

VAMBERTO BARBOSA BRAZ

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DA LIMEIRA 'TAHITI'
IRRIGADA COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E LÂMINAS DE
ÁGUA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

VAMBERTO BARBOSA BRAZ

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DA LIMEIRA 'TAHITI'
IRRIGADA COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E LÂMINAS DE
ÁGUA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de maio de 2007

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Co-orientador)

Prof. Dalmo Lopes de Siqueira

Prof. Paulo José Hamakawa

Prof. Rubens Alves de Oliveira

Prof. Márcio Mota Ramos
(Orientador)

A todos da minha querida família.

Com amor e gratidão, à minha mãe, Maria das Graças Medeiros Barbosa, pela presença permanente e pelo incondicional apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu pai, Vanildo de Souza Braz, pelo amor e pelos valores transmitidos.

Aos meus avós maternos, Gilvandro Barbosa de Farias e Angelita Medeiros de Farias, pelo generoso e fundamental apoio concedido na minha educação.

Ao meu avô paterno, Braz Francisco de Macêdo, e ao meu tio Gilvandro Barbosa de Farias Filho, com saudades.

Ao meu irmão e grande parceiro, Vandberg Barbosa Braz, que mesmo distante, fez-se presente sempre com uma palavra amiga.

À Narice, meu grande amor, pelo incentivo e compreensão nessa importante etapa da minha vida e ao nosso filho, Guilherme, o qual aguardamos ansiosos pelo seu nascimento.

Amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

O maior deles, ao mais merecido, Senhor DEUS, pela vida e por iluminar o meu caminho nessa difícil caminhada.

À cidade de Viçosa - MG, pela acolhida e pelos momentos inesquecíveis vividos durante os quase seis anos em que cursei graduação e pós-graduação na UFV.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter sido essa “escola de vida” para mim; aos seus mestres, funcionários e alunos que, com ensinamentos e amizade, passaram pelo meu caminho.

A toda a equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV, pela oportunidade de realizar este Curso, e a todos os seus funcionários pelo apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pelo apoio financeiro durante os meses em que fui bolsista.

À Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf, pela liberação para conclusão deste Curso.

Ao professor Márcio Mota Ramos, pela orientação e por acreditar na minha capacidade de concretizar este trabalho.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela confiança, apoio e incentivo permanentes.

Aos Pesquisadores da Embrapa Meio-Norte Aderson Soares de Andrade Júnior, Carlos Antônio Ferreira de Sousa e Valdenir Queiroz Ribeiro, pela atenção, confiança e pelas valiosas sugestões durante o período de planejamento e condução do experimento.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas valiosas sugestões agregadas ao trabalho e por fazerem parte desta capacitação.

Ao Professor Flávio Alencar d'Araújo Couto, pelos conselhos e por iniciar-me, ainda durante a graduação, nas atividades de pesquisa científica.

Aos Professores Gilberto Sedyama, Hugo Alberto Ruiz, José Cambraia, Maurício Fontes e Paulo Afonso Ferreira pelos ensinamentos compartilhados durante a realização do Curso.

À empresa Frutas do Nordeste S/A – Frutan, pelos insumos, pelo apoio técnico e operacional prestado e pela cessão da área utilizada no experimento.

Ao engenheiro agrônomo Lívio de Sousa Moura, pela amizade, confiança e imprescindível colaboração técnica durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários da Frutan, em especial, Carlos, Raimundo Rosa, Marquinhos, Toinho e Elvira, que participaram ativamente deste trabalho, pela competência e generosidade na condução dos trabalhos de campo.

A TODOS os colegas do GESAI – Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada.

Aos companheiros do Mestrado, em especial, Fabrício Contin, Fabrício Sales, Hermes, Daniel, Rodrigo, Sandro e Bruno pela amizade e parceria.

À Turma da Agronomia 99, pela oportunidade de partilharmos esta importante etapa das nossas vidas.

Aos grandes amigos de “república” – Fernando Agra, Luiz Fernando, Eduardo Hatano (Japa), Gustavo (Frank), Lodovino (Juninho), Fernando Sucuri, Marcel e Endson (Baiano) – que, com sua excelente amizade e agradável convivência durante os saudosos anos em Viçosa, fizeram-me crescer como ser humano.

Aos amigos Victor, Vinícius (Gigi), Mábio, Jyraia, Leonardo e Thieres, pela grande amizade e por me receberem tão bem na república Fliperama.

A TODAS as pessoas que contribuíram de uma forma ou de outra para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

VAMBERTO BARBOSA BRAZ, filho de Vanildo de Souza Braz e Maria das Graças Medeiros Barbosa, nasceu em 21 de dezembro de 1980, na cidade de Campina Grande – PB.

Em 1999, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa – UFV, em Viçosa – MG, concluindo-o em janeiro de 2004.

Em março de 2004, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV, na área de concentração em Irrigação e Drenagem, com ênfase em Manejo de Irrigação, submetendo-se à defesa da Dissertação em maio de 2007.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMO | xiii |
| ABSTRACT | xv |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 5 |
| 2.1. Aspectos gerais da cultura da limeira ácida ‘Tahiti’ | 5 |
| 2.2. A planta | 9 |
| 2.3. Exigências edafoclimáticas | 11 |
| 2.4. Padrões de qualidade da lima ácida ‘Tahiti’ | 14 |
| 2.5. Ecofisiologia da cultura | 15 |
| 2.6. Determinação da necessidade hídrica das culturas | 18 |
| 2.6.1. Evapotranspiração da cultura de referência (ET _o) | 19 |
| 2.6.2. Coeficiente da cultura (K _c) | 21 |
| 2.6.3. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da variação da umidade do solo (K _s) | 24 |
| 2.6.4. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da aplicação localizada de água (K _s) | 26 |
| 2.7. Manejo e eficiência de irrigação | 31 |
| 2.7.1. Manejo de irrigação pelo método do balanço de água no solo | 34 |
| 2.8. Respostas das culturas cítricas à irrigação | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 40 |
| 3.1. Caracterização da área experimental | 40 |
| 3.2. Tratamentos e delineamento experimental | 43 |
| 3.3. Condução do experimento | 46 |
| 3.3.1. Manejo da cultura | 46 |
| 3.3.2. Sistema de irrigação | 46 |
| 3.3.3. Manejo da irrigação | 48 |
| 3.3.4. Dados meteorológicos | 49 |
| 3.4. Características avaliadas | |

LISTA DE QUADROS

| | Página |
|---|---------------|
| 1 Área cultivada, produção, produtividade, valor absoluto e relativo de limões e limas ácidas nos principais Estados produtores do Brasil, em 2005 | 8 |
| 2 Características químicas do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m | 42 |
| 3 Umidade do solo (% em massa) para distintos níveis de tensão nas profundidades de 0 a 0,2 e de 0,2 a 0,4 m..... | 42 |
| 4 Análise da qualidade da água de irrigação utilizada no experimento..... | 43 |
| 5 Características dos modelos de microaspersores utilizados no experimento e valores percentuais dos tratamentos de lâminas de irrigação | 45 |
| 6 Lâminas de irrigação (mm) aplicadas durante o período experimental em função dos tratamentos | 57 |
| 7 Resumo das análises de variância, contendo fontes de variação (F.V.), graus de liberdade (G.L.), quadrados médios, coeficientes de variação (C.V.) e valores médios de produtividade (PROD), número total de frutos por planta (NTFP) e peso médio dos frutos (PMF) da limeira ácida 'Tahiti' | 61 |
| 8 Peso médio dos frutos (PMF), em gramas, em função das lâminas de água aplicada e das freqüências de irrigação de um (F ₁) e de dois dias (F ₂) para a cultura da lima ácida 'Tahiti' | 69 |
| 9 Resumo das análises de variância, contendo fontes de variação (F.V.), graus de liberdade (G.L.), quadrados médios, coeficientes de variação (C.V.) e valores médios da espessura da casca dos frutos (EC), rendimento de | 74 |

| | |
|--|----|
| suco (RS), teor de sólidos solúveis totais (SST), pH e acidez total titulável (ATT) | |
| 10 Valores médios de pH do suco de frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função de lâminas e frequências de irrigação de um (F_1) e de dois dias (F_2) | 79 |
| 11 Valores médios da acidez total titulável (ATT), em %, de frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função de lâminas e frequências de irrigação de um (F_1) e de dois dias (F_2) | 80 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| 1 Variação mensal do índice de sazonalidade do volume comercializado de lima ácida 'Tahiti' nas principais Ceasas (1999 – 2004) | 7 |
| 2 Variação mensal do índice de preços de lima ácida 'Tahiti' comercializada no CEAGESP, São Paulo – SP (1998 – 2002) | 7 |
| 3 Variação do coeficiente de estresse hídrico (Ks) em função da percentagem da água disponível no solo (Modelos Logarítmico e Linear) | 26 |
| 4 Curvas de coeficientes de localização propostos por KELLER (1978), FERERES (1981) e KELLER e BLIESNER (1990) em função da porcentagem da área molhada (PAM) e ou da área sombreada (PAS) | 30 |
| 5 Vista parcial aérea da Fazenda Frutan | 40 |
| 6 Vista parcial da área experimental e das plantas utilizadas no trabalho | 41 |
| 7 Esquema da área experimental, com a disposição dos tratamentos e respectivas repetições | 44 |
| 8 Detalhe do cavalete na entrada da área experimental, com manômetro e registro, instalado no início da linha de derivação | 47 |
| 9 Detalhe do poço tubular, do reservatório de derivação e do sistema de bombeamento utilizado no experimento | 47 |
| 10 Estação meteorológica utilizada para o manejo da irrigação do experimento | 50 |

| | | |
|----|---|----|
| 11 | Valores médios diários de temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) do ar, em ° C, durante o período experimental | 53 |
| 12 | Valores médios diários de umidade relativa do ar (UR), em %, durante o período experimental | 54 |
| 13 | Valores médios diários de velocidade do vento, em m s ⁻¹ , durante o período experimental | 54 |
| 14 | Valores médios diários de irradiância solar global, em W m ⁻² , durante o período experimental | 55 |
| 15 | Valores diários de precipitação pluvial registrada e estimativa e tendência da evapotranspiração de referência (ET _o), em mm, durante o período experimental | 56 |
| 16 | Variação da umidade do solo (Umid), estimada pelo Irriplus, em relação à capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM) e umidade mínima recomendada (Umin), nos tratamentos L ₁ (A), L ₂ (B) e L ₃ (C), e excesso de lâmina aplicada (EXC) nos tratamentos L ₄ (D) e L ₅ (E), sob a frequência de irrigação diária (F ₁), durante o período experimental | 58 |
| 17 | Variação da umidade do solo (Umid), estimada pelo Irriplus, em relação à capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM) e umidade mínima recomendada (Umin), nos tratamentos L ₁ (A), L ₂ (B) e L ₃ (C), e excesso de lâmina aplicada (EXC) nos tratamentos L ₄ (D) e L ₅ (E), sob a frequência de uma irrigação a cada dois dias (F ₂), durante o período experimental | 59 |
| 18 | Produtividade (PROD) da limeira ácida 'Tahiti', em kg ha ⁻¹ , em função da lâmina de irrigação aplicada, com frequência de irrigação diária (F ₁) | 62 |
| 19 | Produtividade (PROD) da limeira ácida 'Tahiti', em kg ha ⁻¹ , em função da lâmina de irrigação aplicada, com frequência de uma irrigação a cada dois dias (F ₂) | 63 |
| 20 | Número total de frutos por planta (NTFP) da limeira ácida 'Tahiti' em função da lâmina de água aplicada, com frequência de irrigação diária (F ₁) | 67 |
| 21 | Número total de frutos por planta (NTFP) da limeira ácida 'Tahiti' em função da lâmina de água aplicada, com frequência de uma irrigação a cada dois dias (F ₂) | 68 |

| | | |
|----|---|----|
| 22 | Valores médios do peso médio dos frutos (PMF) da limeira ácida 'Tahiti' em função da lâmina de água aplicada | 70 |
| 23 | Eficiência de uso da água (EUA), em g de frutos por m ³ , em função das lâminas de água aplicada, na frequência de irrigação diária (F ₁), para a cultura da limeira ácida 'Tahiti' | 72 |
| 24 | Eficiência de uso da água (EUA), em g de frutos por m ³ , em função das lâminas de água aplicada, com uma irrigação a cada dois dias (F ₂), para a cultura da limeira ácida "Tahiti" | 73 |
| 25 | Valores médios observados e estimados para espessura da casca (EC), em mm, em frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função das lâminas de água aplicada | 75 |
| 26 | Valores médios observados e estimados para rendimento de suco (RS), em %, em frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função das lâminas de água aplicada | 76 |
| 27 | Valores médios observados e estimados para sólidos solúveis totais (SST), em °Brix, de frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função das lâminas de água aplicada | 78 |

RESUMO

BRAZ, Vamberto Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2007. **Produção e qualidade de frutos da limeira ‘Tahiti’ irrigada com diferentes freqüências e lâminas de água.** Orientador: Márcio Mota Ramos. Co-orientadores: Aderson Soares de Andrade Júnior, Carlos Antônio Ferreira de Sousa e Everardo Chartuni Mantovani.

Com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes lâminas e freqüências de irrigação sobre parâmetros de produção e qualidade de frutos da limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], conduziu-se um experimento, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2007. O trabalho foi realizado em um pomar comercial, cultivado no espaçamento 6 x 5 m e irrigado por microaspersão, localizado no município de José de Freitas, região Centro-norte do Estado do Piauí. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em um esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos foram constituídos, na parcela, de duas freqüências de irrigação (um e dois dias) e de cinco lâminas de irrigação, nas subparcelas, correspondentes à reposição de 68, 80, 100, 124 e 136% da evapotranspiração da cultura (ET_c). A unidade experimental foi composta por cinco plantas. Realizaram-se colheitas em 18/12/06 e 14/02/07. O manejo da irrigação foi realizado diariamente pelo método do balanço de água no solo, com o auxílio do programa computacional Irriplus. As características de produção avaliadas foram: número total de frutos por planta, peso médio do fruto e produtividade. A qualidade dos frutos foi avaliada através da medição da espessura da casca, rendimento de suco, teor de sólidos solúveis totais (SST), pH e acidez total titulável (ATT). Avaliou-se ainda a eficiência de uso da água dos

tratamentos, calculada pela relação entre a produtividade e o consumo total de água pela cultura (irrigação + precipitação efetiva). Concluiu-se que o manejo de irrigação com turno de rega diário e reposição em torno de 100% da ETc, de acordo com o modelo adotado, foi o mais indicado para manter a umidade do solo com menores variações no intervalo entre a capacidade de campo e a umidade mínima recomendada para a cultura, resultando nos maiores níveis de produtividade, peso médio dos frutos e na máxima eficiência física no uso da água. A limeira ácida 'Tahiti' não aumentou os valores de produtividade proporcionalmente ao incremento nos níveis de irrigação, o que ressalta a importância de um correto manejo da irrigação. A qualidade dos frutos foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação para a maioria das características avaliadas, ao contrário da frequência de irrigação, em que a diferenciação entre turno de rega diário e em dias alternados não foi suficiente para alterá-la consideravelmente.

ABSTRACT

BRAZ, Vamberto Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May of 2007. **Production and fruits quality of 'Tahiti' lime tree irrigated with different frequencies irrigation and water depths.** Adviser: Márcio Mota Ramos. Co-Advisers: Aderson Soares de Andrade Júnior, Carlos Antônio Ferreira de Sousa and Everardo Chartuni Mantovani.

Aiming to evaluate the effects of different water depths and irrigation frequencies on the parameters of production and fruits quality of 'Tahiti' acid lime tree [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], an experiment was conducted during the period of September 2006 to February 2007. The work was realized on a commercial orchard under trickle irrigation, where plants were spaced 6 x 5 m and located in José de Freitas, north center region of the Piauí State, Brasil. A randomized blocks and split-plot experimental design was used with four replications. The treatments consisted of two irrigation frequencies (one and two days), in the plot, and of five water depths, in the subplots, corresponding to 68, 80, 100, 124 and 136% of the crop evapotranspiration (ET_c). The experimental unit was represented for five trees. Harvests were realized at 18/12/2006 and 14/02/2007. The management of irrigation was daily by water balance in the soil, using the Irriplus software. The characteristics of production evaluated were total number of fruits for tree, medium weight of fruit and total yield. The fruit quality was evaluated through of measurement of skin thickness, juice yield, total soluble solids content (TSS), pH and titrable total acidity (TTA). The water use efficiency of treatments was calculated by relationship between the total yield of fruits and crop water total consumption (irrigation + effective precipitation). It was concluded that irrigation management. Irrigation

managed with daily frequency and 100% Etc, according with used model, was the most indicated treatment to maintain smaller variations of soil humidity on the interval between the field capacity and the minimum humidity recommended for the crop, which resulted greater productivity, medium weight and physical efficiency maximum in the water use. 'Tahiti' acid lime crop didn't increase proportionally the productivity values as water levels increased, it which emphasizes the importance of a correct irrigation management. The quality of fruits was significantly affected by water depths to the most of evaluated characteristics, on the contrary of irrigation frequency, in that differentiation between one and two days frequency wasn't enough to considerably alter it.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de frutas cítricas, sendo produzidas, no ano de 2005, aproximadamente 20,2 milhões de toneladas (495 milhões de caixas) de citros no Brasil, gerando uma renda de US\$ 2,1 bilhões (IBGE, 2005). O atual parque citrícola nacional concentra cerca de 70 e 80% da área de cultivo e da produção, respectivamente, no Estado de São Paulo, representado principalmente pelos pomares de laranjas, cuja produção está voltada para a indústria de suco concentrado.

A produção de lima ácida 'Tahiti' tem ocupado, cada vez mais, posição de destaque na citricultura brasileira. A produção é direcionada basicamente para o mercado de frutos *in natura*. Segundo dados da Organização Mundial para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2005), a produção nacional era de um milhão de toneladas, em uma área de 54 mil hectares. Esse volume colocou o país na quinta posição entre os principais produtores mundiais do grupo de limões e limas.

Vale ressaltar que, freqüentemente, as informações relativas ao comércio de limas e limões verdadeiros encontram-se agrupadas, devido ao fato de haver predominância da produção de limões nos países europeus, ao contrário de México e Brasil, onde a produção de limas ácidas é bem maior. Em São Paulo, por exemplo, o 'Tahiti' representou 99,3% do volume total de limões e limas ácidas comercializadas no CEAGESP, no período de 1995 a 1999 (CHABARIBERY e ALVES, 2001).

Na pauta das exportações brasileiras de frutos frescos, do ano de 2005, segundo informações do Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF), a lima ácida 'Tahiti' ocupava o sétimo lugar em valor comercializado (US\$ 26,3 milhões), em função da demanda crescente do Canadá, Japão e União

Européia, motivado pela expansão do mercado de frutos *in natura* naqueles países e pela melhoria do padrão de qualidade da produção brasileira. No Estado do Piauí, a excelente qualidade dos frutos produzidos tem propiciado a conquista de espaços importantes no mercado externo, especialmente o da União Européia. Apesar da reduzida participação da produção piauiense de 'Tahiti' em relação ao total exportado pelo Brasil, esse agronegócio é um dos mais importantes para o Estado e com grande potencial de expansão.

