os resultados desta análise, Figura 8, mostram a tendência de menor resistência estomática para o tratamento testemunha (T5) que apresentou valores médios de 4,73  $\text{cm s}^{-1}$  no mês de maio.



**Figura 8.** Média de resistência estomática da lima ácida "Tahiti" em condição de sol, dia 29 de maio de 2009, período de 12 às 14 horas, fazenda Boa Vista, laçu – BA.

De forma geral, os tratamentos de PRD apresentaram os maiores valores, superando o tratamento de déficit fixo (T4 - DI 50% fixo) e T6 (DI 25%) que recebia nesta fase 50% de água em relação à testemunha, de acordo com a característica deste tratamento. O máximo valor de resistência foi obtido pelo tratamento T2, seguidos do tratamento T1 e T3, apresentando  $R_s = 15,95, 11,98$  e  $10,26 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente.

Quando se avaliou a resistência estomática em quatro horários diferentes, no mês de agosto, observou que houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, entretanto não foi detectado efeito de horários para este parâmetro, Tabela 6.

**Tabela 6.** Análise de variância de resistência estomática da lima ácida “Tahiti” submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, em 28/08/2009, laçu - BA.

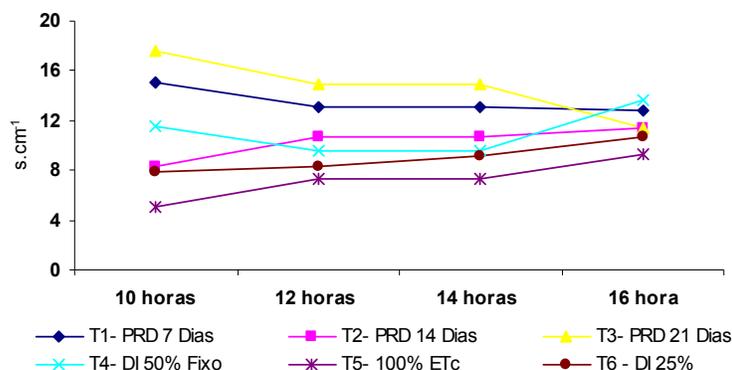
Fator de variação	GL	Quadrados médios
		Resistência estomática
Tratamento	5	30,5684*
Horário	3	0,9915 <sup>NS</sup>
Resíduo	15	3,3721
CV (%)		16,73

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Observa-se na figura 9 que o tratamento testemunha - T5 e T6 apresentaram os menores valores com  $R_s = 7,3$  e  $9,0 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente e não diferiram estatisticamente entre si. Para os tratamentos em déficit hídrico, o tratamento T2 apresentou valores intermediários com  $R_s = 10,3 \text{ cm s}^{-1}$  e os tratamentos T1, T3 e T4 obtiveram estatisticamente as maiores resistências com  $R_s = 13,4, 14,7$  e  $11,0 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente. Este comportamento reforça a tendência dos dados encontrados no ano de 2008, entretanto não evidenciado, neste período, um maior controle estomático por parte do tratamento T1 em relação aos demais tratamentos sob déficit hídrico.

Os valores de resistência estomática encontrado no mês de maio e agosto de 2009 estão coerentes aos obtidos por Raveh (2008). Este autor, ao estudar a aplicação da técnica de PRD com déficit hídrico de 50% em limoeiro com idade de 5 anos, observou diferença na resistência estomática em relação ao tratamento testemunha com suprimento total de sua necessidade hídrica. Enquanto as plantas testemunhas apresentaram resistência estomática de  $9,9 \text{ cm s}^{-1}$ , as

plantas com tratamento de PRD apresentaram médias de 14,6 cm s<sup>-1</sup>. Ainda neste trabalho foi observado resistência de 31,7 cm s<sup>-1</sup> para plantas com irrigação suspensa.



**Figura 9.** Média de resistência estomática da lima ácida “Tahiti” em condição de sol, dia 28 de agosto de 2009, fazenda Boa Vista, laço – BA.

Ainda em relação ao dia 28 de agosto, realizou-se o potencial de água nos ramos no horário de meio dia. De acordo ao resumo da análise de variância, Tabela 7, constatou-se diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos.

**Tabela 7.** Análise de variância de potencial hídrico de ramos de lima ácida ‘Tahiti’ submetida a irrigação com secamento parcial de raiz, agosto de 2009, fazenda Boa vista, laço -BA.

Fator de variação	GL	Quadrados médios
		Potencial hídrico
Tratamento	5	0,5490*
Bloco	3	0,0056
Resíduo	15	0,0096
CV (%)		5,41

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Segundo o teste de média, Tabela 8, o potencial hídrico dos ramos das plantas dos tratamentos testemunha (T5) foi significativamente superior aos demais tratamentos, obtendo valores médios de -1,21 MPa. Seguindo dos tratamentos T6 que recebia nesta fase 50% da ETC e T2 com valores respectivos de -1,57 e 1,77 MPa. Os demais tratamentos com déficit hídrico de 50%, T1, T3 e T4, apresentaram os menores potenciais com valores de -2,18, -2,02 e -2,1 MPa, respectivamente.

**Tabela 8.** Média do potencial hídrico dos ramos da lima ácida 'Thaiti submetida a irrigação parcial do sistema radicular, agosto de 2009, fazenda Boa vista, laçu -BA.