Diante desse cenário, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) vêm fomentando a organização do setor e a capacitação do produtor de 'Tahiti' por meio do Programa de Produção Integrada de Frutas (PIF), visando garantir sua maior competitividade na cadeia produtiva.

No panorama da produção da lima ácida 'Tahiti', a desvalorização do dólar, associada ao acentuado crescimento da oferta do produto, superior às taxas de consumo, têm resultado na queda dos preços obtidos pelos produtores no mercado externo. Este fato vem mostrando que somente a diminuição dos custos de produção não é suficiente para manter as margens de lucro, já que algumas empresas encontram-se trabalhando no limite, considerando o atual estágio de tecnologia e investimentos empregados nos empreendimentos. Verifica-se, então, a necessidade de direcionar esforços para o aumento das receitas, o que requer ações diferenciadas para modernização do setor produtivo (IBRAF, 2005).

O uso da irrigação em pomares de citros, apesar de ser uma prática pouco utilizada na maioria das áreas cultivadas, vem se expandindo nos últimos anos. A irrigação aumenta a produtividade e, se associada a um manejo controlado, possibilita a antecipação do florescimento, reduzindo a incidência de doenças que coincidem com o período chuvoso.

Além disso, contribui para a manutenção da produtividade dos pomares formados com porta-enxertos menos tolerantes ao déficit hídrico, como a laranjeira 'Caipira', as tangerineiras 'Sunki' e 'Cleópatra' e o citrumeleiro 'Swingle'. A expansão do uso desses porta-enxertos tem sido impulsionada pela necessidade de diversificação do limoeiro 'Cravo', sendo este menos tolerante a doenças como a gomose e a morte súbita dos citros.

Nos poucos estudos já realizados, a irrigação propicia aumento de produção de 35 a 75%, de acordo com VIEIRA (1988). PIRES et al. (2005) relataram que a irrigação na citricultura teve início na década de sessenta, quando resultados experimentais obtidos na Flórida, Estados Unidos, mostraram que a irrigação proporcionou aumento de produção compatível com os custos de implantação dos sistemas e que o uso da técnica era economicamente viável.

A região Centro-norte do Estado do Piauí apresenta um índice pluviométrico médio de 1300 mm ano⁻¹ (BASTOS e ANDRADE JUNIOR, 2000; ANDRADE JUNIOR et al., 2004), mas a variabilidade interanual e a irregularidade da distribuição anual das precipitações, associadas à baixa capacidade de retenção de água, propiciam a ocorrência de longos períodos de déficit hídrico no solo e conseqüente estresse às plantas, o que compromete a produtividade e a qualidade dos frutos. Nesse contexto, a irrigação é indispensável para a produção comercial de espécies cítricas na região. Porém, ressalta-se que o manejo apropriado da água e dos nutrientes na irrigação é pouco difundido e, ou adotado pelos produtores, o que reitera a necessidade da determinação de parâmetros básicos e de estratégias de manejo ajustadas à citricultura irrigada no Piauí.

A carência de informações técnicas sobre o cultivo irrigado da limeira ácida 'Tahiti' dificulta a adoção dessa tecnologia pelos produtores, que retêm os investimentos, levando, muitas vezes, a um descrédito em relação à cultura, devido ao retorno econômico obtido ser insuficiente.

De modo geral, o manejo racional da irrigação é um fator de grande importância para o sucesso da atividade agrícola, por diversas razões: fornecimento de água ao solo na quantidade correta e no momento adequado, de forma a atender à demanda hídrica necessária ao ótimo desenvolvimento e produção da cultura; melhoria dos padrões comerciais dos produtos; contribui para a redução dos impactos ambientais negativos decorrentes da salinização do solo, da perda excessiva de água por percolação e de nutrientes por lixiviação, permitindo maior eficiência no uso de fertilizantes; proporciona uma programação do cultivo, ou seja, a elaboração de um escalonamento da época de plantio, de forma a possibilitar a obtenção de duas ou mais colheitas por ano, na mesma área,

potencializando a possibilidade de introdução de culturas com maior custo de produção, por minimizar o risco do investimento, e ampliando as margens de lucro em um menor tempo; e otimização do consumo de água e energia, na busca por uma maior competitividade no setor (MANTOVANI, 2003).

No Brasil, trabalhos que tratam da resposta da limeira ácida 'Tahiti' à irrigação são escassos, especialmente nas condições edafoclimáticas da região centro-norte do Piauí. O desenvolvimento de estudos que venham a fornecer informações relativas ao comportamento da planta sob condições de irrigação torna-se de grande utilidade prática para melhorar o desempenho técnico e econômico dos sistemas de produção que vêm sendo adotados pelos produtores locais.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes lâminas de água aplicadas em duas freqüências de irrigação sobre a produção e as características de qualidade de frutos da limeira ácida 'Tahiti', nas condições de clima e solo da região Centro-norte do Estado do Piauí.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura da limeira ácida ‘Tahiti’

Limão ‘Tahiti’ e lima da ‘Pérsia’ são dois dos nomes utilizados comumente em diversas regiões do mundo para se referir ao “Tahiti”. Na realidade, o ‘Tahiti’ não é um limão verdadeiro, mas sim, pertencente ao grupo das limas ácidas. Sua classificação botânica se refere à família Rutaceae, subfamília Aurantioideae, tribo Citreae, subtribo Citrineae gênero *Citrus* e espécie *C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka (LUCHETTI et al., 2003). O gênero *Citrus* é o mais importante da família Rutaceae, existindo numerosas espécies de cultivo comercial, como as laranjas, tangerinas, limões, limas, cidras, pomelos e outras. Estas plantas cítricas são originárias de regiões tropicais úmidas e subtropicais do continente asiático, tendo sido introduzidas no Brasil pelos portugueses, por ocasião do início da colonização (DONADIO et al., 2005).

O ‘Tahiti’ caracteriza-se pela presença de frutos grandes e quase totalmente desprovidos de sementes (WEBBER, 1943). Esta última característica deve-se provavelmente a sua origem genética, sendo ele, segundo BACHI (1940), um híbrido triplóide ($3n = 27$), do qual o pólen e os óvulos não são viáveis e, por essa razão, os frutos são partenocárpicos, não necessitando de fecundação. REECE e CHILDS (1962), estudando a herança genética de seleções de “Tahiti”, obtidas de poucas sementes, verificaram que seus parentais eram uma lima ácida com sementes [*C. aurantifolia* (Christm.) Swingle] e, provavelmente, uma cidra (*C. maxima* L.) e, ou um limão (*C. limon* Burm. f.).

Ainda que o centro de origem do 'Tahiti' no mundo não seja claramente conhecido, é plausível que, no Brasil, tenha sido introduzido por volta do século 17 a partir da Pérsia, atual Irã, pelo Mediterrâneo, fato este que pode ter originado o outro nome ao qual é conhecido, lima da 'Pérsia' (CHAPOT, 1975). HODGSON (1967) relata que essa variedade foi introduzida na Califórnia, vinda do Tahiti, entre 1850 e 1880, o que teria dado origem ao seu nome mais popularmente conhecido.

Dentre as espécies de citros, a limeira ácida 'Tahiti' é uma das mais precoces. Segundo COELHO (1993), as plantas com três anos de idade produzem anualmente de 8 a 15 kg, 23 a 37 kg aos quatro anos, de 64 a 86 kg aos cinco, de 68 a 141 kg aos seis e, aos sete anos, produzem de 98 a 177 kg. A produtividade média no Brasil situa-se em torno de 20,5 t ha⁻¹ (IBGE, 2005). No entanto, propriedades que adotam estratégias adequadas de produção, como manejo nutricional, irrigação, tratamento fitossanitário e procedimentos de colheita, têm alcançado níveis superiores a 40 t ha⁻¹ (LUCHETTI et al., 2003).

Apesar de verificar-se oferta de frutos no mercado durante todo o ano, em virtude da ocorrência de diversos surtos de florescimento, dependente das condições ambientais locais, verifica-se queda no volume de lima ácida 'Tahiti' comercializada no Brasil, especialmente no período de maio a novembro, com base no total comercializado nas principais Centrais de Abastecimento – Ceasas do país, entre os anos de 1999 e 2004 (Figura 1).

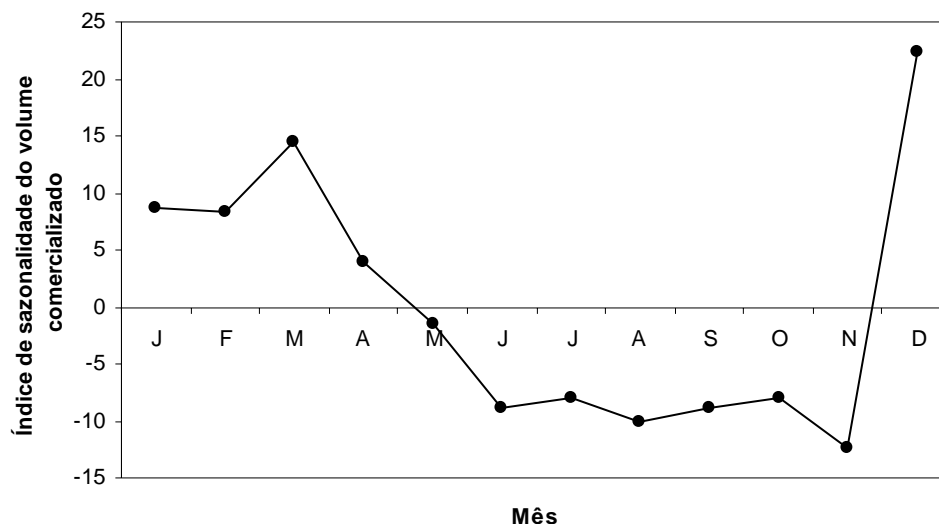


Figura 1. Variação mensal do índice de sazonalidade do volume comercializado de lima ácida 'Tahiti' nas principais Ceasas (1999 – 2004). Fonte: IBRAF (2005).

Os preços praticados na comercialização de 'Tahiti' demonstram um comportamento fortemente sazonal para este fruto no mercado interno, com elevações bastante significativas entre os meses de agosto e novembro e reduções no primeiro semestre do ano, como pode ser observado na Figura 2.

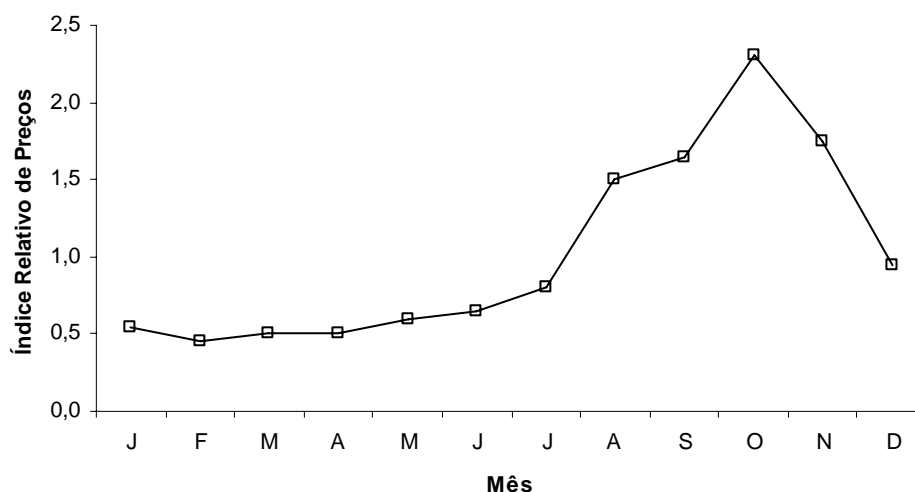


Figura 2. Variação mensal do índice de preços de lima ácida 'Tahiti' comercializada no Ceagesp, São Paulo – SP (1998 – 2002). Fonte: LUCHETTI et al. (2003), adaptado de FNP (2001).

A exemplo das estatísticas mundiais, os dados relativos às produções de limão e lima ácida no Brasil são também agrupados, o que torna menos precisa a interpretação das informações. Contudo, ainda se pode afirmar que a área de maior concentração da produção da lima ácida “Tahiti” encontra-se no Estado de São Paulo, com aproximadamente, 68,4% do total produzido no país, em 2005 (Quadro 1).

Quadro 1. Área cultivada, produção, produtividade, valor absoluto e relativo de limões e limas ácidas nos principais Estados produtores do Brasil, em 2005.

| UF | Área cultivada (ha) | Produção (t) | Produtividade (t ha ⁻¹) | Valor da produção (mil R\$) | VP relativo ¹ (%) |
|---------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| SP | 34834 | 829097 | 24071 | 192644 | 68,38 |
| RJ | 2206 | 34117 | 15465 | 12958 | 4,60 |
| BA | 2568 | 34070 | 13267 | 13701 | 4,86 |
| MG | 1758 | 25643 | 14586 | 11830 | 4,20 |
| RS | 1779 | 23147 | 13025 | 12541 | 4,45 |
| ES | 771 | 15983 | 20730 | 10019 | 3,56 |
| SE | 1129 | 13567 | 12016 | 7838 | 2,78 |
| PR | 645 | 10897 | 16920 | 3877 | 1,38 |
| CE | 1007 | 9658 | 9590 | 4420 | 1,57 |
| GO | 518 | 6245 | 12055 | 2143 | 0,76 |
| PA | 508 | 5911 | 11635 | 1044 | 0,37 |
| AM | 606 | 3636 | 6000 | 295 | 0,10 |
| PE | 311 | 3221 | 11184 | 1963 | 0,70 |
| DF | 249 | 2658 | 11215 | 1063 | 0,38 |
| PI | 235 | 2285 | 9723 | 922 | 0,33 |
| Brasil | 50.783 | 1.030.531 | 20.501 | 281.715 | - |

¹ Valor da produção do Estado em relação ao montante brasileiro.
Fonte: IBGE, 2005.

O Estado da Bahia tem aumentado sua produção, enquanto que o Rio de Janeiro, ao contrário, apresenta decréscimo no panorama atual. Outros Estados, como o Pará e o Piauí, apesar da participação ainda reduzida em relação ao quantitativo brasileiro, têm surgido como importantes produtores de cítricos, em função das possibilidades de produção de frutos com qualidade superior e alto valor de mercado, disponibilidade de terras para plantio e de mão-de-obra, além da proximidade dos mercados importadores

e dos pontos de escoamento da produção para o mercado externo. Na região Sul, o Rio Grande do Sul, em vista das condições climáticas, aparece nas estatísticas brasileiras como produtor de limão verdadeiro, a exemplo da Argentina e do Uruguai (IBRAF, 2005).

2.2. A planta

A limeira ácida 'Tahiti' apresenta porte médio a grande, crescimento expansivo, curvado e vigoroso; folhas lanceoladas e pecíolos alados. As folhas são verde-escuras quando maduras e verde-claras enquanto jovens. As flores, normalmente, apresentam cinco pétalas (COELHO, 1993).

A floração ocorre ao longo de todo o ano, principalmente nos meses de setembro a outubro. De acordo com DONADIO et al. (2005), o período de desenvolvimento dos frutos, desde a floração até a fase de maturação, é de até 170 dias, enquanto que MARCONDES (1991) afirma que este período é de 120 dias. Na verdade, esse período é variável, dependendo do regime térmico e hídrico da região produtora.

Os frutos são ovais, oblongos ou levemente elípticos, com a base usualmente arredondada, apresentando casca fina, superfície lisa e cor amarelo pálido na maturação (COELHO, 1993). Pesam, em média, 70 a 100 g. O suco, ácido, representa aproximadamente metade da massa total do fruto e apresenta teor médio de sólidos solúveis totais (SST) ou °Brix de 9, acidez total titulável (ATT) de 6%, relação entre SST e ATT de 1,5 e conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C) entre 20 e 40 mg L⁻¹. O comprimento varia de 5,5 a 7,0 cm e o diâmetro de 4,7 a 6,3 cm. A polpa dos frutos é amarelo-esverdeada e de textura firme (FIGUEIREDO, 1986; LUCHETTI et al., 2003).

O desenvolvimento dos frutos, da antese até a maturação, segue uma curva sigmoideal caracterizada por três estádios diferenciados (BAIN, 1958). O primeiro, correspondente à fase de divisão celular, dá-se no intervalo do pleno florescimento ao tempo requerido para a formação dos tecidos (entre quatro e oito semanas). O segundo estágio compreende o período mais crítico e de máximo crescimento do fruto, sendo marcado por rápidas mudanças morfológicas, anatômicas e fisiológicas, na ausência de divisão

celular. A polpa expande-se significativamente como resultado do acréscimo de suco nas vesículas. O final dessa fase é marcado pelo início da mudança de cor do flavedo, quando as clorofilas começam a se degradar, havendo aparecimento e incremento de outros pigmentos, principalmente carotenóides. Para a lima ácida 'Tahiti', esse período parece coincidir com o ponto de colheita, especialmente para o mercado interno brasileiro, onde a preferência para frutos de casca lisa, macios e suculentos. Para o mercado internacional, os frutos têm sido colhidos um pouco antes, quando estão com a coloração verde-escura (MEDINA, 2003).

Nesse caso, em plantios comerciais, os frutos de 'Tahiti' não chegam a alcançar o terceiro estágio de desenvolvimento, marcado pelo início da maturação fisiológica, ao contrário das laranjas e tangerinas, em que, durante essa fase, é que se dá a perda de clorofila e o desenvolvimento da cloração característica, determinante na identificação do ponto ideal de colheita dos frutos (AGUSTÍ et al., 1995).

Vale ressaltar que o período total de desenvolvimento dos frutos é diferente entre espécies e cultivares e influenciado pelo clima, sendo mais rápido nos trópicos ou em locais de maior disponibilidade de energia. Esse período pode ser estimado em função do acúmulo de graus-dia (GD) que, para a lima ácida 'Tahiti' é de 1220° C, considerando-se a temperatura basal de 13° C (SAM et al., 1988). A temperatura constitui o fator ambiental mais relevante a influenciar o desenvolvimento das plantas. Segundo VOLPE (1992), o modelo mais largamente utilizado para avaliar o desenvolvimento fenológico baseia-se no acúmulo de graus-dia, sendo este definido como o número de graus pelos quais a temperatura média diária supera uma dada temperatura base.

Este conceito pode ser usado para melhorar o manejo das práticas agrícolas, auxiliar na programação das colheitas, seleção de culturas adequadas para plantio em uma determinada área e na organização de modelos para previsão do início e da duração dos períodos fenológicos. SOUZA (2001) concluiu que são necessários 1493° C, entre a antese e a colheita da lima ácida 'Tahiti', nas condições edafoclimáticas da região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, o que situa a cultura entre as espécies precoces de citros.