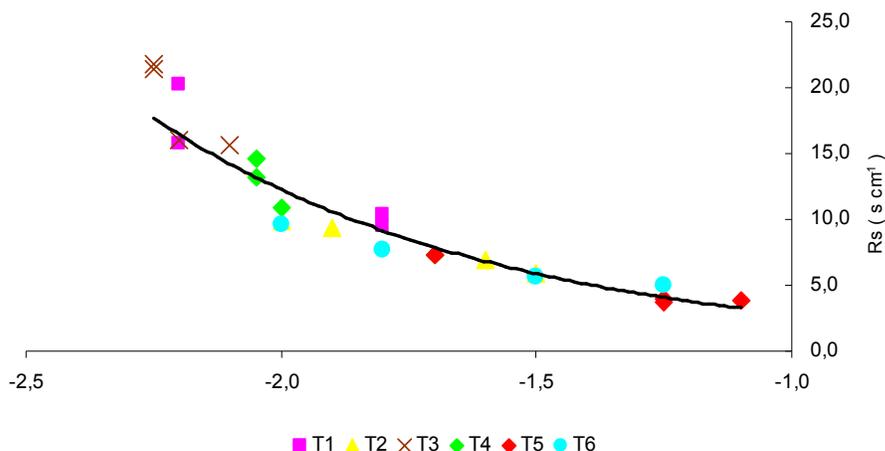
Tratamentos	T1	T2	T3	T4	T5	T6
$\Psi_{wf}$ - MPa	-2,18 c	-1,77 b	-2,02 c	-2,1 c	-1,21 a	-1,57 b

Diferente do observado neste estudo, Dzikiti (2008) verificou em laranja de umbigo com 4 anos de idade que as plantas submetidas a tratamentos PRD com 50% de redução da lâmina apresentaram potencial de água na folha semelhante a plantas irrigadas com suprimento total de sua necessidade hídrica.

Diversos estudos em citrus têm relatado a variação de potencial de água no xilema em relação a diferentes níveis de irrigação, bem como em diferentes épocas do ano e horários durante o dia. Como exemplo, Simões (2007) encontrou em plantas adultas de lima ácida 'Tahiti', submetidas a estresse hídrico, no horário de 11 horas, valores mínimos de -2,3 MPa. Machado (2002) observou em laranja 'Valencia' com 3 anos de idade, em condições de telado, maiores valores às 7 horas, com  $\Psi_{wf}$  = -0,2 à -0,3 MPa, comparado ao período da tarde, 14 horas, com  $\Psi_{wf}$  = -0,8 à -1,1 MPa. Também em laranja 'valencia', condição de telado, Medina (1999) observou após nove dias de suspensão da irrigação, potenciais da água nas folhas de -2,0 e -2,5 MPa, respectivamente para as laranjeiras sobre Limoeiro 'Cravo' e Trifoliata e os estômatos apresentaram-se praticamente fechados, indicando o limite crítico para este parâmetro.

Os valores de potencial hídrico dos ramos neste dia apresentaram forte correlação com resistência estomática. De acordo ao modelo de regressão, Figura 10, houve a tendência de redução do potencial hídrico dos ramos com o aumento da resistência estomática. Observa-se uma estabilidade da resistência estomática para valores de potencial de água na folha até -1,5 MPa. A partir deste limite as plantas apresentaram uma forte resistência estomática com a redução do potencial de água na folha, alcançando o limite máximo de resistência quando os valores de potenciais de água aproximaram de - 2,25 Mpa. Segundo Syvertsen (1982) o potencial hídrico mínimo que coincide com o fechamento estomático varia de acordo com o estágio de maturação da folha. Para folhas jovens o autor encontrou potenciais mínimos de -1,6 MPa, enquanto para folhas maduras de 3 a 6 meses de idade, valores próximos de 3,5 MPa. Segundo este autor a taxa de

renovação de folhas apresenta-se como um importante mecanismo de ajuste das plantas ao estresse hídrico.



**Figura 10.** Relação entre potencial hídrico dos ramos da lima ácida “Tahiti” e resistência estomática em condição de sol no dia 28 de agosto de 2009, fazenda Boa Vista, laçu – BA.

## TEMPERATURA FOLIAR

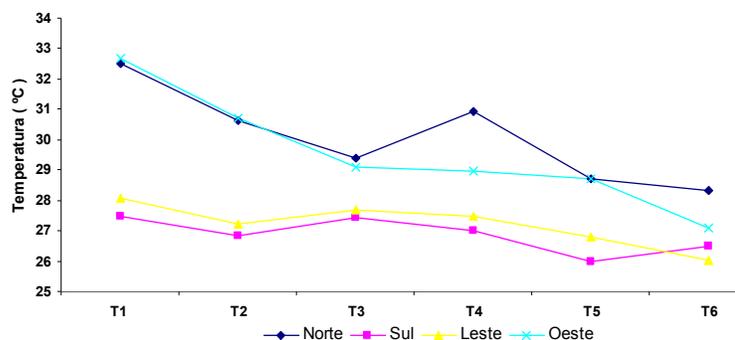
Na tabela 9, encontra-se o resumo da análise de variância da temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’ irrigada por meio de déficit hídrico (PRD e DI), nos quadrantes norte, sul, leste e oeste. Estatisticamente não houve diferença significativa entre os tratamentos para todos os quadrantes avaliados.

**Tabela 9.** Análise de variância da temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’ submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, em 16/08/2008, laçu - BA.