O desenvolvimento vegetativo dos citros é influenciado pela temperatura do ar. A brotação ocorre em qualquer época do ano, desde que a temperatura do solo esteja acima de 12° C (AGUSTÍ e ALMELA, 1991). A área foliar de uma planta adulta varia entre 100 e 200 m² e o Índice de Área Foliar (IAF) entre 1 e 4, sendo maior nas regiões subtropicais, onde as plantas são mais compactas (MEDINA, 2003). Nas tropicais, os internódios são maiores e a folhagem menos compacta (RIAC, 2002).

2.3. Exigências edafoclimáticas

As plantas cítricas são cultivadas em diferentes regiões do mundo, adaptando-se às distintas condições climáticas, desde o clima subtropical até o equatorial e desde as regiões úmidas até as áridas, resultando em grande variação em suas características fenológicas, taxas de crescimento, níveis de produtividade e na qualidade dos frutos (SENTELHAS, 2005).

No Brasil, apesar do Estado de São Paulo ser responsável por cerca de 80% da produção de citros, existem pomares comerciais em todas as regiões do país, englobando diversos tipos de clima, como o tropical úmido, tropical de altitude e subtropical, onde, normalmente, não há restrições à produção, exceto em algumas áreas da região Nordeste (sem uso de irrigação), onde ocorrem períodos de déficit hídrico acentuado, e na região Sul, onde as geadas são freqüentes (SENTELHAS, 2005).

As referências encontradas na literatura acerca das exigências edafoclimáticas da lima ácida 'Tahiti' relacionam aspectos genéricos para o gênero *Citrus*. Este se origina das regiões tropicais úmidas da China, no Sudeste asiático, incluindo áreas do Leste da Índia, Bangladesh, Filipinas e Indonésia (REUTHER, 1973). Essa origem, em grande parte, se baseia na natureza mesofítica das plantas cítricas, ou seja, não adaptadas a longos períodos de estiagem, em razão de seu sistema radicular ser relativamente superficial e de suas folhas, sempre verdes, não apresentarem mecanismos que limitem eficientemente a transpiração (KALMA e FUCHS, 1976).

Os pomares de citros no mundo, dentre os quais, cerca de 70% são de laranjas, 14% de tangerinas, 9% de cidras, limas e limões e 7% de toranjas (DOORENBOS e KASSAM, 1994), estão espalhados por todos os

continentes, exceto no Antártico, concentrando-se a exploração comercial, predominantemente, nas regiões tropicais e subtropicais, entre as latitudes de 20 e 40° dos dois hemisférios, onde os regimes térmicos e/ou hídricos são mais satisfatórios.

As plantas cítricas apresentam uma ampla adaptação a diferentes regimes térmicos, desde temperaturas elevadas e constantes, como acontece, por exemplo, em Itabaianinha (SE), com uma amplitude térmica média anual de menos de 4° C, até condições de ampla variação sazonal de temperatura, como nos climas subtropicais dos EUA, China, Irã e Espanha, onde a amplitude térmica média anual oscila entre 15 e 25° C (ORTOLANI et al., 1991).

O clima interfere de forma decisiva em todas as etapas da cultura, influenciando na adaptação das variedades, no comportamento fenológico, na curva de maturação, na taxa de crescimento, nas características físicas e químicas dos frutos e no potencial de produção.

Dentre os elementos climáticos, a temperatura é o de maior importância, não apenas pela influência que exerce sobre o desenvolvimento das plantas e qualidade dos frutos, mas também por impor limites à expansão da cultura. MEDINA e SILVA (2003) citaram temperaturas entre 22 e 33° C como a faixa ideal para plantas cítricas. Temperaturas acima de 40° C e abaixo de 13° C são limitantes à fotossíntese e diminuem a produtividade.

Para as limas ácidas, locais com temperaturas elevadas são melhores para a sua adaptação. Entretanto, sob temperaturas superiores a 30° C, tanto diurna como noturna, ocorre diminuição no tamanho dos frutos e aumento na taxa de abscisão de frutos jovens. Segundo SAM et al. (1988), a temperatura basal, abaixo da qual a limeira ácida 'Tahiti' tem seu crescimento paralisado, é de 13° C.

No que tange à qualidade dos frutos, os efeitos da temperatura do ar estão relacionados à determinação das colorações externa e interna, tamanho, sabor e injúrias (REUTHER, 1973). Normalmente, nas regiões de clima tropical úmido, onde a amplitude térmica diária e anual é menor, os frutos tendem a ser maiores, com casca verde e mais fina e com mais suco, porém com menor conteúdo total de sólidos solúveis e concentração de

ácidos no suco do que os frutos produzidos em regiões de clima subtropical (SENTELHAS, 2005).

Outras variáveis climáticas apresentam efeitos indiretos sobre a produção dos citros, a exemplo da umidade do ar e da intensidade dos ventos, embora a primeira tenha relação com a fitossanidade dos pomares, pelo aumento da incidência de doenças fúngicas em condições de clima muito úmido (MEDINA e SILVA, 2003; MEDINA, 2003). Juntamente com a velocidade do vento, esta variável atua na definição do poder evaporante do ar, de forma que, nos ambientes mais úmidos, a tendência é de menores taxas de evapotranspiração dos pomares, enquanto que, nos de clima seco, as taxas de evapotranspiração são bastante elevadas. Este aspecto acaba sendo um fator importante na determinação da demanda hídrica das plantas cítricas, especialmente onde a irrigação é fundamental.

Segundo SENTELHAS (2005), as diferenças observadas entre os padrões climáticos das principais regiões produtoras de citros do mundo mostra a grande capacidade das plantas cítricas em se adaptar a tipos distintos de ambiente, tendo como consequência, porém, variações nas respostas quanto à exigência hídrica, ao rendimento, à fenologia (duração do ciclo e época de maturação), à qualidade dos frutos e ao nível tecnológico a empregar na atividade.

Particularmente, a região Centro-norte do Piauí apresenta condições térmicas satisfatórias para a produção de lima ácida 'Tahiti' durante a maior parte do ano. No entanto, no período mais quente da região (agosto a novembro), em que são registradas temperaturas máximas de 34 a 38° C (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004), pode haver restrição ao crescimento das plantas, ao vingamento de flores e ao desenvolvimento dos frutos, refletindo diretamente no rendimento da cultura. Quanto às condições hídricas locais, a intensificação do período de estiagem na segunda metade do ano, associado às elevadas taxas de evaporação, provocam deficiência hídrica acentuada. Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental para alcançar níveis satisfatórios de produtividade.

Em relação à aptidão edáfica, a lima ácida 'Tahiti', assim como as demais espécies cítricas, se adapta bem a diferentes tipos de solos, desde muito arenosos a relativamente argilosos. Entretanto, a adaptação e o

desempenho produtivo serão diferentes conforme cada situação, estando relacionados ainda, em grande parte, às características do porta-enxerto utilizado.

O melhor desenvolvimento dos citros ocorre em solos profundos (superior a um metro de profundidade), friáveis e com boa drenagem. Em geral, solos com teor de argila maior que 50% e que apresentam deficiência de drenagem dificultam o crescimento das raízes. Recomenda-se manter o pH do solo próximo a 6,5 e elevar a saturação por bases para 70%, na camada de 0 a 0,2 m. Adubações de manutenção devem fornecer quantidades suficientes para manter os níveis de fósforo e potássio superiores a 4 - 8 mg dm⁻³ (MEDINA e SILVA, 2003).

Quanto à sensibilidade das plantas à salinidade do extrato de saturação do solo, os citros são particularmente sensíveis a concentrações elevadas de sais no solo. Segundo AYERS e WESTCOT (1999), níveis de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo da ordem de 1,7 dS m⁻¹ são considerados como o limite de tolerância dos citros sem prejudicar o máximo potencial de produtividade da cultura.

2.4. Padrões de qualidade da lima ácida 'Tahiti'

O destino da produção de lima ácida 'Tahiti' é o consumo *in natura*, nos mercados interno e externo, ou a indústria de suco concentrado. O óleo essencial extraído da casca tem grande emprego industrial como aromatizante de alimentos e ingrediente de perfumaria. Apresenta ainda propriedades medicinais, como estimulante da digestão, antioxidante e anti-séptico, tendo amplo uso nas formulações homeopáticas (LUCHETTI et al., 2003).

As qualidades mais demandadas pelos consumidores são o frescor e o maior teor de suco dos frutos, que se caracterizam pelo aspecto da casca, que deve ser verde e brilhante, para transmitir essa primeira impressão, e fina, lisa e ligeiramente macia para confirmar o teor de suco. A preservação dessas características, indispensável para garantir qualidade superior dos frutos, torna-se possível mediante o emprego de ceras e a manutenção dos frutos em câmaras com atmosfera modificada na fase pós-colheita, o que

diminuirá a taxa respiratória dos frutos, evitando a perda de peso e o aspecto ressecado da casca (GAYET e SALVO FILHO, 2003).

Normalmente, os frutos são classificados por tamanho e comercializados nos mais diversos tipos de embalagem. Recentemente, foi lançada a classificação da lima ácida 'Tahiti', inserida no Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros, de adesão voluntária, que contempla critérios relacionados à cor, tamanho, aspecto e qualidade (Centro de Qualidade em Horticultura, 2000). De acordo com o sistema proposto, a coloração dos frutos varia do verde-intenso ao verde-amarelado (cinco classes), enquanto que o tamanho ou calibre é dividido em onze classes, conforme o diâmetro equatorial dos frutos.

No tocante ao formato e à qualidade externa dos frutos, existe uma classificação baseada nas definições de defeito grave e leve, além da presença de manchas (difusas ou profundas).

Segundo GAYET e SALVO FILHO (2003), para o mercado externo, a classificação é feita por tamanhos, permitindo a separação dos frutos em cinco tipos comerciais e dois não comerciais, sendo estes últimos considerados extremos: o primeiro, quando inferior a 47 mm, e o outro, acima do máximo admitido (65 mm).

2.5. Ecofisiologia da cultura

Muitos trabalhos têm relatado a indução do florescimento nos citros, após um período de baixas temperaturas (zonas subtropicais) ou estresse hídrico (zonas tropicais), seguido da restauração das condições climáticas favoráveis ao crescimento, sendo o grau de florescimento diretamente proporcional à duração e/ou intensidade desses estresses (DAVENPORT, 1990; GARCÍA-LUIS et al., 1992; KRAJEWSKI e RABE, 1995). Segundo (MEDINA, 2003), essa indução se dá mediante diferenciação e quebra de dormência de gemas floríferas, principalmente em ramos com 6 a 18 meses que não possuem frutos. Ainda segundo este autor, para um florescimento satisfatório, a seca deve ter intensidade e duração suficiente para conduzir a visível perda de hidratação ou turgescência das folhas, por um período próximo de 40 dias, sem que haja desfolha excessiva e prejudicial à planta.

Nos citros, um período de repouso é essencial à floração, pois a duração desse período determina a quantidade de flores produzidas. A paralisação do crescimento vegetativo, em função da ocorrência de frio ou seca, resulta no acúmulo de reservas pela planta, as quais são rapidamente consumidas na florada, durante a formação das estruturas reprodutivas (LIMA, 1989).

PIRE e ROJAS (1999), estudando a relação entre o potencial de água na folha e a densidade de flores em plantas de lima ácida 'Tahiti', relataram que o número de flores aumentou gradativamente com o aumento da intensidade do estresse por deficiência hídrica. A relação entre o grau de floração e de crescimento vegetativo posterior depende da intensidade da deficiência hídrica no período de repouso vegetativo. Assim, uma deficiência acentuada pode induzir, posteriormente, a formação excessiva de flores, com efeitos negativos sobre o crescimento vegetativo e rendimento, inclusive em produções subseqüentes.

Para o frio atuar isoladamente e promover o florescimento, ALBRIGO et al. (2002) relataram a necessidade de 800 a 1000 horas sob temperaturas abaixo de 20° C, sem interrupções no período, para estimular novas brotações. MOSS (1969) citou os valores de 13 a 15° C, durante o dia, e de 10 a 13° C, durante a noite, como os limites máximos de temperatura do ar para promover o florescimento. Por outro lado, DAVENPORT (1990) afirmou que esse limite ainda não está bem definido, embora acredite que o mesmo esteja em torno de 19° C.

De acordo com MEDINA (2003), a indução da floração por baixas temperaturas pode ocorrer em algumas regiões do Brasil, como no Sul do Estado de São Paulo, independentemente da presença de estresse hídrico.

Na região centro-norte do Piauí, as menores temperaturas verificadas durante o ano, variam entre 18 e 20° C (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004).

Nessas condições, não ocorre acúmulo de horas sob baixas temperaturas suficiente para induzir o florescimento dos citros, sendo possível o manejo da época e da intensidade da floração apenas pelo uso de estresse hídrico no período seco do ano.

A indução do florescimento em plantas de limeira ácida 'Tahiti', cultivadas em vasos, em casa de vegetação, por meio do estresse hídrico,

ocorreu após duas semanas de estresse, sendo os maiores valores obtidos em relação à porcentagem de flores por brotações e o número de flores por plantas após cinco semanas de estresse (SOUTHWICK e DAVENPORT, 1986).

De acordo com MEDINA (2003), uma das maneiras de avaliar como as plantas se adaptam às condições adversas é através da eficiência de assimilação de gás carbônico (CO_2). Para o CO_2 atmosférico atingir os cloroplastos e ser reduzido a carboidrato, é necessário que penetre na folha pelos estômatos e se difunda entre os espaços inter e intracelulares. A abertura estomática permite, entretanto, que ocorra a perda de água em virtude do gradiente de potencial hídrico estabelecido entre a superfície interna hidratada e a atmosfera. Este aspecto significa que, se por um lado, a queda da condutância estomática diminui a perda de água no período de maior demanda hídrica pela atmosfera, por outro lado, há uma redução na assimilação de CO_2 . O movimento dos estômatos é, então, o meio mais rápido que as plantas dispõem para ajustar-se às variações ambientais.

O controle estomático pode constituir um fator de tolerância às condições de baixa umidade atmosférica ou estresse hídrico, mostrando a adaptação dos citros em regiões áridas ou úmidas (LEVY et al., 1983). A queda da condutância estomática e da assimilação, em resposta ao elevado Déficit de Pressão de Vapor (DPV), é mais pronunciada quanto menor for a quantidade de água disponível no solo e maior sua temperatura (TURNER et al., 1985). Assim, a irrigação constitui um dos mais importantes fatores do manejo em regiões quentes, podendo amenizar, em parte, os efeitos negativos da elevada DPV.

As diferentes combinações de porta-enxerto e copas apresentam comportamento diverso em relação às trocas gasosas e relações hídricas. Porta-enxertos podem determinar a manutenção do estado de hidratação da planta como conseqüência da arquitetura do sistema radicular, maior relação entre a parte aérea e raiz, condutividade hidráulica ou pela produção de hormônios indutores de alterações metabólicas que garantam a absorção de água em solos mais secos (MEDINA e MACHADO, 1998).

2.6. Determinação da necessidade hídrica das culturas

A necessidade hídrica das culturas pode ser determinada a partir da estimativa ou medição da evapotranspiração (ETc), definida como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície vegetada durante determinado período, que ocorre na área de cultivo, variando conforme a espécie cultivada, o estágio e condições de desenvolvimento da cultura, a disponibilidade de energia e a demanda atmosférica. A ETc inclui evaporação de água do solo, evaporação da água depositada por irrigação, chuva ou orvalho na superfície das folhas e transpiração vegetal.

A deficiência hídrica limita a produção primária dos ecossistemas e o rendimento das culturas, principalmente pelas restrições que impõe à fixação fotossintética do gás carbônico e ao crescimento das plantas. A água não é um composto permanente dos tecidos vegetais, mas flui pelo sistema solo-planta-atmosfera em grandes quantidades. As plantas, ao longo de seu ciclo vital, estão sujeitas a sofrerem continuamente deficiências internas de água, em maior ou menor grau, com suas consequências para o crescimento e a produção, se o suprimento de água por chuva ou irrigação não for adequado (MUDRIK, 2005).

Dentro desse contexto, o estudo das necessidades hídricas de uma cultura torna-se necessário, uma vez que pequenas reduções na disponibilidade de água podem diminuir substancialmente o crescimento, ainda que não se observem murchas nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis de déficit hídrico.

A estimativa adequada das necessidades hídricas de uma cultura é imprescindível para o dimensionamento e o manejo adequados de qualquer sistema de irrigação, uma vez que a evapotranspiração é o fundamento para o planejamento e desenho da maioria dos projetos de irrigação. É o ponto de partida na determinação das necessidades de armazenamento da água superficial ou no perfil do solo, na capacidade de descarga do sistema e nas operações de manejo em geral.

A estimativa da evapotranspiração da cultura envolve um procedimento que se desenvolve em duas etapas. Na primeira, estima-se a evapotranspiração de referência (ETo), geralmente utilizando uma

equação empírica. Na segunda, a ET_c é obtida multiplicando-se a ET_o por um coeficiente de cultura (K_c) que integra as características desta, variando de acordo com sua fase fenológica e do clima local (DOORENBOS e PRUITT, 1977) (Equação 1).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{Equação (1)}$$

em que:

ET_c = evapotranspiração máxima da cultura, em mm;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm; e

K_c = coeficiente da cultura, adimensional.

2.6.1. Evapotranspiração de referência (ET_o)

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração. Evapotranspiração (ET) foi o termo utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar essa ocorrência simultânea (PEREIRA et al., 1997).

DOORENBOS e PRUITT (1977) definiram a evapotranspiração de referência (ET_o) como aquela de uma extensa superfície de grama, com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. A evapotranspiração de referência, assim definida, coincide com a evapotranspiração potencial.

Devido, principalmente, à grande variabilidade das culturas de referência em uso, pesquisadores de diversos países concluíram que o conceito de ET_o apresentava problemas, ocasionando erros tanto de subestimativas como de superestimativas. Com o intuito de padronizar o conceito de evapotranspiração para determinada região, de acordo com suas características climáticas, SMITH et al. (1991) propuseram uma nova definição para ET_o , baseada em uma cultura hipotética e um modelo para cálculo dessa variável com base na equação combinada de Penman e Monteith, denominada equação de Penman-Monteith FAO (SEDIYAMA, 1996).

A evapotranspiração de referência consiste naquela ocorrida em uma cultura hipotética de grama (superfície de referência) sem restrições hídricas e com características específicas, como resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 70 s m^{-1} , albedo igual a 0,23 e altura da cultura de 0,12 m (ALLEN et al., 1998). Esse método leva em consideração os aspectos termodinâmico e aerodinâmico, a resistência ao fluxo de calor sensível e de vapor de água no ar e a resistência da superfície à transferência de vapor de água.

Utilizando o modelo de Penman-Monteith parametrizado pela FAO para a determinação da ETo (Equação 2), ALLEN et al. (1998) encontraram a melhor relação entre o valor estimado a partir deste modelo e aquele observado em lisímetro. Na referida equação são necessários valores de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa média do ar e radiação solar (ou horas de insolação).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta (R_n - G) \gamma + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad \text{Equação (2)}$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹;

R_n = irradiância líquida à superfície da cultura, em MJ m⁻².d⁻¹;

G = densidade do fluxo de calor do solo, em MJ m⁻².d⁻¹;

T = temperatura do ar média diária a 1,5 m de altura, em °C;

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

e_s = pressão do vapor de saturação, em kPa;

e_a = pressão do vapor atual, em kPa;

e_s - e_a = déficit de pressão do vapor de saturação, em kPa;

= declividade da curva de pressão do vapor, na temperatura T, em kPa °C⁻¹;

= constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹.