Fator de variação	GL	Quadrados médios – temperatura foliar			
		Quadrante Norte	Quadrante Sul	Quadrante Leste	Quadrante Oeste
Tratamento	5	9,5374	0,9612 <sup>NS</sup>	1,5695 <sup>NS</sup>	11,057 <sup>NS</sup>
Bloco	2	14,6773	6,1152*	2,1464 <sup>NS</sup>	19,9976 <sup>NS</sup>
Resíduo	10	7,6474	0,4666	0,3391	10,9014
CV (%)		9,16	2,54	2,14	11,18

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Pode-se notar a tendência de maiores temperaturas para os tratamentos com déficit hídrico de 50% (T1, T2, T3 e T4) em relação à testemunha - T5 e ao tratamento T6 (DI 25%), os quais apresentaram temperaturas muito próximas (Figura 11).



**Figura 11.** Temperatura foliar média da lima ácida “Tahiti” em condição de sol, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, no dia 16 de agosto de 2008, às 13horas e 30 minutos, fazenda Boa Vista, laçu – BA.

De acordo Angelocci (2002) plantas sob as mesmas condições de demanda atmosférica, mas com condições de disponibilidade hídrica diferentes, podem apresentar temperaturas diferenciadas. Conforme Magioto (1996), além da radiação solar, a temperatura foliar está associada a outros parâmetros, como baixo conteúdo de água no solo, ou simplesmente, à defasagem entre a absorção de água em relação à transpiração da cultura.

As maiores diferenças de temperaturas em relação ao tratamento testemunha (T5) ocorreram com o tratamentos T1 (PRD 7 dias) nos quadrantes oeste e norte, chegando a 3,95°C e 3,8°C respectivamente (Figura 11). Considerando os quatros quadrantes a amplitude de temperatura entre o tratamento T1 (PRD 7 dias) e testemunha (T5) foi de 2,63°C. As maiores temperaturas do T1 é um indicativo que a alternância de irrigação a cada 7 dias determinou um maior controle estomático e conseqüentemente menor transpiração. Corroborando os resultados de condutância estomática e transpiração foliar apresentados anteriormente.

Atribui-se aos maiores valores de temperatura para os quadrantes oeste e norte devido à maior incidência de radiação no momento da leitura, entre os horários de 11 às 14 horas. Nos quadrantes sul e leste a diferença de temperatura entre os tratamentos em déficit e testemunha foi menos pronunciada.

Os resultados de temperatura ora apresentados estão relacionados a médias de 5 folhas por quadrante, sendo observado valores médios máximos e mínimos de 32,67 e 26 °C (Figura 11). Entretanto foi registrado no dia, folhas com temperaturas variando entre 25,0 a 38,6 °C.

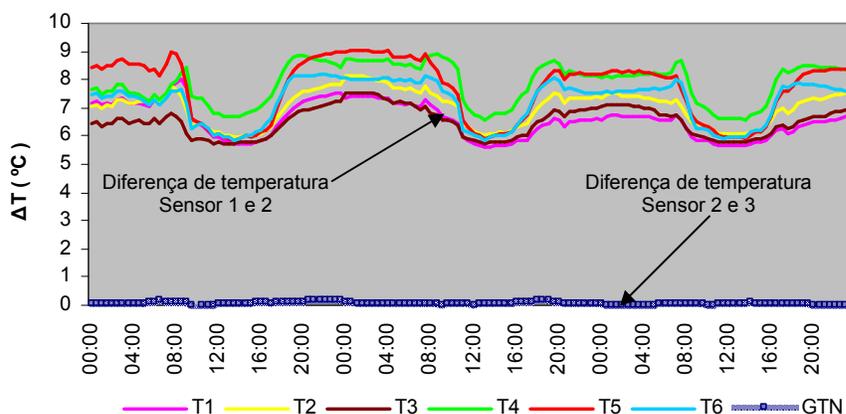
O aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo de déficit hídrico no solo, uma vez que este sinaliza o fechamento dos estômatos, sendo, assim, uma tentativa da planta em evitar maiores perdas de água por transpiração (CAIRO, 1995; STEPPUHN, 2001). A temperatura do ar também tem sido relacionada a condutância estomática em folhas de citrus, sendo esta relação examinada primeiramente por Hall et al. (1975) que em suas investigações detectaram maior resposta estomática entre as temperaturas de 20 a 30 °C, sendo o máximo de condutância próximo aos 30 °C.

Tenhunen et al. (1987) mostraram que incrementos da intensidade luminosa estimulam a abertura de estômatos até temperaturas do ar entre 25 a 30°C. Eles também constataram que o fechamento dos estômatos comumente ocorre ao meio dia, durante períodos de alta intensidade luminosa, com aumento da temperatura foliar e déficit de pressão de vapor (folha-ar).

### **MÉTODO DISSIPACÃO TÉRMICA – GRANIER**

A diferença de temperatura ( $\Delta T$  °C) entre os sensores de Granier, aquecido e não aquecido, Figura 12, foi proporcional ao fluxo de seiva na secção condutora do xilema. As maiores diferenças ocorreram no período da noite, em condições de umidade do ar próximo a saturação, quando não há fluxo de seiva ou esse fluxo é pequeno. Durante o dia essas diferenças apresentaram-se menores, devido o elevado fluxo de seiva nos horários de pico de radiação solar, conforme descrito em Coelho Filho et al. (2004).