Existem ainda vários outros métodos ou técnicas para se estimar a ETo a partir de dados meteorológicos, testados em diferentes condições climatológicas e geográficas, dentre eles, equações como Penman-radiação, FAO-Blaney-Criddle e Hargreaves & Samani, ou pelo uso do Tanque Classe A. Todos estes métodos apresentam limitações em relação ao método padrão.

SIMÃO et al. (2003), comparando a ETo obtida com o tanque classe A com a calculada pela equação de Penman-Monteith, nas condições da região Norte do Estado de Minas Gerais, concluíram que o tanque não deve ser utilizado para controle de irrigações com turno de rega diário, devido ao grande erro padrão de estimativa encontrado para esta situação (2,54 mm por dia).

De modo geral, a escolha de um método de estimativa da ETo depende de uma série de fatores, tais como a disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo desejada. O método de Penman-Monteith, adotado pela FAO como método-padrão de estimativa da ETo em escala diária, exige grande número de variáveis meteorológicas, sendo utilizado somente quando há disponibilidade de todos os dados necessários.

Como alternativa para solucionar o problema, destaca-se o uso de métodos empíricos de estimativa da ETo, os quais, por serem desenvolvidos e calibrados localmente, não têm aplicação universal, apresentando, porém, melhores resultados do que aqueles mais genéricos e fisicamente mais realistas (PEREIRA et al., 2002). ANDRADE JÚNIOR et al. (2003) ajustaram métodos para estimativa da ETo, na escala diária, para os municípios de Parnaíba e Teresina (PI), com boa precisão e exatidão, em função de dados de temperatura e umidade relativa do ar, além do déficit de pressão de vapor d'água.

2.6.2. Coeficiente da cultura (Kc)

O coeficiente da cultura (Kc) ajusta a evapotranspiração de referência para as condições da cultura, variando em função da fase fenológica, do clima, do manejo, do estande de plantas, dentre outros fatores. Os coeficientes de cultura, para uma planta cultivada sob diferentes condições

climáticas e épocas de plantio, podem variar, já que os parâmetros climáticos locais, assim como as variações fisiológicas e aerodinâmicas da cultura influenciam diretamente a evapotranspiração (JENSEN, 1973).

DOORENBOS e PRUITT (1977) e DOORENBOS e KASSAN (1979) reuniram grande quantidade de informações a respeito das necessidades hídricas das culturas, apresentando amplo estudo sobre o K_c da maioria das espécies cultivadas comercialmente.

O método consiste em dividir o ciclo da cultura em quatro fases de desenvolvimento, definindo-se um K_c específico para cada fase (BERNARDO et al., 2005). Nesse caso, a distribuição temporal do K_c constitui uma curva que representa o efeito integrado da mudança na área foliar, da altura da planta, do grau de cobertura, da resistência do dossel da planta e do albedo sobre a ET_c em relação a ET_o (SEDIYAMA, 1996). Evidentemente, tais valores de K_c são aproximados, sendo recomendado o ajuste regionalizado, de acordo com variedades e condições de clima.

No caso dos citros, as referências na literatura sobre o coeficiente K_c são escassas. De acordo com DOORENBOS e PRUITT (1977) e ALLEN et al. (1998), valores de K_c para pomares cítricos com plantas jovens cobrindo 20% da área variam de 0,45 a 0,55, em cultivo com controle de plantas daninhas, e de 0,85 a 0,90 em áreas sem controle do mato. Cobrindo 50% da área, o K_c varia de 0,55 a 0,65 (com controle de plantas daninhas) e de 0,75 a 0,85 em cultivo sem controle do mato, enquanto que, com área coberta superior a 70%, K_c varia de 0,60 a 0,75 em terreno sem mato e de 0,75 a 0,85 em área com mato.

ROGERS et al. (1983) relataram medidas mensais da relação entre ET_c medido e ET_c calculado, usando a média de quatro métodos de estimativa (Penman, Blaney-Cridle, Jensen-Haise e Tanque Classe A). Os resultados de K_c variaram de 0,90, no mês de janeiro (inverno), a 1,11, em junho (verão).

Os valores de K_c relatados por DOORENBOS e PRUITT (1977), após ajuste para condições úmidas, variam de 0,90, de dezembro à março, a 0,95, em janeiro e fevereiro. CASTEL et al. (1987) estimaram K_c mensal para pomar de laranja 'Navel' adulto irrigado por gotejamento cultivado em Valência (Espanha). Os resultados revelaram valores que variaram de 0,71,

de janeiro a Julho, até 0,90, de agosto a dezembro. Valores de Kc de pomares de laranjeira 'Hamlin', com três anos de idade, cultivadas em solo arenoso na região central da Flórida, variaram de aproximadamente 1,05 (novembro a março) até 0,85 (maio a agosto) (FARES e ALVA, 1999).

A recomendação de VIEIRA e RIBEIRO (1993) é de Kc igual a 0,80 para plantas adultas de limeira ácida 'Tahiti'. Para laranjeira 'Pêra' enxertada sobre limoeiro 'Cravo', com quatro anos de idade e cultivadas no espaçamento 7 x 4 m, BERTONHA (1997) recomendaram Kc de 0,75, enquanto que para laranjeiras 'Baianinha' e 'Hamlin', o valor de Kc é 1,0 no outono-inverno, em condições de suprimento hídrico adequado.

SEPASKHAH e KASHEFIPOUR (1995), estudando o coeficiente de cultura para plantas de limeira doce, sob irrigação localizada, em Shiraz (Irã), obtiveram um Kc máximo de 1,17, sendo este valor muito superior ao

2.6.3. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da variação da umidade do solo (Ks)

O método apresentado para determinar a ETc (ALLEN et al., 1998) objetiva a determinação da evapotranspiração da cultura, sendo o cultivo conduzido em ótimas condições de desenvolvimento, adequadamente manejado, sem estresses hídrico e nutricional. Intrinsecamente, também supõe o suprimento de água na forma de precipitação ou irrigação total (cobrindo toda a área).

A redução dos níveis de umidade do solo em períodos após a irrigação ou precipitação, mais evidenciada em cultivos irrigados com turnos de rega maiores, promove decréscimos do potencial da água no solo, reduzindo sua absorção pelas plantas, causando estresse hídrico. A redução da evapotranspiração da cultura é descrita pelo coeficiente de redução da evapotranspiração ou de estresse hídrico (Ks), dependendo da disponibilidade de água no solo.

Na literatura, há diversas proposições para o cálculo de Ks. A maioria dos pesquisadores considera que o Ks é igual a unidade (evapotranspiração real se iguala à potencial) durante algum tempo após a irrigação, decrescendo rapidamente a partir de determinado valor de umidade do solo, segundo uma forma exponencial (BERNARDO et al., 2005). Há três considerações que se destacam:

Ks linear (modelo linear):

$$K_s = \frac{(U_a - PM)}{(CC - PM)} \quad \text{Equação (3)}$$

Ks logarítmico (modelo logarítmico):

$$K_s = \frac{\ln[(U_a - PM) + 1]}{\ln[(CC - PM) + 1]} \quad \text{Equação (4)}$$

K_s unitário:

$$K_s = 1$$

Equação (5)

em que:

K_s = coeficiente de estresse hídrico em função da umidade atual do solo;

U_a = umidade atual do solo, % em massa;

PM = ponto de murcha permanente, % em massa; e

CC = capacidade de campo, % em massa.

O valor de K_s correspondente a 1 é utilizado para valores de umidade do solo próximos às de capacidade de campo, como no caso de manejo de irrigação de alta frequência.

Na Figura 3 apresenta-se o comportamento dos valores de K_s pelos modelos logarítmico e linear em função da variação de água disponível no solo.

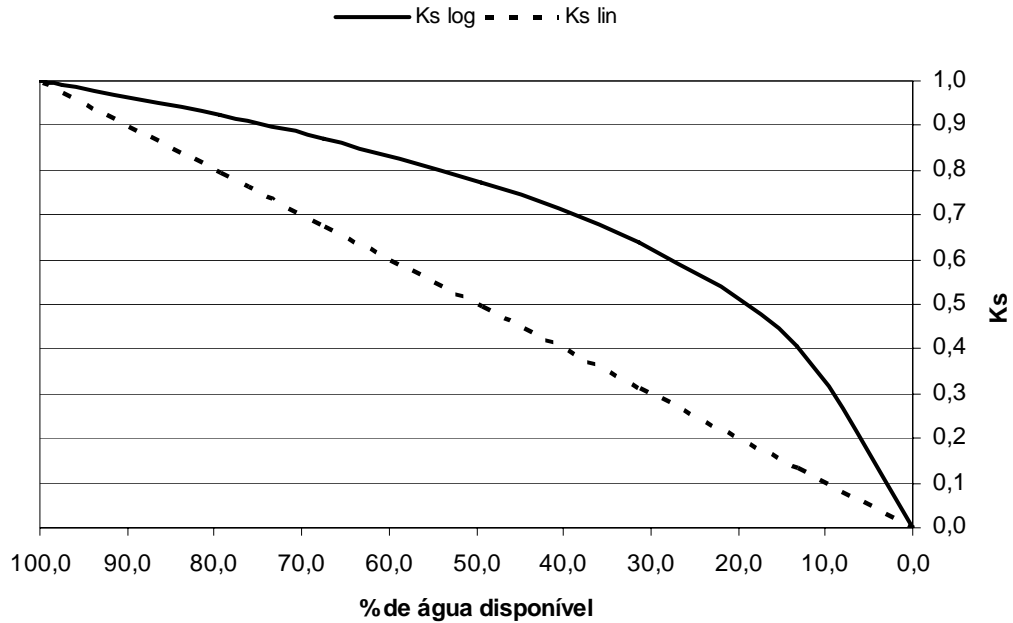


Figura 3. Variação do coeficiente de estresse hídrico (K_s) em função da porcentagem da água disponível no solo (Modelos Logarítmico e Linear).

2.6.4. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da aplicação localizada de água (K_l)

Para determinar a evapotranspiração em cultivos irrigados, no caso de sistemas de irrigação que não aplicam água em toda a área, a evapotranspiração da cultura deve ser corrigida através do uso de um coeficiente, denominado coeficiente de localização (K_l). De modo geral, na irrigação localizada, a água é aplicada em 1/3 a 2/3 da área, o que reduz a evapotranspiração em razão da menor porcentagem de área molhada e da menor porcentagem de área sombreada pela cultura, comparativamente aos métodos de irrigação que molham toda a área. A magnitude dessa diminuição da evapotranspiração dependerá de várias características das partes transpirantes das plantas, como massa foliar, superfície total das folhas e volume da copa, dentre outras (HERNANDEZ ABREU et al., 1987; PIZARRO, 1990).

A correção devido à localização consiste em multiplicar a ET_c por um coeficiente de localização (K_l), cujo valor depende, sobretudo, da

porcentagem de área sombreada e, ou molhada do solo ao longo do ciclo da cultura.

Vários autores propuseram equações ou modelos para corrigir a ETc devido ao efeito da localização. Os modelos mais práticos para determinar KI se baseiam na porcentagem de área sombreada, que é definida como a fração da superfície do solo sombreada pela cobertura vegetal ao meio-dia no zênite local, em relação à superfície total (PIZARRO, 1990).

Entre os modelos que visam representar a relação entre KI e porcentagem de área sombreada, alguns são apresentados a seguir:

KELLER (1978):

$$KI = 0,85 P + 0,15 \quad \text{Equação (6)}$$

KELLER e BLIESNER (1990):

$$KI = \sqrt{P} \quad \text{Equação (7)}$$

KELLER e KARMELI (1975):

$$KI = \frac{P}{0,85} \quad \text{Equação (8)}$$

FERERES (1981):

$$\text{Se, } P \geq 65\% \rightarrow KI = 1 \quad \text{Equação (9)}$$

$$\text{Se, } 20\% < P < 65\% \rightarrow KI = 1,09P + 0,30 \quad \text{Equação (10)}$$

$$\text{Se, } P \leq 20\% \rightarrow KI = 1,94 P + 0,1 \quad \text{Equação (11)}$$

ALJIBURY et al. (1974):

$$Kl = 1,34P \quad \text{Equação (12)}$$

VERMEIREN e JOBLING (1980):

$$Kl = 0,1 + P \quad \text{Equação (13)}$$

HOARE et al. (1974):

$$Kl = P + 0,5(1 - P) \quad \text{Equação (14)}$$

Em todas as equações, P representa o valor da porcentagem de área sombreada (PAS) ou a porcentagem de área molhada (PAM), sendo utilizado sempre o maior valor.

Segundo PIZARRO (1990), uma crítica que se pode fazer às equações anteriores, com exceção das propostas por FERERES (1981) e KELLER e BLIESNER (1990), é o aspecto linear da relação entre Kl e P utilizado nessas equações (PIZARRO, 1990). Trabalhos conduzidos na Califórnia (EUA) por FERERES (1981) evidenciaram que tal relação não foi observada com as culturas da amendoeira e do pessegueiro, e que, para pequenos valores de P, as necessidades calculadas podem ser menores que as verdadeiras.

Em alguns métodos, para maiores valores de P têm-se valores de Kl maiores que 1. Nesses casos, deve-se considerar o valor de Kl igual a 1. E no caso de ausência de cultivo ($P = 0$), algumas equações fornecem valores não nulos de Kl. Por essas razões é recomendável, ao aplicar essas equações, não perder de vista o seu significado real.

Na determinação da porcentagem de área molhada (PAM), têm-se dois casos a considerar: (i) quando se irriga uma faixa contínua do solo, o que é mais comum nos cultivos com menores espaçamentos entre plantas; (ii) quando se irriga por árvore, ou seja, não se formará uma faixa molhada contínua, mas sim áreas molhadas distintas por árvore, esse processo é

usado em cultivos com maiores espaçamentos entre covas, como pomares (BERNARDO et al., 2005).

A porcentagem de área molhada depende do volume e da vazão em cada ponto de emissão, do espaçamento entre emissores e do tipo de solo que está sendo irrigado (KELLER e KARMELI, 1975; VERMEIREN e JOBLING, 1980; KELLER e BLIESNER, 1990; PIZARRO, 1990).

De acordo com PIZARRO (1990), valores elevados de PAM aumentam a segurança do sistema, sobretudo em caso de avaria na instalação ou em situações de extrema evapotranspiração. Entretanto, ao aumentar-se PAM, geralmente aumenta-se também o custo de implantação do sistema. Enfim, pode-se dizer que, quanto maior o intervalo entre irrigações, maior o risco no caso de um valor de PAM muito próximo do mínimo. Assim, para efeito de dimensionamento é necessário usar um valor mínimo preestabelecido para a porcentagem de área molhada.

Segundo PIZARRO (1990), valores de PAM na ordem de 30 a 40% podem ser suficientes. KELLER (1978) aconselhou, para árvores, valores de PAM superiores a 20%, em zonas com altas precipitações e solos de textura média a argilosa, onde a irrigação é aplicada durante os períodos de seca (geralmente curtos) e entre 33 e 50% em zonas com baixas precipitações.

Para plantios mais espaçados, KELLER e BLIESNER (1990) recomendaram valores de PAM entre 33 e 67%, afirmando que em regiões com considerável suprimento de chuvas valores menores que 33% são aceitáveis para solos de textura média a argilosa. Esses referidos autores consideram que valores de PAM superiores a 33% promovem desenvolvimento satisfatório do sistema radicular das plantas.

Um aspecto que deve ser observado no dimensionamento é que, quanto maior o volume de solo molhado e, portanto, o explorado pelas raízes, menor a possibilidade de se produzir um estresse hídrico pelo aumento da reserva de água no solo (VERMEIREN e JOBLING, 1980).

Na Figura 4 é apresentado o comportamento dos modelos de KELLER (1978), FERERES (1981) e KELLER e BLIESNER (1990), sendo a variação deste último intermediária entre os demais.

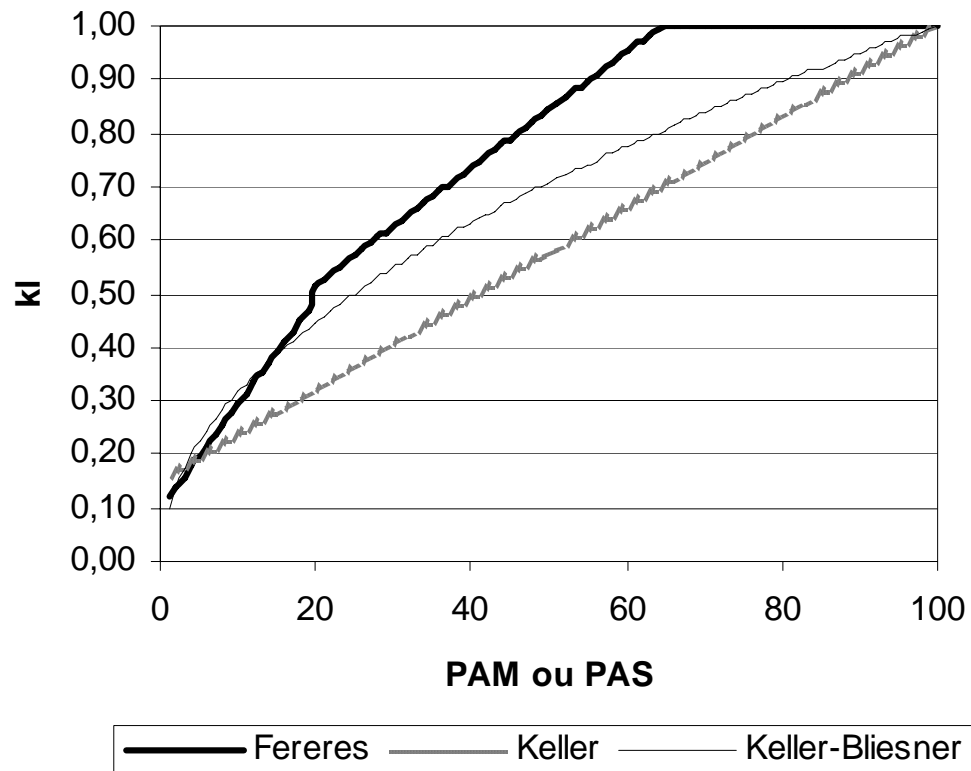


Figura 4. Curvas de coeficientes de localização propostos por KELLER (1978), FERERES (1981) e KELLER e BLIESNER (1990) em função da porcentagem da área molhada (PAM) e ou da área sombreada (PAS).

Em síntese, a evapotranspiração da cultura define a demanda de água da cultura, sendo de fundamental importância na determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada. Dessa forma, para irrigação localizada, a ET_c pode ser calculada pela seguinte equação (MANTOVANI e COSTA, 1998):

$$ET_c = ETo \times Kc \times Ks \times KI \quad \text{Equação (15)}$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm;

ETo = evapotranspiração de referência, em mm;

Kc = coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional;

K_s = coeficiente de estresse hídrico, em função da variação da umidade do solo (0 a 1), adimensional; e

K_l = coeficiente de localização, dependente da percentagem de área molhada e sombreada.

Dependendo de outros tipos de estresse, como solo com elevada salinidade, deficiência nutricional, camada de impedimento ou encharcamento, pragas, doenças etc., a evapotranspiração poderá se reduzir. Nesse caso, a ET_c é calculada ajustando-se o K_c para outros tipos de estresse (ALBUQUERQUE et al., 2002).

2.7. Manejo e eficiência de irrigação

Um aspecto importante relacionado à irrigação é o seu adequado manejo, aplicando a quantidade correta no momento ideal, evitando, assim, que ocorra perda de água por percolação e de nutrientes por lixiviação ou que a planta sofra estresse hídrico, não alcançando a produtividade desejada.

O manejo de irrigação é avaliado pela capacidade do método em determinar quando e quanto irrigar, promovendo a aplicação de água na quantidade requerida pela cultura. Além do manejo adequado, é importante que o sistema de irrigação utilizado apresente elevada eficiência de aplicação.

A implementação de um programa de manejo de irrigação apresenta várias vantagens, destacando-se: aumento da produtividade, da qualidade das frutas e da rentabilidade, otimização da mão-de-obra, de energia elétrica, de nutrientes e de outros insumos, além da preservação do meio ambiente.

Segundo estudo realizado pela CEMIG (1993), se a irrigação em Minas Gerais fosse manejada adequadamente e houvesse manutenção preventiva dos equipamentos, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumida seriam economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao

redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para a irrigação.

O manejo da irrigação pode ser baseado em critérios relacionados ao *status* da água no solo e nas plantas, na taxa de evapotranspiração da cultura ou na combinação de dois ou mais critérios ou parâmetros. Em alguns casos, o uso associado de dois métodos pode elevar a precisão na determinação da necessidade hídrica da cultura. A escolha do método e critério dependerá da disponibilidade de informações e do nível tecnológico da produção (SILVA e MAROUELLI, 1998).

Há vários métodos de se conduzir o manejo de irrigação, sendo todos utilizados para definir quando e quanto irrigar. Os métodos mais utilizados em condições de campo são os baseados no turno de rega pré-calculado, no balanço e na tensão de água no solo.

O método do turno de rega não realiza o manejo em tempo real, havendo uma previsão de demanda de irrigação em função da evapotranspiração média mensal e histórica, daí apresentar menor precisão. Por ser de simples execução e baixo custo, é o mais utilizado. É recomendado quando não se dispõe de dados e, ou, equipamentos que permitam a utilização de um método mais eficiente (MAROUELLI et al., 1994).

Entre os que podem promover a determinação da lâmina de irrigação em tempo real com adequada precisão, em ensaios experimentais e cultivos de campo, pode ser citado o manejo da irrigação utilizando lisímetros, tensiômetros e balanço de água do solo. Há recursos que facilitam e incrementam o método do balanço hídrico do solo, como o uso de estação meteorológica, planilhas de cálculo ou programas computacionais.

Para implementar um método de manejo de irrigação, é fundamental que, inicialmente, o sistema de irrigação seja avaliado, determinando-se sua uniformidade de aplicação e sua eficiência de aplicação de água.

Segundo KELLER e BLIESNER (1990), a avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é etapa fundamental antes de qualquer estratégia de manejo de irrigação, pois é com base nos seus resultados que será possível adequar o equipamento e a sua utilização em relação aos requerimentos de água das plantas cultivadas, considerando-se a eficiência

e a uniformidade de aplicação de água do sistema. MANTOVANI (2003) salienta que, na irrigação localizada é recomendável, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento, determinar a uniformidade de irrigação. Para isto, tem-se que medir a vazão dos emissores ao longo das linhas laterais e a pressão de funcionamento no início das linhas de derivação ou no cabeçal de controle.

A avaliação do sistema de irrigação permite, além da determinação da uniformidade de distribuição de água do sistema, diagnosticar possíveis problemas como entupimento de emissores, necessidade de regulagem de cavaletes ou, até mesmo, necessidade de redimensionamento do sistema de irrigação.

Ainda segundo KELLER e BLIESNER (1990), o conceito de eficiência de irrigação pode ser dividido em dois aspectos básicos: a uniformidade de aplicação e as perdas que podem ocorrer durante a operação do sistema. Para que a eficiência possa atingir valores altos, é necessário que as perdas durante a operação sejam as menores possíveis e a uniformidade de aplicação, a maior possível.

As perdas durante a operação são caracterizadas pelas perdas de água pela evaporação e arraste pelo vento, como é o caso de irrigação por aspersão, além das perdas por vazamentos nas tubulações componentes do sistema. Em irrigação localizada, essas perdas podem ser consideradas desprezíveis, haja vista a aplicação localizada e pontual da irrigação.

A perda de água por vazamentos é função das condições de manutenção do projeto. Em condições de boa manutenção, elas são menores que 1%. Entretanto, em sistemas com manutenção inadequada, esse valor pode chegar a 10%, ou seja, a eficiência de condução de água (E_c) será somente de 90%. Essas perdas ocorrem, principalmente, nos acoplamentos da tubulação.

De acordo com BERNARDO et al. (2005), um dos principais fatores para se determinarem as condições de operação de um sistema de irrigação é a determinação da uniformidade de aplicação de água sobre a área irrigada.

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação pode ser expressa mediante a determinação

mais utilizado que descreve a uniformidade da irrigação é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 16).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |q_i - \bar{q}|}{n \bar{q}} \right) \quad \text{Equação (16)}$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

q_i = vazão de cada emissor, em L h⁻¹;

\bar{q} = vazão média dos emissores, em L h⁻¹;

n = número de emissores.

2.7.1. Manejo de irrigação pelo método do balanço de água no solo

O consumo de água pelas plantas é o parâmetro fundamental a ser considerado nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Os métodos utilizados para determinar esse consumo são os diretos, como os lisímetros, e os indiretos, baseados em modelos a partir da utilização de elementos climáticos, podendo-se destacar o balanço de água no solo.

O balanço hídrico é um método que quantifica as entradas e as saídas de água no perfil do solo, em determinado intervalo de tempo. Nesse método, o solo funciona como um reservatório de água, sendo a entrada quantificada pela irrigação e precipitação efetiva, enquanto as saídas são dadas pela evapotranspiração, pela drenagem da água subsuperficial para o lençol freático e pelo escoamento superficial. Os dois últimos parâmetros são considerados como excedente hídrico (BERNARDO et al., 2005).

Embora outros métodos para determinação das necessidades de água da planta sejam considerados mais precisos, como a razão de Bowen e o fluxo de seiva, e possam ser preferidos por pesquisadores, em algumas

situações, como no caso de culturas perenes, o método do balanço hídrico ainda é bastante útil para tais determinações (PEREIRA et al. 1997).

A utilização de modelos que representem o sistema de produção agrícola, descrevendo os processos físicos e biológicos por meio de equações matemáticas, representa uma ferramenta bastante útil de auxílio ao manejo da irrigação (COSTA, 1997).

Atualmente, existem programas computacionais que promovem os cálculos de maneira prática e direta, dentre os quais pode-se destacar o Irriplus (antigo IRRIGAGesai), desenvolvido pelo Gesai – Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada, vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, e utilizado como um sistema de suporte à decisão na agricultura irrigada, indicando, entre outras informações, o momento de irrigar, a lâmina da irrigação, qualidade da irrigação e o consumo de energia.

Para o funcionamento do programa, faz-se um cadastramento abrangente contendo informações de solo, clima, cultura, qualidade da água e do equipamento de irrigação. Com as informações cadastradas, o programa realiza o manejo de irrigação, calculando a lâmina a ser aplicada e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação utilizado, a partir do cadastramento diário dos elementos climáticos (proveniente de estações meteorológicas automáticas) e das irrigações realizadas. Por meio do cadastramento diário dos elementos climáticos, o Irriplus realiza a estimativa da ETo utilizando a equação de Penman-Monteith, equação-padrão recomendada pela FAO.

O Irriplus determina a demanda hídrica da cultura realizando o balanço hídrico diário e utilizando coeficientes de ajustes sobre a ETo , bem como define a lâmina de irrigação em função da diferença entre demanda hídrica e precipitação efetiva (MANTOVANI e COSTA, 1998), ou seja:

$$Li = \frac{(ETo \times Kc \times Ks \times Kl) - Pe}{Ea}$$

Equação (17)

em que:

Li = lâmina de irrigação, em mm;

ETo = evapotranspiração de referência (Penman–Monteith), em mm;

Kc = coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional;

Ks = coeficiente de estresse hídrico, em função da variação de umidade no solo (0 a 1), adimensional;

Kl = coeficiente de localização, em função da percentagem de áreas molhada e sombreada;

Ea = eficiência de aplicação, em decimal;

Pe = precipitação efetiva, em mm.

Do total de precipitação que incide em uma área, uma parte é retida pela cobertura vegetal, outra parte escoia sobre a superfície do solo e o restante infiltra no solo. Da quantidade desta última fração, uma parte percola para as camadas mais profundas e outra é retida na zona radicular, sendo esta a porção da precipitação que é utilizada pela cultura para atender a demanda evapotranspirométrica, denominada efetiva. Para se determinar a precipitação efetiva, existem vários métodos, dentre os quais podem-se citar o método do balanço de umidade no solo, do lisímetro, do U.S. Bureau of Reclamation e do Serviço de Conservação de Solos dos EUA (BERNARDO et al., 2005).

Para ajustar a ETc, o programa possui opções de uso de modelos. Para calcular o coeficiente de estresse hídrico, os modelos unitário, linear e logarítmico estão disponíveis. Para calcular o coeficiente de localização, os modelos disponíveis são os de Keller e Fereres ou outro a ser definido pelo usuário.

O Irriplus realiza o balanço hídrico do solo dividindo o mesmo em até quatro camadas. O programa estima e considera no balanço hídrico perdas por escoamento superficial e percolação profunda.

Além da utilização no manejo da irrigação, o programa pode auxiliar outras atividades, como na determinação da época ideal de plantio, planejamento das atividades através de simulações e monitoramento do risco de ocorrência de doenças, através de seus vários módulos.

2.8. Respostas das culturas cítricas à irrigação

Dentre as tecnologias de produção com importância para a citricultura, o manejo da água de irrigação pode incrementar de forma significativa a produtividade da cultura. No entanto, no caso da lima ácida 'Tahiti', dependendo do período de ocorrência e da sua intensidade, o déficit hídrico pode ser favorável à produção na entressafra, tendo em vista o caráter sazonal dos preços nos mercados interno e externo. Nesse caso, um período de repouso proporciona a diferenciação das gemas florais, no momento em que o crescimento vegetativo é mínimo. A diferenciação das gemas pode ser induzida tanto por temperaturas baixas (em torno de 10° C), no inverno, em zonas subtropicais, como por um período de déficit hídrico nas zonas tropicais (DOORENBOS e KASSAN, 1979). Em contraposição, esse déficit ocorre durante a floração e início da frutificação, provocando queda de flores e de frutos e reduzindo sua produtividade.

Apesar da lima ácida 'Tahiti' figurar como um dos mais importantes produtos *in natura* para exportação da fruticultura brasileira, ainda são poucos os trabalhos realizados dedicados a avaliar as respostas das plantas à irrigação, comparativamente a outros países, como Estados Unidos e Espanha. A maior parte dos estudos encontrados na literatura envolve laranjeiras de diversas variedades e tangerineiras.

Dependendo da região de cultivo, as necessidades hídricas dos citros podem variar entre 600 e 1300 mm ano⁻¹ (REUTHER, 1973; DOORENBOS e KASAM, 1994). VAN BAVEL et al. (1966) relataram que, em geral, plantas adultas de citros requerem entre 1000 e 1563 mm de água ao ano para compensar as perdas referentes à evapotranspiração, enquanto que, para (AGUSTÍ, 2000), essa demanda é de 700 a 1200 mm anuais.

CASTEL (1994) estudou a resposta de plantas jovens de tangerina 'Clementina' irrigada por gotejamento a 50, 80, 110 e 140% da

evapotranspiração da cultura (ET_c) e verificou que a irrigação a 50% produziu alto estresse hídrico, reduziu o crescimento da planta e diminuiu o número de frutos por planta. O crescimento ótimo foi obtido com reposição de 110% da ET_c.

Diversos estudos encontrados na literatura avaliaram a resposta das plantas cítricas ao manejo da irrigação pelo monitoramento do solo e, ou clima. Diferentes métodos foram desenvolvidos para auxiliar na tomada de decisão em relação a quanto de água deve ser aplicada e o momento certo para irrigar, podendo-se adotar um método ou a combinação de dois ou mais deles.

Segundo BERNARDO et al. (2005), a lâmina líquida de irrigação pode ser obtida pela diferença entre o teor de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, multiplicado pela profundidade efetiva do sistema radicular (Z) e pelo fator de disponibilidade de água no solo (f). Este último parâmetro representa a maior fração permitida do conteúdo de água no solo, em relação à capacidade máxima de armazenamento, sem que haja redução significativa na produtividade da cultura.

Para as plantas cítricas, o fator f varia em função da combinação entre as variedades da copa e do porta-enxerto, desenvolvimento da planta, estágio fenológico e da demanda evapotranspirométrica local (ALVES JÚNIOR, 2006).

Segundo KOO (1963), para plantas cítricas, em geral, esse valor varia entre 0,33 e 0,66. Para MARLER e DAVIES (1990), o valor está entre 0,30 e 0,45, enquanto COELHO et al. (2004) recomendaram valores de f entre 0,30 e 0,35, durante o período crítico entre a brotação até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro. No restante do ano, esse valor pode aumentar para 0,50 a 0,60, permitindo o uso de um maior TR ou menor frequência de irrigação. BERNARDO et al. (2005) recomendaram a adoção de valores de f entre 0,30 e 0,70 para fruteiras em geral.

Normalmente, os limites críticos de água disponível no solo são obtidos através de experimentos de longa duração, comparando-se a produtividade ou dados de crescimento da planta com a umidade do solo em uma condição edafoclimática específica (DAVIES e ALBRIGO, 1994).

ALLEN et al. (1998) recomendaram como nível crítico um esgotamento de 50% da água disponível no solo, considerando uma planta de citros com 20% de cobertura do solo, com 0,8 a 1,1 m de profundidade do sistema radicular e sob uma evapotranspiração de referência de 5 mm dia⁻¹.

O limite de água disponível, na realidade, é uma função do tipo de cultura e do consumo de água nos diferentes estádios fenológicos, solos e climas (DAVIES e ALBRIGO, 1994; PEREIRA et al., 2002). Tal variabilidade enfatiza a importância de se determinar valores regionalizados de limite de água disponível. SILVA (2005), em trabalho realizado com plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' em Piracicaba (SP), concluíram que a evapotranspiração, as trocas gasosas e o potencial de água na folha ao amanhecer foram reduzidos pelo esgotamento de 40% da água disponível do solo, em condições de campo e no final do período do inverno, comparativamente a ao tratamento sem déficit de água no solo. Adicionalmente, o autor observou que o limite de água disponível na qual a ETc diminuiu foi de 43%.

Algumas pesquisas têm mostrado que níveis de umidade em torno de 66% da água disponível do solo são adequados para a obtenção de produtividades ótimas para as culturas cítricas (COELHO et al., 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em um pomar comercial com plantas de lima ácida ácida 'Tahiti', de propriedade da empresa Frutan – Frutas do Nordeste do Brasil S/A (04° 50' S, 42° 42' W e 120 m de altitude), situado no município de José de Freitas – PI, a aproximadamente 60 km da capital Teresina, região Centro-norte do Estado (Figura 5).



FIGURA 5. Vista parcial aérea da Fazenda Frutan.

O Estado do Piauí está situado entre a Pré-Amazônia Úmida e o Nordeste Semi-Árido, constituindo-se em uma zona de transição climática, com características desses dois domínios geoambientais (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004). O solo da região é classificado como Neossolo

Quartzarênico (EMBRAPA, 1986). De acordo com análise granulométrica realizada previamente, o solo da área experimental é de textura arenosa, sendo composto por 80% de areia, 12% de silte e 8% de argila (EMBRAPA, 1988).

O clima da região, segundo Köppen, é do tipo A_w (Tropical Chuvoso de Savana), caracterizado pelas seguintes médias históricas (período 1980 – 1999): temperaturas máxima, média e mínima de 34, 28 e 22° C, respectivamente; umidade relativa do ar de 69%; velocidade do vento de 1,6 $m s^{-1}$, 7,7 horas de sol por dia e evapotranspiração de referência de 4,6 $mm d^{-1}$ (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2000).

O experimento com a cultura da lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka) foi conduzido no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2007, utilizando-se plantas com quatro anos de idade do clone ‘Quebragalho’, enxertadas sobre citrumeleiro ‘Swingle’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *C. paradisi* Macf.], cultivadas no espaçamento 6 x 5 m, constituindo um estande de 333 plantas por hectare (Figura 6).



FIGURA 6. Vista parcial da área experimental e das plantas utilizadas no trabalho.

No início do experimento foram avaliadas as seguintes características vegetativas nas 200 plantas úteis utilizadas no trabalho: em média, 1,7 m de altura, 1,7 m de diâmetro da copa e 0,18 m de circunferência do caule.

A altura das plantas foi medida com auxílio de uma mira graduada, tomada do solo até o topo da planta, enquanto que o diâmetro da copa e a circunferência do caule, a 0,05 m acima do ponto de enxertia, foram mensurados com uma trena. O diâmetro da copa foi determinado como a média entre os valores obtidos no sentido da linha de plantio e da entrelinha, perpendicularmente à altura da planta, a uma distância de 1,5 m do solo.

A porcentagem de área sombreada média, calculada pela relação entre a área de projeção da copa e a área representativa da planta (30 m²), foi de 7,69%.

Antes da implantação dos tratamentos no campo, foram retiradas todas as flores e frutos presentes nas plantas e realizada irrigação para a uniformizar a umidade do solo em todas as parcelas, elevando-a à capacidade de campo.

As características químicas do solo, obtidas através da realização de análise do solo, a partir de amostras deformadas de solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m, são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Características químicas do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m.

| Camada (m) | pH | P (mg dm ⁻³) | K (mg dm ⁻³) | Ca (mmol _c dm ⁻³) | Mg (mmol _c dm ⁻³) | H+Al (mmol _c dm ⁻³) | SB (mmol _c dm ⁻³) | CTC (t) | V (%) | MO (g dm ⁻³) |
|------------|-----|--------------------------|--------------------------|--|--|--|--|---------|-------|--------------------------|
| 0 - 0,2 | 7,0 | 36 | 1,0 | 24 | 11 | 8 | 36 | 43,8 | 82 | 8 |

No Quadro 3 são apresentados os teores de água no solo nos diferentes níveis de tensão para as profundidades de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m. Para tanto, amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de um trado de anéis (Uhland). Os valores médios da umidade do solo (% em massa) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente são 7,6 e 4,1, respectivamente, correspondentes às tensões de 10 e 1500 kPa, respectivamente. A densidade do solo média é de 1640 kg m⁻³.