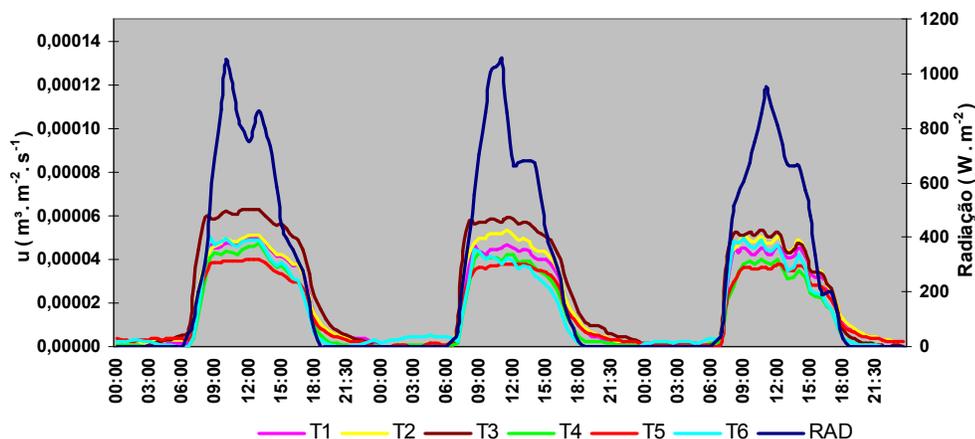
Em relação a diferença de temperatura entre os sensores 2 e 3, Figura 12, ambos não aquecidos, observou-se que o gradiente térmico natural (GNT) foi inexistente sendo desnecessário correções do fluxo de seiva para estas condições experimentais, em função da elevada densidade de folhas da planta, completo sombreamento e proteção do sensor. A influência nas medições de fluxo de seiva dos gradientes naturais de temperatura no tronco tem sido analisada por diversos autores (FERREIRA & ZITSCHER, 1996; SILVESTRE & FERREIRA, 1998; DO & ROCHETEAU, 2002).



**Figura 12.** Diferença de temperatura ( $\Delta T$  °C) entre os sensores de fluxo de seiva instalados em plantas de lima ácida “Tahiti”, Fazenda Boa Vista, laço – BA.

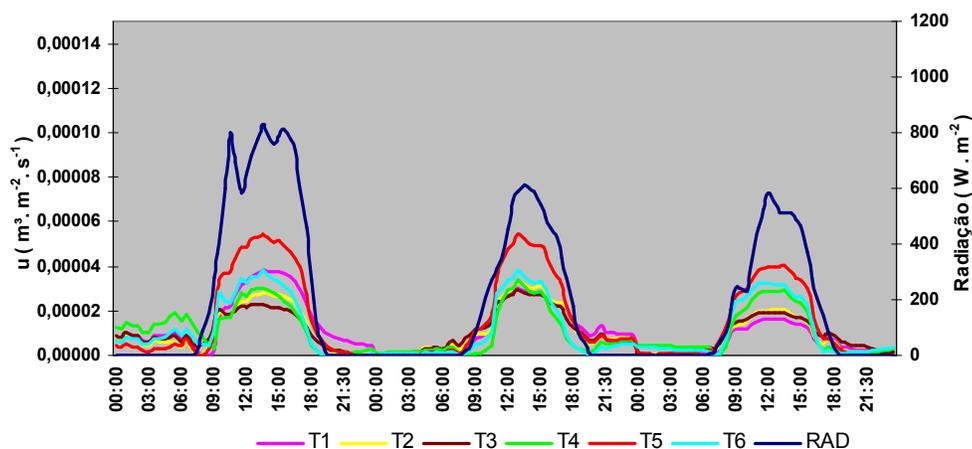
Nas Figuras 13, 14 e 15 observam-se exemplos, para três dias representativos do período de estudo, nos meses de maio, junho e julho, dos resultados das medições de densidade de fluxo de seiva determinado pelo método de *Granier* para cada tratamento, evidenciando a influencia da radiação solar no comportamento deste parâmetro. Pode-se notar que a estimativa da densidade de fluxo apresentou uma curva característica de crescimento semelhante a radiação solar, demonstrando uma relação direta entre estes fatores. A densidade de fluxo de seiva cresce ao amanhecer, alcançando um pico no horário de meio dia, decrescendo nas horas seguintes. Resultados parecidos foram apresentados em gráficos por Rojas (2003) para plantas de lima ácida ‘Tahiti’ e Vellame (2007) e Cotrim (2008) em plantas de manga.

A densidade de fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) do tratamento T3 (PRD 21 dias), Figura 13, foi maior comparado aos demais tratamentos para os três dias avaliados no mês de maio, dia Juliano 139, 140 e 141, alcançando valores no horário de meio dia superiores  $6,0 \times 10^{-5} \text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As plantas do tratamento testemunha – T5, apesar de serem irrigadas com o dobro da quantidade de água, apresentaram valores baixos de densidade de fluxo de seiva deste período. A baixa densidade de fluxo de seiva por parte do tratamento T6 pode ser explicado pela quantidade de água (50% ETc) que recebia nesta fase, da mesma forma que os demais tratamentos de déficit hídrico.



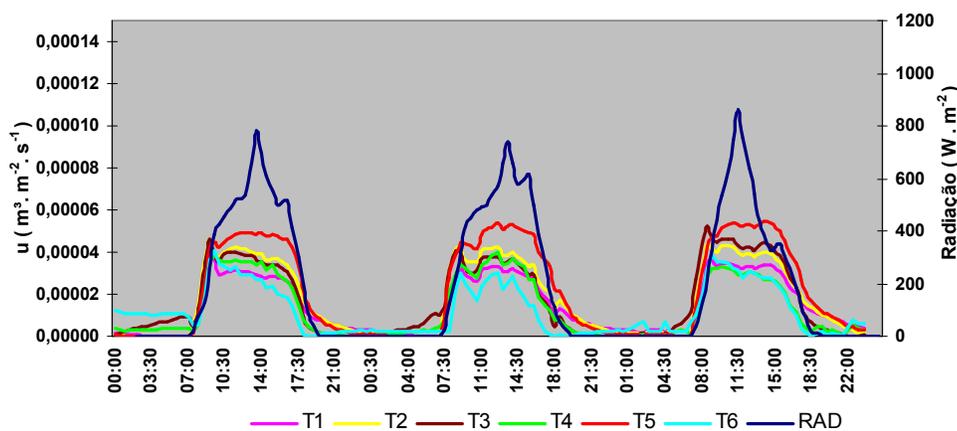
**Figura 13.** Densidade de fluxo de seiva em plantas de limão “Tahiti” submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, medidas entre os dias 19 a 21 de maio de 2009 (DIAJ 139, 140 e 141), fazenda Boa Vista, laço - BA.

No mês de Junho, devido a problemas nos sensores e a fitossanidade da planta testemunha, selecionou-se uma nova planta e utilizou-se um novo sensor de dissipação térmica. Após este procedimento, foram observadas menores densidades de fluxo de seiva para os tratamentos com déficit hídrico T1, T2, T3, T4 e T6 em relação ao tratamento testemunha - T5, este apresentando densidade de fluxo próximo de  $5,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nos horários de pico (Figura 14). Nesta fase, o tratamento T6, apesar de receber o mesmo volume de água de irrigação do tratamento testemunha, a densidade de fluxo de seiva apresentou menores valores, com ligeira tendência de aumento em relação aos tratamentos com déficit hídrico de 50%.



**Figura 14.** Densidade de fluxo de seiva em plantas de limão “Tahiti” submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, medidas entre os dias 6 a 8 de junho de 2009 (DIAJ 157, 158 e 159), fazenda Boa Vista, laço - BA.

No mês de agosto, a densidade de fluxo de seiva do tratamento testemunha apresentou novamente maiores valores em relação aos tratamentos com déficit hídrico (Figura 15). É importante destacar uma pequena redução da densidade fluxo de seiva do tratamento T6 em relação aos tratamentos com déficit hídrico de 50%. A tendência de menores valores de densidade por parte do tratamento T6 é atribuído a redução da lâmina de irrigação nesta fase de 100 para 50%, de acordo a característica deste tratamento.



**Figura 15.** Densidade de fluxo de seiva em plantas de limão “Tahiti” submetidas à irrigação com secamento parcial de raiz, medidas entre os dias 5 a 7 de Agosto de 2009 (DIAJ 217, 218 e 219), fazenda Boa Vista, laçu - BA.

É importante considerar que a distribuição radial da densidade de fluxo de seiva pode apresentar forte heterogeneidade em algumas espécies, como constatado por Edwards & Warwick (1984), Hatton et al. (1990), Kelliher et al. (1992), Granier et al. (1994), Philips et al. (1996) e Cermák & Nadezhdina (1998b) o que dificulta a comparação entre tratamentos quando se avalia diferentes plantas. Consequentemente, de acordo a Paço (2008) a simplificação que assume que a densidade do fluxo de seiva é constante em toda a área de xilema poderá não ser adequada, sendo importante um conhecimento mais detalhado do perfil de distribuição do fluxo de seiva em função da profundidade. Nesta situação, a posição em que se insere radialmente um sensor de *Granier* pode introduzir erros na determinação do fluxo, se a densidade de fluxo medida não for representativa da densidade de fluxo média no raio considerado.

Embora seja constatada a vulnerabilidade deste parâmetro, observou-se no presente estudo, Tabela 10, que os valores médios de densidade de fluxo de seiva do período seguiram a tendência observada pelas análises de condutância estomática, resistência estomática e transpiração foliar, justificando o comportamento do potencial hídrico dos ramos e temperatura das folhas.

Os resultados demonstraram que o tratamento T1 (PRD 7 dias) apresentou menores valores de densidade de fluxo de seiva com média de  $1,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . A maior densidade de fluxo correspondeu ao tratamento testemunha, com média de  $1,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . A estratégia de irrigação do tratamento T6, no qual foi alternado o uso de um e dois microaspersores a cada 21 dias, permitindo também o efeito do secamento de uma parte do sistema radicular em um lado da planta, proporcionou uma densidade de fluxo de seiva menor que o tratamento testemunha.

**Tabela 10.** Densidade de fluxo de seiva diário de plantas de lima ácida “Tahiti” submetidas a irrigação com secamento parcial de raiz, Fazenda Boa Vista, Iaçú – BA.