Quadro 3. Umidade do solo (% em massa) para distintos níveis de tensão nas profundidades de 0 a 0,2 e de 0,2 a 0,4 m.

| Camada (m) | Tensão (kPa) | | | | | |
|------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 - 0,2 | 7,7 | 5,6 | 5,2 | 4,6 | 4,1 | 3,6 |
| 0,2 - 0,4 | 7,3 | 7,0 | 6,5 | 5,6 | 5,2 | 4,6 |

A água usada na irrigação foi captada de um poço tubular, perfurado próximo à área experimental, cujas características físico-químicas encontram-se no Quadro 4. Segundo AYERS e WESTCOT (1999), apresenta nenhuma restrição ao uso para irrigação, em relação ao potencial de salinização do solo, e grau moderado de restrição, quanto ao potencial de redução da capacidade de infiltração da água no solo.

Quadro 4. Análise da qualidade da água de irrigação utilizada no experimento.

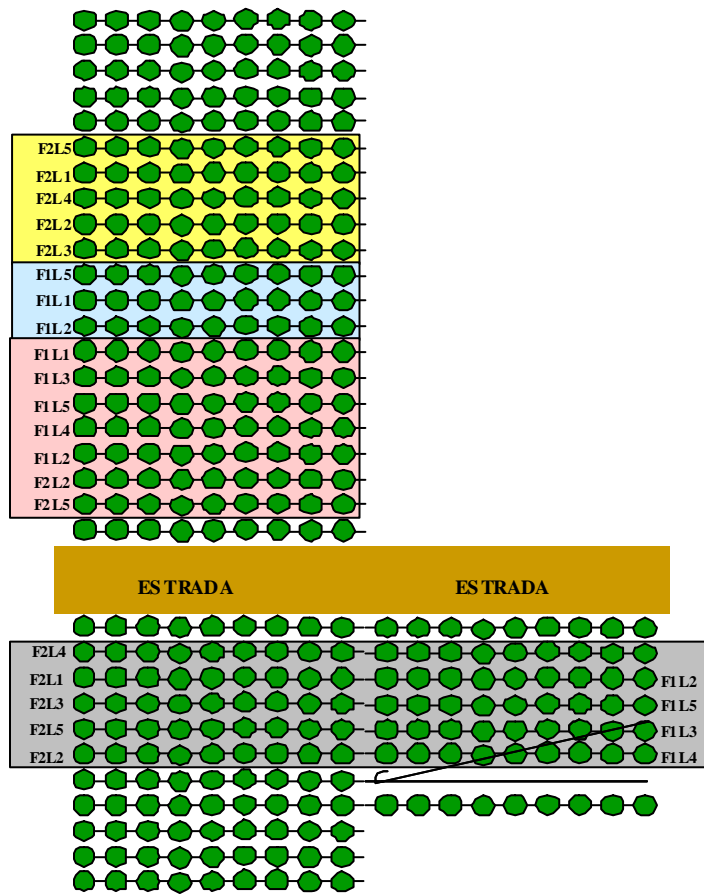
| Parâmetro | Unidade | Valores |
|-----------------------------------|---------------------|---------|
| pH | - | 8,00 |
| Condutividade Elétrica (CE) | dS m ⁻¹ | 0,48 |
| Ca ²⁺ | meq L ⁻¹ | 1,64 |
| Mg ²⁺ | meq L ⁻¹ | 1,41 |
| Na ¹⁺ | meq L ⁻¹ | 2,43 |
| [CO ₃] ²⁻ | meq L ⁻¹ | 0,80 |
| [HCO ₃] ¹⁻ | meq L ⁻¹ | 2,40 |
| Cloro ¹⁻ | meq L ⁻¹ | 1,50 |
| K ¹⁺ | meq L ⁻¹ | 0,12 |
| Razão de Adsorção de Sódio (RAS) | - | 1,97 |

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em um esquema de parcelas subdivididas, com duas freqüências de irrigação (F), aplicadas às parcelas, e cinco lâminas de irrigação (L), aplicadas às subparcelas. A unidade experimental foi composta por uma fileira de plantas, sendo utilizadas cinco plantas úteis.

As duas freqüências de irrigação estudadas foram: uma irrigação a cada dia (F₁) e uma irrigação a cada dois dias (F₂).

Os tratamentos referentes às subparcelas constaram de cinco lâminas de irrigação, definidas em função do percentual de reposição da evapotranspiração da cultura (68, 80, 100, 124 e 136%). O croqui da área experimental é apresentado na Figura 7.



3.3. Condução do experimento

3.3.1. Manejo da cultura

Os tratos culturais e fitossanitários foram os adotados na fazenda, como controle de plantas invasoras na linha de plantio com uso de herbicidas e, ou capinas manuais, roçagem mecânica alternada das entrelinhas, desbrota do porta-enxerto e controle de pragas e doenças por meio do manejo integrado de pragas (MIP).

O manejo nutricional das plantas foi realizado com base nas análises de solo e de folhas, conforme recomendações de MATTOS JÚNIOR et al. (2003).

As adubações com macronutrientes foram aplicadas manualmente, de acordo com o calendário da fazenda, nas mesmas proporções e iguais em todos os tratamentos.

3.3.2. Sistema de irrigação

A cultura foi irrigada por sistema de microaspersão, com um emissor com asa giratória por planta, operando na pressão de 15 mca e vazão variável em função do tipo de bocal utilizado. Os microaspersores foram instalados à 0,5 m de distância do caule da planta.

As linhas laterais foram constituídas de polietileno com 13 mm de diâmetro e as de derivação com PVC rígido PN 40 com 50 mm de diâmetro. O cavalete (Figura 8), instalado na entrada da área, foi composto por tubos, curvas de 90° e válvula de gaveta de PVC rígido PN 40, com 50 mm de diâmetro. Adicionalmente, foi instalado no cabeçal um manômetro para monitoramento da pressão de funcionamento do sistema e uma válvula de gaveta para o controle da vazão aplicada.



Figura 8. Detalhe do cavalete na entrada da área experimental, com manômetro e registro, instalado no início da linha de derivação.

A instalação de recalque da água de irrigação é composta de uma bomba centrífuga, com vazão de $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, diâmetro do rotor de 174 mm e motor elétrico trifásico de 20 cv. A captação foi feita em um reservatório de derivação construído para armazenar a água bombeada do poço tubular ($04^\circ 51' \text{ S}$, $42^\circ 42' \text{ W}$ e 116 m de altitude), perfurado a 220 m de profundidade, por uma eletrobomba submersa com vazão de $80 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (motor elétrico de 50 cv), instalada a 120 m de profundidade (Figura 9).



Figura 9. Detalhes do poço tubular, do reservatório de derivação e do sistema de bombeamento utilizado no experimento.

3.3.3. Manejo da irrigação

A irrigação foi conduzida em dois turnos de rega (um e dois dias), de acordo com os tratamentos estudados (F_1 e F_2 , respectivamente).

O manejo da irrigação foi realizado diariamente pelo método do balanço de água no solo, com auxílio do programa computacional Irriplus, com base no monitoramento diário de variáveis meteorológicas, associado à determinação periódica da umidade do solo, pelo método-padrão de estufa, para aferição do programa.

A lâmina de irrigação correspondente à reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (tratamento L_3) foi estimada com base na definição dos coeficientes que compõem o modelo utilizado no cálculo da ET_c (Equação 15), conforme ALLEN et al. (1998). As demais lâminas foram calculadas a partir desta, considerando ainda os intervalos pré-definidos pelos tratamentos de frequência de irrigação e o déficit de irrigação acumulado entre irrigações.

O componente ET_o do modelo foi calculado a partir dos dados meteorológicos obtidos na estação meteorológica automática, de acordo com a equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 1998), considerada como método-padrão.

O valor adotado do coeficiente da cultura (K_c) da lima ácida 'Tahiti', que ajusta a evapotranspiração de referência para as condições da cultura, foi de 0,85, segundo recomendação de DOORENBOS e PRUITT (1977).

Adotou-se o modelo de K_s logarítmico (Equação 4) para calcular o coeficiente de estresse hídrico, uma vez que utilizou-se duas frequências de irrigação, de ter-se a possibilidade de não realizar irrigações nos finais de semana e a textura do solo da área experimental ser arenosa.

Em relação ao coeficiente de redução da evapotranspiração para irrigação localizada (K_l), tomou-se a porcentagem de área molhada (PAM) na sua estimativa, haja vista que a mesma foi superior à porcentagem de área sombreada – PAS (7,7%) em todos os modelos de microaspersores utilizados neste experimento. Nesse caso, utilizou-se o modelo proposto por FERERES (1981), conforme a Equação 9 apresentada anteriormente,

considerando que todos os bocais dos microaspersores resultaram em valores de PAM superiores a 65%.

Foram realizados testes de uniformidade para a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), segundo metodologia apresentada por KELLER e KARMELI (1975). Os valores obtidos referentes ao CUC do sistema foram de 93 e 91% no início e no final do período de condução do experimento, respectivamente.

3.3.4. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados no manejo da irrigação foram obtidos de uma estação meteorológica automática (Figura 10), localizada no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI (05°02' S, 42°48' W e 87 m de altitude), situada a aproximadamente 60 km de distância da área experimental.

Os valores médios diários registrados pelos sensores da estação para as variáveis meteorológicas (temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e irradiância solar global) foram utilizados para a determinação da ETo diária e da lâmina de irrigação. A estação encontra-se conectada a um sistema de aquisição e armazenamento de dados “*datalogger*”, programado para armazenar registros a cada 15 minutos, sendo posteriormente convertidos em médias diárias. Para a coleta dos dados de precipitação, foi instalado um pluviômetro na área experimental.



Figura 10. Estação meteorológica utilizada para o manejo da irrigação do experimento.

3.4. Características avaliadas

3.4.1. Produtividade, número e peso médio de frutos

A colheita foi realizada segundo recomendações de GAYET e SALVO FILHO (2003), quando os frutos atingiram, em média, 50 mm de diâmetro. Para tanto, foram realizadas duas colheitas (18/12/06 e 14/02/07), utilizando um aro de metal (calibrador) de mesmo diâmetro. Assim, os frutos que, na ocasião da colheita, não ultrapassavam esse limite, ou seja, passavam pelo interior do calibrador, eram deixados para serem colhidos na próxima passagem da equipe de colheita pelas plantas.

Os frutos colhidos de cada parcela experimental foram contados colocados em caixas plásticas de 25 kg, determinando-se, então, o número total de frutos por planta (NTFP), dividindo-se o número total de frutos colhidos pelo número de plantas úteis da parcela.

Posteriormente, realizou-se a pesagem dos frutos em balança analítica digital (precisão de 0,1 g), obtendo-se o peso médio (PMF), a partir da razão entre o peso e o número total de frutos colhidos na parcela. A produtividade (PROD), expressa em kg por hectare, foi estimada pela multiplicação do PMF, NTFP e número de plantas por hectare (333).

3.4.2. Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água (EUA), cujos resultados foram expressos em gramas de frutos por metro cúbico de água aplicada, foi determinada pela relação entre a produtividade (kg ha^{-1}) e a lâmina total de água aplicada (irrigação + precipitação efetiva), em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

De acordo com o programa Irriplus, quando a precipitação ocorrida for menor que 25 mm, considera-se toda a precipitação como efetiva, ao passo que quando a precipitação diária for maior ou igual a 25 mm, a precipitação efetiva será calculada como sendo:

$$P_{ef} = P - ES - Perc \quad \text{Equação (18)}$$

e

$$ES = \{P / 25,4 - [0,9177 + 1,8111 \times \log(P / 25,4) - 0,97 \times \log(P / 25,4) \times AD / CTA]\} \times 25,4$$

$$\text{Equação (19)}$$

em que:

P_{ef} = precipitação efetiva do dia i ;

ES = escoamento superficial do dia i ;

P = precipitação do dia i ;

Perc = percolação;

AD = água disponível no solo na primeira camada no dia $(i-1)$; e

CTA = capacidade total de água na primeira camada.

3.4.3. Parâmetros de qualidade dos frutos

Para a avaliação das características de qualidade dos frutos, em cada colheita, amostraram-se e pesaram-se dez frutos por parcela experimental.

Após o corte transversal dos mesmos, mediu-se a espessura da casca com um paquímetro digital e, posteriormente, o suco foi extraído,

determinando-se o rendimento de suco, pesando-se o suco extraído e dividindo-o pelo peso dos frutos.

Realizou-se ainda a análise do teor de sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, com uso de um refratômetro portátil (resolução de 0,2). Para a análise do pH, foi utilizado um potenciômetro digital com eletrodo de membrana de vidro (resolução de 0,01). Por último, foi medida a acidez total titulável (ATT), expressa em valores percentuais, segundo o INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

3.5. Análise estatística

Os dados obtidos a partir das características avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade, e à análise de regressão.

Nos casos em que houve diferença significativa, a comparação entre as médias dos níveis do fator frequência de irrigação foi realizada por meio da aplicação do teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas análises de regressão, adotou-se a lâmina de irrigação como variável independente e, como variáveis dependentes, as características avaliadas. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” de *Student*, a 5% de probabilidade, nos coeficientes de determinação (R^2) e no potencial para explicar o fenômeno com base no comportamento agrônomico da variável estudada.

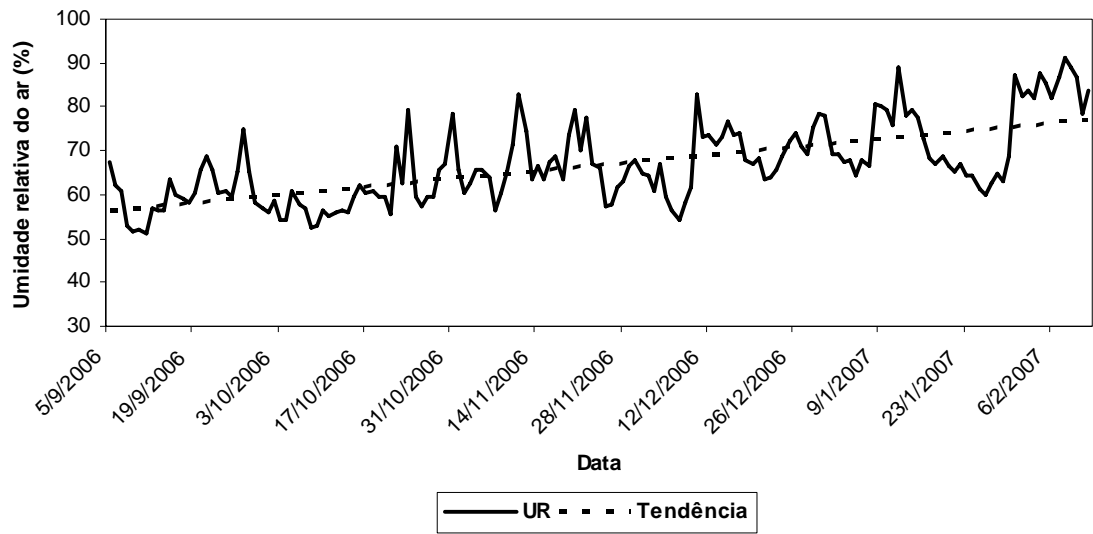


Figura 12. Valores médios diários observados e tendência da umidade relativa do ar (UR), em %, durante o período experimental.

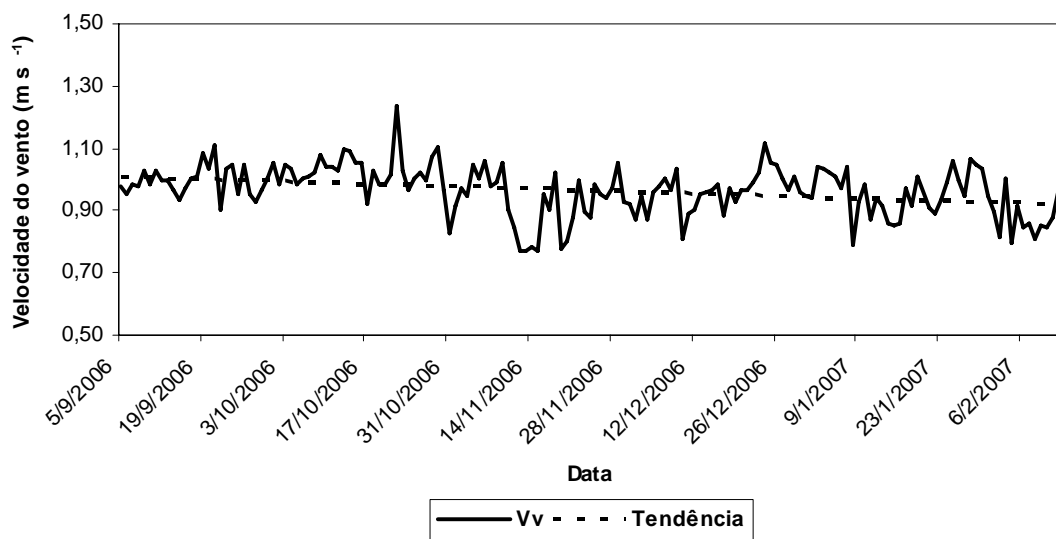


Figura 13. Valores médios diários observados e tendência da velocidade do vento, em m s^{-1} , durante o período experimental.