<b>DIA JULIANO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
<b>Densidade de Fluxo de Seiva (m<sup>3</sup>. m<sup>-2</sup>. dia<sup>-1</sup>)</b>						
<b>maio de 2009</b>						
<b>135</b>	1,71	1,28	1,85	1,43	2,04	1,38
<b>136</b>	1,30	1,70	1,64	1,24	1,21	1,17
<b>137</b>	1,22	1,49	1,72	1,06	1,09	1,24
<b>138</b>	0,38	0,59	0,96	0,23	0,96	0,42
<b>139</b>	1,73	1,79	2,38	1,45	1,48	1,58
<b>140</b>	1,53	1,75	2,09	1,30	1,33	1,27
<b>141</b>	1,56	1,72	1,70	1,19	1,31	1,45
<b>junho de 2009</b>						
<b>157</b>	1,36	0,95	0,93	1,17	1,59	1,18
<b>158</b>	1,15	1,16	1,01	1,04	1,71	1,26
<b>159</b>	0,98	1,01	0,97	0,77	1,40	0,87
<b>160</b>	0,52	0,61	0,69	0,84	1,10	0,93
<b>161</b>	1,38	1,46	1,13	1,03	2,35	1,11
<b>164</b>	1,03	1,74	0,96	1,25	1,91	1,45
<b>165</b>	1,57	1,80	1,52	1,77	1,95	2,03
<b>166</b>	1,16	1,31	1,05	0,97	1,86	1,16
<b>167</b>	1,11	1,17	1,15	0,88	1,66	1,12
<b>168</b>	2,44	1,89	1,66	2,21	2,82	1,54
<b>169</b>	3,36	2,81	1,62	3,19	3,52	2,12
<b>agosto de 2009</b>						
<b>213</b>	1,14	1,26	1,65	1,25	1,66	1,10
<b>214</b>	1,15	1,33	1,27	1,64	1,44	1,26
<b>215</b>	1,34	1,47	1,61	1,70	1,62	2,20
<b>216</b>	1,38	1,55	1,68	1,15	1,81	1,54
<b>217</b>	1,15	1,49	1,42	1,22	1,70	1,23
<b>218</b>	1,11	1,41	1,31	1,17	1,80	1,05
<b>219</b>	1,30	1,52	1,85	1,02	1,94	1,30
<b>220</b>	0,97	0,95	1,79	0,71	1,40	0,76
<b>221</b>	1,02	1,30	1,48	1,29	1,59	1,44
<b>222</b>	0,91	1,37	1,25	1,29	1,87	1,72
<b>223</b>	0,84	1,36	1,48	2,04	1,79	1,90
<b>224</b>	0,83	1,39	1,20	1,32	1,77	1,33
<b>225</b>	0,73	1,35	1,35	1,18	1,68	1,31
<b>MÉDIA</b>	<b>1,27</b>	<b>1,42</b>	<b>1,43</b>	<b>1,29</b>	<b>1,72</b>	<b>1,33</b>

## CONCLUSÕES

- As plantas em déficit hídrico (PRD e DI) após o período de 15 dias de aplicação dos tratamentos apresentaram redução na condutância estomática e transpiração foliar;
- As avaliações de condutância estomática e transpiração foliar, no período de junho a dezembro de 2008, demonstraram que a estratégia de PRD com alternância dos lados de irrigação a cada 7 dias – T1, resultou em um maior controle estomático das plantas, confirmando os fundamentos desta estratégia de déficit hídrico;
- O efeito do déficit hídrico com redução da lâmina de irrigação em 50% foi detectado por maiores valores de temperatura foliar e resistência estomática em relação ao tratamento testemunha. As maiores resistências dos estômatos à perda de água observadas nos tratamentos em déficit tiveram forte correlação com o potencial hídrico dos ramos mais negativos;
- As medidas de densidade de fluxo de seiva em escala diária obtidas por meio do método de *Granier* também demonstraram a tendência de maior controle de perda de água por parte dos tratamentos submetidos ao déficit hídrico, sendo mais evidente quando se adotou a estratégia de PRD com alternância dos lados de irrigação a cada 7 dias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRISQUETA, J. M.; MOUNZER, O.; LVAREZ, S. A.; CONEJERO, W.; GARCÍA-ORELLANA, Y.; TAPIA, L. M.; VERA, J.; ABRISQUETA, I.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. **Agricultural water management**, v. 95, p. 959-967, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and drainage. Paper, 56).

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba, SP: O autor, p. 268, 2002.

ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; OLIVEIRA, R. F.; RIGHI, E. Z. Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard, **Braz. J. Plant Physiol**, v. 16, n. 1, p. 53-64, 2004.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista, BA: UESB, 1995. 32 p.

CASTRO NETO, M.T.; REINHARDT, D.H.; LEDO, C.A. da S. Determination of Water Potential on Mango Trees by Pressure Chamber. In. **Proc. VII th IS on Mango** Eds. A.C.Q. Pinto et al. Acta Hort 645, ISHS 2004, p. 425-427.

CERMÁK, J.; NADEZHDINA, N. Sapwood as the scaling parameter defining according to xylem water content or radial pattern of sap flow? **Annales des Sciences Forestieres**, v. 55, p. 509-521, 1998b.

COELHO FILHO, M. A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifolia Tan,) e sua relação com a**

**evapotranspiração de referência.** Piracicaba, SP, 2002. 91f. Tese (Doutorado) - ESALQ-USP, Piracicaba.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; CAMPECHE, L. F. de S. M.; FOLEGATTI, M. V. BERNARDES, M. S; Field Determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v. 62, n. 3, p. 240-247, May/June 2005.

COELHO FILHO, M. A.; VELAME, L. M.; COELHO, E. F.; CASTRO NETO, M. T.; PAZ, F. P. S. Uso de sensores Granier para determinação da transpiração de mangueiras. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16, Goiania, 2006, **Anais...**Goiania, ABID, 2006.

COELHO FILHO, M. A.; VELAME, L. M.; COELHO, E. F.; SOUZA, C. F. **Instalação e operação de sistemas de aquisição e armazenamento de dados para o monitoramento do sistema solo-planta-atmosfera.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. n. 143, p. 136.

COMSTOCK, J. P. Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. **Journal of Experimental Botany.** v. 53, n. 367, p. 195-200. 2002.

COTRIM, C. E.; **Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no Semi-árido baiano.**Viçosa, MG, 2008. 177 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

DAVIES, W.J.; ZHANG, J.; Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,** v. 42. p. 55 – 70, 1991.

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

DRY, P. R., LOVEYS, B. R. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. **Vitis**, n. 38, p. 151-156, 1999.

DRY, P.R., LOVEYS, B. R. Partial drying of the rootzone of grape I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. **Vitis**, n. 39, p. 3-7, 2000a.

DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Partial drying of the rootzone of grape II. Changes in the pattern of root development. **Vitis**, n. 39, p. 9-12, 2000b.

DZIKITI, S.; LEMEUR, R.; STEPPE, K. Partial Rootzone Drying of Drip Irrigated 'Navel' Orange Trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] under Semi-Arid Tropical Conditions, **Acta Hort**, n. 792, ISHS 2008.

EAMUS, D.; COLE, S. Diurnal and seasonal comparisons of assimilation, phyllode conductance and water potential of three *Acacia* and one *Eucalyptus* species in the wet-dry tropics of Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 45, p. 275-290, 1997

EDWARDS, W.R.N. & WARWICK, N.W.M. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. V. 27, p. 537-543, 1984.

ELFEVIN, D. C.; KAUFMANN, M. R. Diurnal and seasonal effects of environment on plant water relations and fruit diameter of citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 97, p. 566-570, 1972.

FERREIRA, M. I.; ZITSCHER, H. Measurements performed with Granier method in short trunks near the soil. **3rd workshop on measuring sap flow in intact plants**, Sitges, Barcelona, Outubro 1996.

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

GRANIER, A.; ANFODILLO, T.; SABATTI, M.; COCHARD, H.; DREYER, E.; TOMASI, M.; VALENTINI, R.; BRÉDA, N. Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. **Tree Physiology**, v. 14, p. 1383-1396, 1994.

HALE, M. G.; ORCUTT, D. M. The **physiology of plants under stress**. New York: John Welley, 206 p, 1987.

HALL, A. E.; CAMANCHO-B, S. E.; KAUFMANN, M. R. Regulation of Water loss by citrus leaves, **Plant Physiology**, n. 33, v. 62, 1975.

HARTUNG, W.; SAUTER, A.; HÖSE, E. Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where does it go to? **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 27-32, 2002.

HATTON, T. J.; CATCHPOLE, E. A.; VERTESSY, R. A. Integration of sapflow velocity to estimate plant water use. **Tree Physiology**, v. 6, p. 201-209, 1990.

IRIGOYEN, A.I.; ANGELOCCI, L.R.; ROCHA, F.J.; FOLEGATTI, M.V. Determinação da condutância foliar à difusão de vapor de água e da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos incidentes nas faces norte e sul da linha de plantio de pomar de lima ácida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, 2008. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008. 5 p.

JACKSON, R. D. Canopy temperature and crop water stress: Water Resour. **Journal of Experimental Botany**, v. 132, p. 67-77, 1982.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**: A quantitative approach to environmental plant physiology, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 428 p, 1992.

JONES, HG. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental, **plant physiology**. 2<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

KANG, SZ.; HU, X. T.; GOODWIN, I. JERIE, P. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under shallow groundwater table condition in a pear orchard. **Sci. Horti**, V. 92, 277–291. 2002a.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLIHER, F. M.; KÖSTNER, B.; HOLLINGER, D. Y.; BYERS, J. N.; HUNT, J. E.; MCSEVENY, T. M.; MESERTH, R.; WEIR, P. L.; SCHULZE, E. D. Evaporation, xylem sap flow, and tree transpiration in a New Zealand broad-leaved forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 62, p. 53-73, 1992.

KIRDA, C.; TOPALOGLU, F.; TOPÇU, S.; KAMAN, H. Mandarin Yield Response to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, p. 1-10, 2007.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. **Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying**. Irrigation Insights N. 3. Land & Water Australia, Canberra. 2003.

LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K.; JABRO, J. J.; Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. **Irrig. Sci.** n. 24, p. 85-99, 2006.

LIMA FILHO, J.M.P. Methodology for water potential measurement on mango using the pressure chamber. In.: **Proc. VII th IS on Mango**, Eds. A.C.Q. Pinto et al. Acta Hort 645, ISHS 2004 p. 459-461.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; ASSIS GOMES, M. M. DE; HABERMANN, G. Variação Sazonal da Fotossíntese, Condutância Estomática e Potencial da água na folha de Laranjeira 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MAGGIOTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, p. 71, 1996.

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, p.29-34, 1999.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, p. 540, 1999.

Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

PAÇO, M. T. G. A. **Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos – Programação da rega em pomar de pessegueiro**. Tese de doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 227 p, 2003.