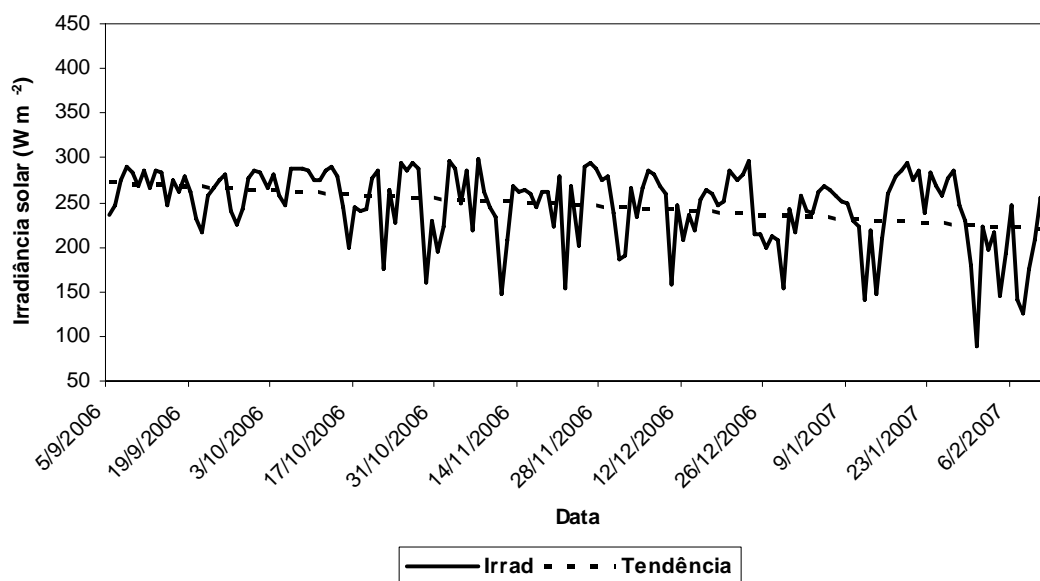
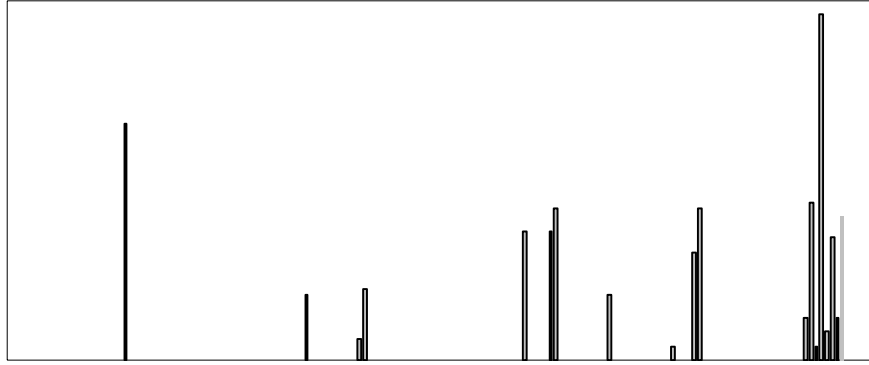


Figura 14. Valores médios diários observados e tendência da irradiância solar global, em $W m^{-2}$, durante o período experimental.

Como pode ser observado na Figura 11, o regime térmico durante o período experimental apresentou valores médios variando entre $23,3^{\circ} C$, para temperatura mínima, e $36,0^{\circ} C$, para temperatura máxima. Segundo MEDINA e SILVA (2003), esses valores são compatíveis com as exigências climáticas dos citros e adequados para o desenvolvimento da cultura no campo. A média dos valores de temperatura média do ar registrados no período ($29,0^{\circ} C$) situa-se na faixa de temperatura para a exploração comercial dos citros.

A evapotranspiração de referência e a precipitação pluvial são mostradas na Figura 15.



freqüência de irrigação e, nas subparcelas, pelas lâminas de irrigação. Os valores das lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos, durante todo o período experimental, são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Lâminas de irrigação (mm) aplicadas durante o período experimental em função dos tratamentos.

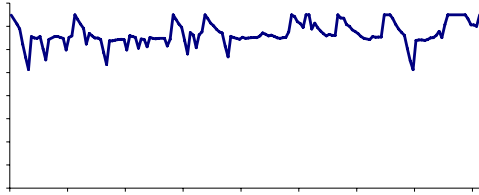
| Freqüência de irrigação (F) | Lâmina de irrigação (L) | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | L ₁ (68%) | L ₂ (80%) | L ₃ (100%) | L ₄ (124%) | L ₅ (136%) |
| F ₁ | 439 | 511 | 663 | 798 | 870 |
| F ₂ | 395 | 464 | 581 | 720 | 790 |

O manejo foi realizado através do programa Irriplus, a partir do cadastramento dos dados climáticos, da cultura, do solo e do sistema de irrigação, sendo simulada a umidade do solo pelo programa. Diversos trabalhos realizados utilizando o Irriplus relatam coerência dos valores de umidade do solo verificada através do método termogravimétrico (padrão de estufa) com aqueles simulados pelo programa, com uma variação média da ordem de 1,5 a 2,5% (ANTUNES, 2001; MELO, 2001; SOARES, 2001; SOARES, 2005; NUNES, 2006).

Na Figura 16 são apresentados os gráficos que representam o comportamento da umidade do solo durante o período de aplicação dos tratamentos L₁, L₂ e L₃, correspondentes à reposição de 68, 80 e 100% da ET_c, respectivamente, e as lâminas de irrigação aplicadas em excesso nos tratamentos L₄ e L₅, equivalentes a 124 e 136% da ET_c, respectivamente, adotando-se a freqüência de uma irrigação por dia (F₁). Nos três primeiros gráficos, a evolução da umidade é relacionada aos valores correspondentes à umidade na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PM) e à umidade mínima (U_{min}) recomendada para a cultura, com base em um fator de disponibilidade de água (*f*) de 0,5 (BERNARDO et al., 2005).

O manejo da irrigação em F₁ mostrou resultados satisfatórios, do ponto de vista da manutenção da umidade do solo em níveis adequados, de acordo com o modelo estimado pelo programa. Pode-se perceber, através da Figura 16C, que o manejo para a lâmina de 100% de reposição da evapotranspiração da cultura (ET_c) manteve a umidade próxima à

capacidade de campo. A variável esteve abaixo da umidade mínima de segurança em períodos em que a não ocorrência de irrigações nos finais de semana coincidiu com problemas operacionais no sistema de bombeamento.



Com base nos gráficos das lâminas de 124 e 136% (Figuras 16D e 16E), verificam-se os excessos na aplicação de água, comparativamente ao manejo com reposição de 100% da ET_c , considerada ideal. No primeiro, o excesso total da lâmina aplicada foi de 404 mm, enquanto que no tratamento 136% (L_5), o excedente foi de 478 mm.

Na Figura 17 é apresentada a evolução da umidade do solo nos tratamentos L_1 , L_2 e L_3 , correspondentes à reposição de 68, 80 e 100% da ET_c , respectivamente e as lâminas de irrigação aplicadas em excesso nos tratamentos L_4 e L_5 , equivalentes a 124 e 136% da ET_c , respectivamente, com adoção da frequência de uma irrigação a cada dois dias (F_2).

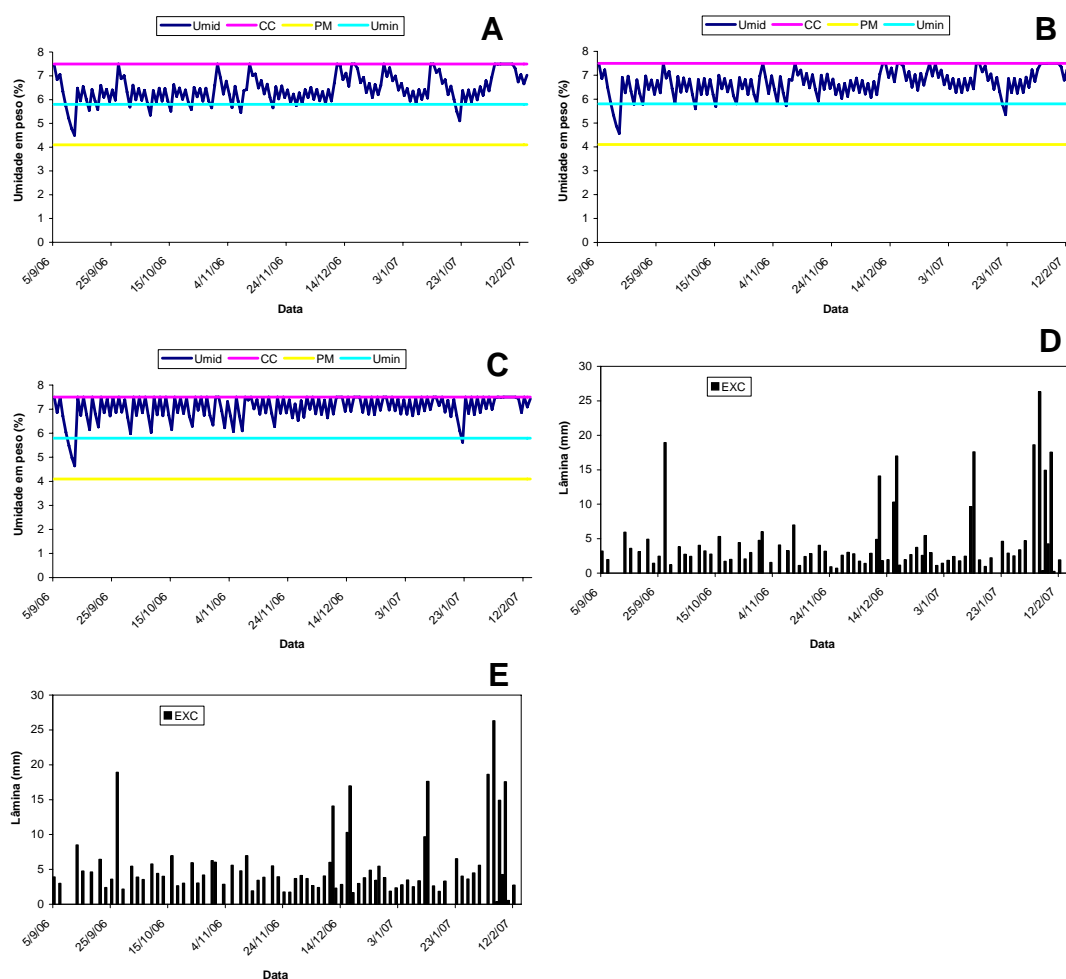


Figura 17. Variação da umidade do solo (Umid), estimada pelo Irriplus, em relação à capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM) e umidade mínima recomendada (Umin), nos tratamentos L_1 (A), L_2 (B) e L_3 (C), e excesso de lâmina aplicada (EXC) nos tratamentos L_4 (D) e L_5 (E), sob a frequência de uma irrigação a cada dois dias (F_2), durante o período experimental.

No tratamento com a lâmina de 100% da ETc (L₃), a umidade do solo manteve-se sempre acima da umidade mínima recomendada, com exceção de dois momentos, ao longo do experimento, em que ocorreram problemas operacionais no sistema de bombeamento, após um final de semana sem irrigação. Comparativamente ao tratamento 100% na frequência de uma irrigação por dia (Figura 16C), com irrigação a cada dois dias (F₂), a lâmina de 100% resultou em uma maior variação da umidade do solo no intervalo entre a capacidade de campo e a umidade mínima recomendada, o que já era esperado em virtude do incremento na depleção do conteúdo de água no solo verificado em sistemas em que se adota turno de rega maior.

Pode-se observar nas Figuras 17A e 17B que, nas lâminas em que a ETc foi reposta ao nível de 68 e 80%, ou seja, nos tratamentos L₁ e L₂, na frequência de dois dias, a variação da umidade do solo manteve-se mais próxima da umidade mínima recomendada. A permanência da umidade abaixo desse nível foi mais freqüente conforme a redução da lâmina de reposição da ETc. Segundo ALLEN et al. (198), a permanência das culturas em solo com disponibilidade de água abaixo do nível mínimo aceitável pode resultar em conseqüências negativas para o rendimento e o desenvolvimento da cultura.

Nas Figuras 17D e 17E apresentam-se as lâminas excedentes de água em virtude da aplicação dos tratamentos 124 e 136% da ETc. Verificou-se que, mesmo com uma irrigação a cada dois dias, o aumento da lâmina de irrigação através dos tratamentos L₄ e L₅, resultou na manutenção da umidade do solo sempre acima da umidade mínima recomendada.

4.3. Avaliação quantitativa da produção

No Quadro 7 é apresentado o resumo das análises de variância das características produtividade (PROD), em kg ha⁻¹, número total de frutos por planta (NTFP) e peso médio dos frutos (PMF), em gramas, assim como os coeficientes de variação (%) das parcelas e das subparcelas e as respectivas médias das variáveis. Essas características expressam os resultados da avaliação quantitativa da produção, decorrentes da aplicação

dos regimes de irrigação, tendo sido contabilizado o somatório dos valores obtidos por tratamento nas duas colheitas realizadas ao longo do período de condução do experimento (18/12/06 e 14/02/07).

Quadro 7. Resumo das análises de variância, contendo fontes de variação (F.V.), graus de liberdade (G.L.), quadrados médios, coeficientes de variação (C.V.) e valores médios de produtividade (PROD), número total de frutos por planta (NTFP) e peso médio dos frutos (PMF) da limeira ácida 'Tahiti'.

| F.V. | G.L. | Quadrados médios | | |
|---------------------|------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | PROD | NTFP | PMF |
| Bloco | 3 | 605165,9 | 336,5504 | 313,0146 |
| F | 1 | 341874,3 ^{ns} | 505,5207 ^{ns} | 40,5232 ^{ns} |
| Resíduo (a) | 3 | 1419691,0 | 1214,4010 | 50,5363 |
| L | 4 | 1716306,0 ^{ns} | 1143,2390 ^{ns} | 490,4603* |
| F x L | 4 | 42812,79 ^{ns} | 88,1335 ^{ns} | 226,3119 ^{ns} |
| Resíduo (b) | 24 | 1057120,0 | 1006,1570 | 114,9713 |
| C.V. (a) (%) | - | 62,57 | 57,09 | 7,67 |
| C.V. (b) (%) | - | 53,99 | 51,96 | 11,57 |
| Média | - | 1904,3 | 61,05 | 92,72 |

NS – não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

* significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

F – frequência de irrigação; L – lâmina de irrigação.

Pôde-se observar que, com exceção do fator L (lâmina de irrigação), os fatores estudados isoladamente (frequência e lâmina) não foram significativos, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, para nenhum dos parâmetros utilizados para avaliar quantitativamente a produção. Analisando a interação entre os fatores, verificou-se que não houve efeito significativo em relação às características avaliadas, indicando um comportamento independente entre a aplicação das lâminas de irrigação e a adoção dos intervalos de irrigação estudados neste trabalho.

Os coeficientes de variação (CV) foram considerados elevados para as variáveis produtividade e número total de frutos por planta. Trabalhos anteriores envolvendo a lima ácida 'Tahiti' também relatam a obtenção de altos valores de CV para estes parâmetros (SOUZA, 2001; ALVES JÚNIOR, 2006). Com isso, as diferenças observadas entre os valores médios das características avaliadas, em termos absolutos, não refletiram diferenças significativas estatisticamente. Em experimentos posteriores, seria

conveniente a adoção de um número maior de repetições (blocos), visando reduzir o valor dos coeficientes de variação.

4.3.1. Produtividade

Equações de regressão foram geradas para este parâmetro em cada uma das freqüências de irrigação estudadas, tomando como variável independente, as lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental.

Nas Figuras 18 e 19 podem-se visualizar as médias observadas e estimadas de produtividade (PROD), em kg ha^{-1} , em função da lâmina de irrigação aplicada, com base na freqüência de irrigação diária (F_1) e na freqüência de uma irrigação a cada dois dias (F_2), respectivamente.

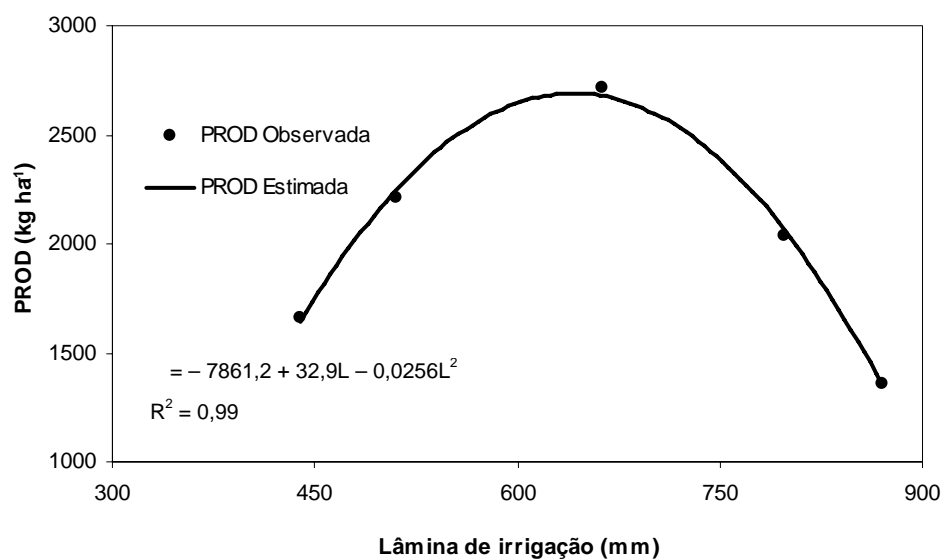


Figura 18. Produtividade (PROD) da laranja ácida ‘Tahiti’, em kg ha^{-1} , em função da lâmina de irrigação aplicada, com freqüência de irrigação diária (F_1).

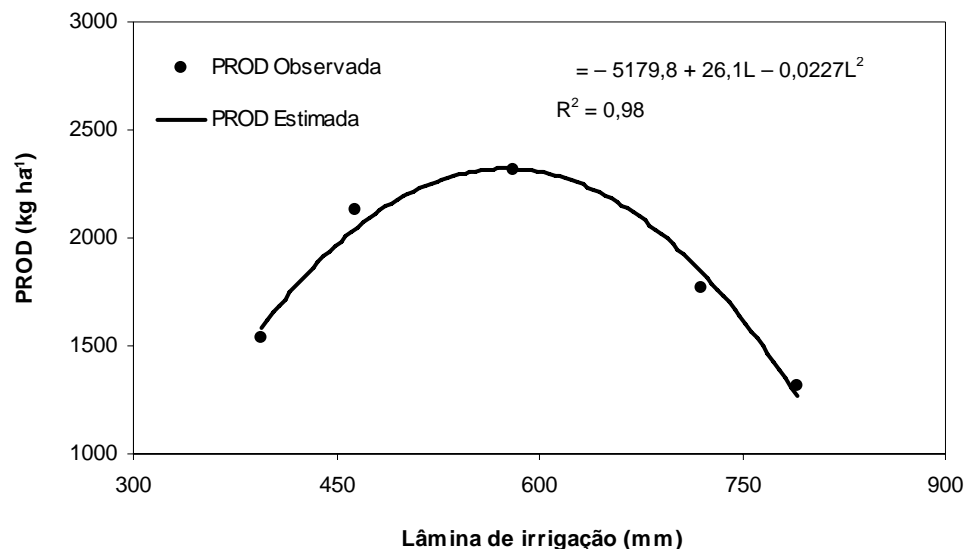


Figura 19. Produtividade (PROD) da limeira ácida ‘Tahiti’, em kg ha^{-1} , em função da lâmina de irrigação aplicada, com frequência de uma irrigação a cada dois dias (F_2).

Para ambos os tratamentos de frequência de irrigação, ajustaram-se modelos quadráticos de regressão para explicar o comportamento da produtividade com o aumento da lâmina de água aplicada por irrigação.

O ponto de máxima produtividade física com irrigação diária foi de 2709 kg ha^{-1} , obtido com a lâmina de 643 mm, correspondente a 97% da reposição da evapotranspiração da cultura. Em F_2 , a lâmina de 575 mm foi aquela que proporcionou a máxima produtividade física (2323 kg ha^{-1}), referente a 99% da ET_c .

VIEIRA (1988) relata o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos frutos como alguns dos benefícios do uso da irrigação em pomares cítricos. Segundo o autor, os incrementos em rendimento são da ordem de 35 a 75%, o que contribui, substancialmente, para um maior ganho econômico por parte dos produtores.