PHILLIPS, N.; OREN, R.; ZIMMERMAN, R. Radial patterns of xylem sap flow in non, diffuse- and ring-porous tree species. **Plant, Cell and Environment**, v. 19, p. 983-990, 1996.

PRIOR L.D.; EAMUS, D.; DUFF, G.A. Seasonal and diurnal patterns of carbon assimilation, stomatal conductance and leaf water potential in *Eucalyptus tetrodonta* sampling in a wet-dry savanna in northern Australia. **Australian Journal of Botany**, v.45, p.241-258, 1997.

RAVEH, E. Partial Root-Zone Drying as a Possible Replacement for 'Verdelli' Practice In Lemon Production. Acta Horticulturae: **V International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops**. Ed. I. Goodwin. Cidade Mildura, Austrália, 30 June 2008.

ROCHA, F. J. **Respostas da lima ácida 'Tahiti (*Citrus latifolia* Tan.) a diferentes porcentagens de área molhada**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

ROJAS, J. S. D. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação.** Piracicaba, SP, 2003, 110 f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, n. 148, p 339-346, 1965.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental stress.** London: Chapman & Hall, cap 7, p.133-54, 1983.

SILVA, R.M. et al. Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do Entre Douro e Minho. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 2004. Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: LNEC, 2004. Disponível em (<http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/108.PDF>), Acesso em 07/08/2009.

SILVESTRE, J.; FERREIRA, M. I. Sap flow measurements with the Granier method on a vineyard, in central Portugal. In: **4th International Workshop on Measuring Sap Flow in Intact Plants**, Zidlochovice, República Checa, 3 a 5 de Outubro de 1998, p. 127-131.

SIMOES, W. L. **Influência de diferentes disposições de microaspersores na extração de água do solo e nas características morfofisiológicas do *citrus latifolia* tanaka sobre o porta-enxerto *citrus limonia* osbeck.** Viçosa, MG, 2007. 114 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SPREER, W.; NAGLE, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.; ONGPRASERT, S.; MÜLLER, J. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Chok Anan’). **Agricultural Water Management**, v. 88, p. 173-180, 16 March 2007.

STEPPE, K.; DZIKITI, S.; LEMEUR, R.; MILFORD, J. R. Stomatal oscillations of navel orange trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] under natural conditions. **Annals of Botany**, v. 97, p. 831-835, 2006.

STEPPIUHN, H. **Pré-irrigation of a severely-saline soil with in-situ water to establish dryland forages**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v 44, n. 6, p. 1543-1551, 2001.

STOLL, M.; LOVEYS, B.; DRY, P. Whole Plant Integration and Agriculture Exploitation. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1627-1634, 2000.

SYVERTSEN, J. P. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. **Annals of Botany**, v. 49, p. 827-834, 1982.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. In: SCHAEFFER, B.; ANDERSEN, P. C. **Citrus. Handbook of Environmental Physiology of Fruits Crops: Sub-tropical and Tropical Crops**. Florida, v. 2, p. 65-91, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TENHUNEN, J. D.; PEARCY, R. W.; LARANCE, O. L. Diurnal variation in leaf conductance and gas exchange in natural environments. In: Zeiger, E.; FARQUHAR, G.; COWAN, I. (Eds.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, p. 323-351, 1987.

TREEBY, M. T.; HENRIOD, R. E.; BEVINGTON, K. B.; MILNE, D. J.; STOREY, R. Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. **Agricultural water management**. n. 91, p. 24-32. 2007.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring SF in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. **Water transport in plants**

**under climatic stress.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 166-173, 1993.

VELLAME, L. M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e balanço de calor.** Cruz das Almas, BA, 2007. 67 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

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

WAHBI, S.; WAKRIM, R.; AGANCHICH, B.; TAHI, H.; SERRAJ, R. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. **Physiological and agronomic responses.** *Agric., Ecosys. Environ.* n. 106, p. 289–301, 2005.

ZHANG, S. Q.; OUTLAW, W. H. J.; AGHORAM, K. Relationship between changes in the guard cell abscisic-acid content and other stress-related physiological parameters in intact plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 355, p. 301-308, 2001.

ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L. **Trees, structure and function.** Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1971.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em condições de restrição de uso de água ou custo elevado, a alternativa de déficit hídrico é muito atraente quando as perdas na produtividade são pequenas, mantendo a qualidade do produto. O que se tem buscado nos estudos de déficit hídrico utilizando a técnica PRD é otimizar o uso da água, possibilitando a produção comercial dos frutos. No presente trabalho, a redução da lâmina de água em 25% não significou perdas de produtividade, sendo uma alternativa viável para o manejo de irrigação, nas condições avaliadas. E para reduções maiores de lâminas, em torno de 50%, haverá decréscimo em média de 30% na produtividade. Entretanto na época de verão, período chuvoso, observou-se a tendência de maior recuperação das plantas, revestindo em maiores produtividades devido ao acúmulo de reservas no período de crescimento vegetativo, constituindo no período estratégico para aplicação de déficit hídrico. A estratégia de alternância do lado de irrigação, protagonizando eventos de secamentos e umedecimentos na zona radicular da planta, no período de 7 dias, apresentou um efeito significativo de maior controle estomático e de acordo aos valores absolutos, maior eficiência de uso de água, destacando-se principalmente na época do verão. As informações de produtividade e de indicadores fisiológico da planta precisam ser analisadas em conjunto para melhor entendimento dos efeitos do déficit hídrico a planta.