BERTONHA et al. (2004), estudando o efeito da irrigação em laranjeira ‘Pêra’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, em Maringá (PR), com taxas diárias de irrigação de 10, 15, 20 e 25 mm, encontraram efeito significativo, mencionando a existência de uma relação quadrática da produtividade conforme o incremento dos níveis de irrigação.

Nos dois tratamentos, os maiores valores de produtividade foram alcançados com manejo baseado em uma reposição da ETc próxima de 100%, apontando para a importância de um correto manejo da irrigação, uma vez que comprovou-se que a cultura da lima ácida 'Tahiti' não aumenta a produtividade proporcionalmente ao incremento nos níveis de irrigação. Com aplicação de água em excesso, houve queda na produtividade.

Os principais aspectos negativos associados à aplicação em excesso de água são o maior custo com energia, a erosão causada pela perda de água por escoamento superficial e percolação profunda, a lixiviação de nutrientes e a manutenção de um ambiente saturado de água, que dificultará o desenvolvimento radicular.

As lâminas L₁ e L₂, correspondentes a coeficientes que reduziram abaixo da unidade o nível de reposição da ETc, ou seja, 68 e 80%, produziram 1659 e 2215 kg ha⁻¹, com irrigação diária, e 1535 e 2125 kg ha⁻¹, com uma irrigação a cada dois dias, respectivamente. Nos tratamentos L₄ e L₅, com níveis de reposição superiores a 100% da ETc (124 e 136%), as produtividades médias foram de 2034 e 1361 kg ha⁻¹, com irrigação diária, e 1771 e 1315 kg ha⁻¹, com uma irrigação a cada dois dias, respectivamente.

Vale salientar que esses valores se referem apenas a duas colheitas, realizadas em 18/12/06 e 14/02/07. Nesse caso, seria interessante que nos próximos trabalhos envolvendo irrigação de 'Tahiti' no Centro-norte do Piauí, as avaliações fossem feitas por um período mais extenso, de preferência, acompanhando a produção durante todo o ano, tendo em vista a característica de produção contínua da cultura na região.

Além disso, aproximadamente 60% da produção anual de lima ácida 'Tahiti' na região concentra-se no primeiro semestre do ano. De junho a novembro, as produções mensais respondem por 5 a 7% do total produzido no ano, de acordo com as médias de produção da fazenda Frutan, onde foi realizado este trabalho, entre os anos de 2001 e 2004.

Apesar de não se dispor de informações de pesquisas relacionadas à fisiologia de produção da cultura na região, provavelmente este aspecto está atrelado às condições climáticas características da região na segunda metade do ano. Esta época é a mais quente na região, especialmente entre os meses de agosto a novembro, em que são registradas temperaturas

máximas de 34 a 38° C (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004), o que pode contribuir para restringir o crescimento das plantas, o vingamento de flores e o desenvolvimento dos frutos, refletindo diretamente no rendimento da cultura. Segundo MEDINA e SILVA (2003), a faixa ideal de temperatura para as plantas cítricas, em geral, é de 22 a 30° C. Segundo estes autores, temperaturas superiores a 30° C, tanto diurna como noturna, acarretam em redução do tamanho dos frutos e aumento da taxa de abscisão de frutos jovens.

A produtividade média no Brasil situa-se em torno de 20,5 t ha⁻¹ (IBGE, 2005), valor este muito aquém daquele ao qual LUCHETTI et al. (2003) faz referência, considerando pomares com alto nível tecnológico, que é de 40 t ha⁻¹. As médias históricas de produção da fazenda Frutan revelam uma produtividade média anual de 20,5 t ha⁻¹, com sistema tecnificado.

ALVES JÚNIOR (2006), avaliando a resposta de plantas de lima ácida 'Tahiti' enxertadas sobre 'Swingle' a lâminas de irrigação que variaram de 25 a 100% da ET_c, não verificaram diferença significativa entre os tratamentos, no segundo ano de avaliação, cuja produtividade média foi de 12,9 t ha⁻¹.

Os valores de produtividade com o tratamento F₁ (turno de rega de 1 dia) foram superiores àqueles do tratamento F₂ (turno de rega de 2 dias) em todas as lâminas testadas, o que já poderia ser esperado, uma vez que a redução da frequência de aplicação de água tende a aumentar a intensidade do estresse por expor a cultura a um período maior de déficit de água no solo.

Este aspecto é ainda mais evidenciado pelas características climáticas da região onde foi realizado o estudo, haja vista as elevadas taxas diárias de ET_o, associado à textura arenosa do solo da área experimental (aproximadamente 80% de areia), o que reduz a faixa disponível de umidade no solo que pode-se trabalhar sem que haja redução da produtividade da cultura. Este fato pode ser observado nas Figuras 18 e 19, em que se evidencia a diferença na variação do perfil de umidade do solo quando submetido aos tratamentos F₁ e F₂, respectivamente.

Assim, mesmo mantendo-se uma frequência de irrigação relativamente elevada como F₂, foi verificada uma diminuição no rendimento

da cultura. Com a lâmina L_3 (100% da ETc), essa diferença entre F_1 e F_2 foi de 17,4%, equivalente a 402 kg ha^{-1} .

A deficiência hídrica é o fator que mais afeta o crescimento e a produtividade das culturas. A seca causa queda das taxas de fotossíntese dos citros, primariamente por induzir a redução no potencial da água e a perda de turgescência foliar, causando o fechamento estomático e dificultando o acesso de CO_2 ao mesófilo (MEDINA e MACHADO, 1998). O fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a diminuição da perda de água por transpiração são considerados mecanismos de escape à deficiência hídrica nos citros (MEDINA et al., 2005).

À medida que a lâmina de irrigação se distanciou daquela correspondente à reposição de 100% da ETc (L_3), como pode ser observado nas Figuras 16 e 17, tanto em condições de déficit quanto sob excesso de água no solo, o efeito da freqüência de irrigação foi atenuado, sendo que nas lâminas 68% (L_1) e 136% (L_5), as diferenças em termos de produtividade entre F_1 e F_2 foram de apenas 8,1 e 3,4%, respectivamente.

Esses resultados indicam que a cultura mostrou-se sensível ao déficit de água no solo proporcionado pelas lâminas 68 e 80%. Por outro lado, a cultura apresentou-se, também, sensível ao volume de água aplicado acima da capacidade de armazenamento do solo, proporcionado pelos tratamentos L_4 e L_5 , como pode ser observado através da Figura 16, para F_1 , e da Figura 17, para F_2 , que mostram as lâminas excessivas de água aplicadas ao longo do experimento.

Esses valores são diferentes daqueles encontrados por COELHO et al. (2001), em trabalho conduzido no semi-árido baiano, cujos resultados mostraram que, mesmo em valores absolutos, as lâminas superiores àquela referente à lâmina de 100% da ETc não foram capazes de afetar a produtividade.

Segundo MEDINA et al. (2005), a presença de água além da capacidade de campo reduz a fotossíntese, inibe o crescimento das copas e a respiração das raízes. VU e YELENOSKY (1991) verificaram que o excesso de água reduziu a fotossíntese, a condutância estomática e a atividade da clorofila em laranja 'Hamlin'.

4.3.2. Número total de frutos por planta

Nas Figuras 20 e 21 são apresentados os valores observados e estimados do número total de frutos por planta (NFTP), em função da lâmina de água aplicada, na frequência de irrigação diária e a cada dois dias, respectivamente.

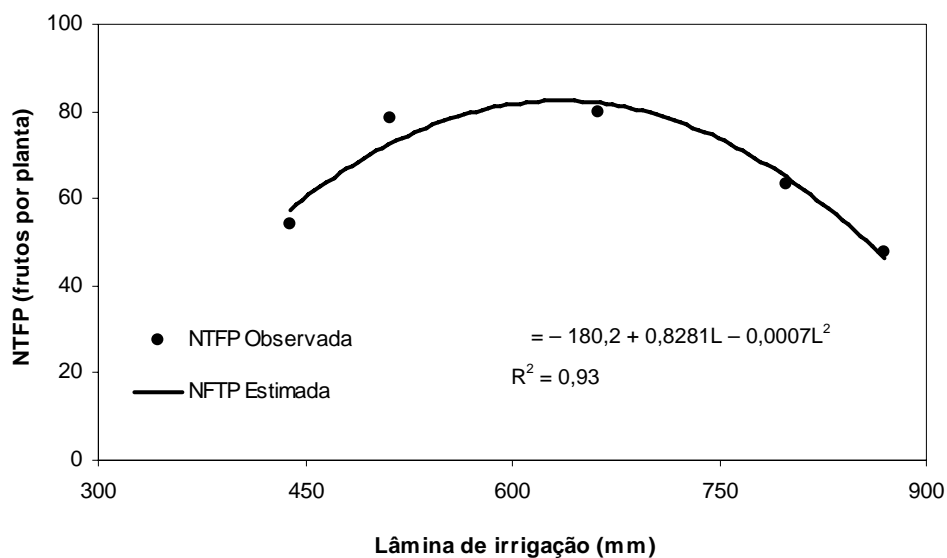


Figura 20. Número total de frutos por planta (NFTP) da limeira ácida 'Tahiti' em função da lâmina de água aplicada, com frequência de irrigação diária (F_1).

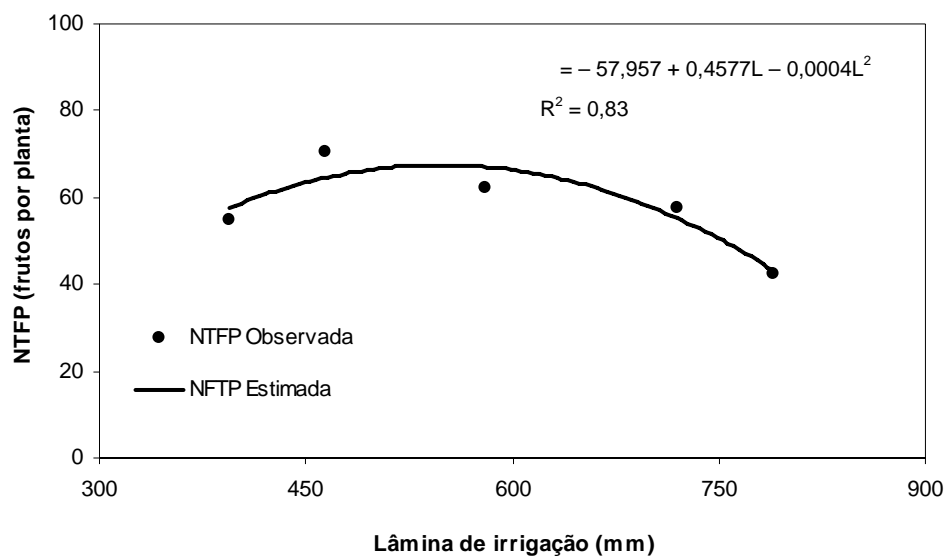


Figura 21. Número total de frutos por planta (NTFP) da laranja ácida ‘Tahiti’ em função da lâmina de água aplicada, com frequência de uma irrigação a cada dois dias (F_2).

Ajustaram-se funções de segundo grau para explicar a evolução de NTFP com o incremento da lâmina de água aplicada.

O maior número de frutos por planta, obtido com irrigação diária, foi de 82, com aplicação da lâmina de 621 mm de água, o que corresponde a 94% da ETc. Com uma irrigação a cada dois dias, a lâmina de 523 mm foi aquela que proporcionou o maior número de frutos por planta (66), referente a 90% da ETc. De forma semelhante ao ocorrido com a produtividade, a maior diferença no número de frutos por planta verificada entre F_1 e F_2 foi no tratamento correspondente à lâmina de 100% da ETc (17,4%).

Com o tratamento F_1 obtiveram-se os melhores resultados para todas as lâminas de irrigação estudadas, exceto com o tratamento correspondente à menor lâmina utilizada (L_1). Nesse caso, a adoção de uma frequência maior de irrigação (F_1) não foi capaz de contornar o maior déficit de água no solo proporcionado pelo uso da lâmina de 68% da ETc, acarretando em resultados semelhantes em número de frutos por planta.

De acordo com SILVA (2005), não houve diferença significativa entre tratamentos com manejo de irrigação diferenciado em relação ao estágio fenológico da cultura, tendo-se verificado média de 300 frutos por planta no tratamento com irrigação diária baseada na reposição de 100% da evapotranspiração da cultura.

Plantas submetidas a condições sem estresse de umidade no solo, na região da Zona da Mata mineira, produziram 1220 frutos por árvore durante um ano de produção, não diferindo dos resultados alcançados com tratamentos com diferentes níveis de estresse (SOUZA, 2001).

O número de frutos, como parâmetro da avaliação quantitativa da produção, segue raciocínio similar àquele descrito quanto à produtividade total para explicar os baixos valores obtidos neste trabalho. Sabe-se que o peso total da colheita por árvore está direta e proporcionalmente relacionado com o número de frutos por árvore, sendo esta relação geral para todas as variedades e espécies cítricas (GUARDIOLA, 1992).

Na aplicação dos tratamentos 68% (L₁) e 136% (L₅), foram verificadas as menores médias (55 e 45 frutos por planta, respectivamente). Tais resultados podem ser explicados, provavelmente, pela redução da fixação de frutos e, ou pelo aumento do abortamento floral em condições mais acentuadas tanto de déficit quanto de excesso de água no solo.

4.3.3. Peso médio dos frutos

A resposta da cultura da lima ácida 'Tahiti' aos distintos regimes de irrigação estudados neste trabalho, em relação ao peso médio dos frutos (PMF), revelou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, apenas para o fator lâmina de irrigação (Quadro 7).

No Quadro 8, são apresentadas as médias de peso dos frutos em função da lâmina de água aplicada.

Quadro 8. Peso médio dos frutos (PMF), em gramas, em função das lâminas de água aplicada e das freqüências de irrigação de um (F₁) e de dois dias (F₂) para a cultura da lima ácida 'Tahiti'.

| Lâmina de irrigação (%) | F ₁ | F ₂ | PMF (g) | |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | (mm) | | F ₁ | F ₂ |
| L ₁ (68) | 439 | 395 | 91,7 | 80,6 |
| L ₂ (80) | 511 | 464 | 83,8 | 90,2 |
| L ₃ (100) | 663 | 581 | 98,4 | 112,0 |
| L ₄ (124) | 798 | 720 | 99,0 | 91,7 |
| L ₅ (136) | 870 | 790 | 85,6 | 93,3 |

Para tanto, ajustou-se uma função quadrática para explicar o comportamento do peso dos frutos conforme o incremento da lâmina de água aplicada, baseada na reposição da ETc, independente do fator frequência de irrigação, corroborando com resultados apresentados por BERTONHA et al. (2004) (Figura 22).

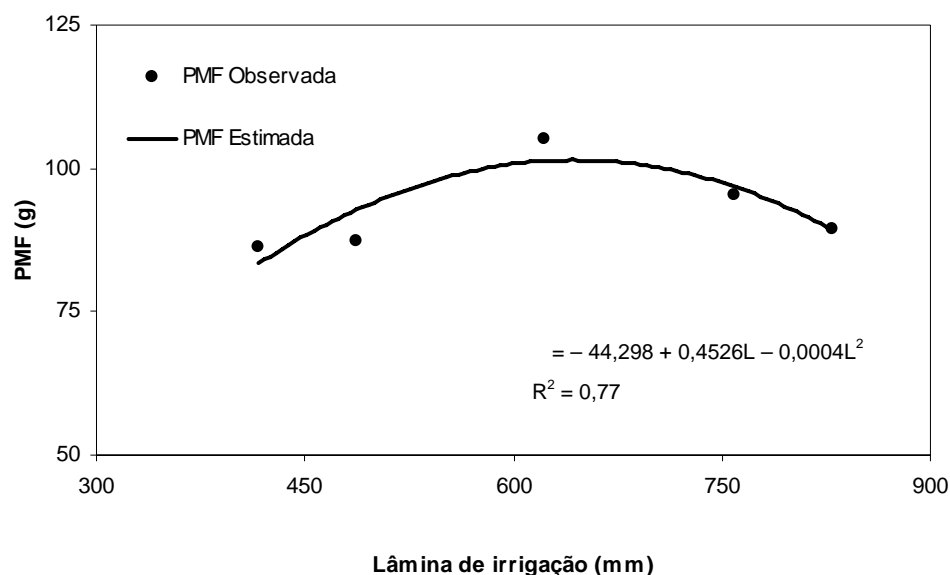


Figura 22. Valores médios do peso médio dos frutos (PMF) da limeira ácida ‘Tahiti’ em função da lâmina de água aplicada.

Os frutos apresentaram peso médio de 92,7 g, estando dentro da faixa de peso característica da cultura (70 – 100 g), conforme LUCHETTI et al. (2003). Na amplitude de peso obtida neste trabalho, a lima ácida ‘Tahiti’ possui boa aceitação no mercado consumidor, atendendo plenamente aos padrões internacionais quanto às dimensões dos frutos, segundo classificação citada por GAYET e SALVO FILHO (2003).

De acordo com a tendência estimada do comportamento do peso dos frutos em função do aumento da lâmina de irrigação, a lâmina que proporcionou o maior peso médio do fruto foi a de 566 mm (84 g), correspondente a 91% da ETc. Em relação às médias observadas, o tratamento que forneceu o maior peso foi o referente à lâmina de 100% da ETc (105,2 g), acompanhando os resultados obtidos relativos à produtividade e número de frutos por planta, o que evidencia a eficiência

superior da reposição total da ETc frente aos demais tratamentos com reposição parcial, em todos os parâmetros utilizados para avaliar quantitativamente a produção da cultura.

Esse valor é maior do que aquele obtido por SOUZA (2001), no tratamento com manejo de irrigação sem estresse hídrico, e do que o peso verificado por ALVES JÚNIOR (2006), no segundo ano de avaliação (82,7 g), após a aplicação da lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). Valores ainda menores foram obtidos em trabalho conduzido por SILVA (2005), cujo peso médio foi de 69,3 g, trabalhando com reposição de 100% da ETc.

Constata-se, então, que os baixos valores de produção total de frutos obtidos foram atribuídos ao baixo número de frutos por planta, haja vista o elevado peso individual dos frutos neste experimento. Possivelmente, as condições climáticas, com elevadas temperaturas diurnas e noturnas observadas durante o período experimental, colaboraram para a ocorrência deste baixo número de frutos por planta, devido à possibilidade de maior abortamento de flores e abscisão de frutos jovens sob altas temperaturas.

De modo geral, o número total de frutos por árvore e seu peso individual são os parâmetros básicos na determinação da produtividade. Ao final do período de queda fisiológica, os frutos são pequenos e necessitam de grande quantidade de carboidratos para o crescimento. A competição entre eles por fotoassimilados resulta em correlação negativa entre o número de frutos por planta e o seu tamanho na colheita (MEDINA et al., 2005).

4.4. Eficiência de uso da água

Um modelo de segundo grau foi ajustado para estimar a eficiência de uso da água, em função das lâminas de água, com irrigação diária (F_1) (Figura 23).

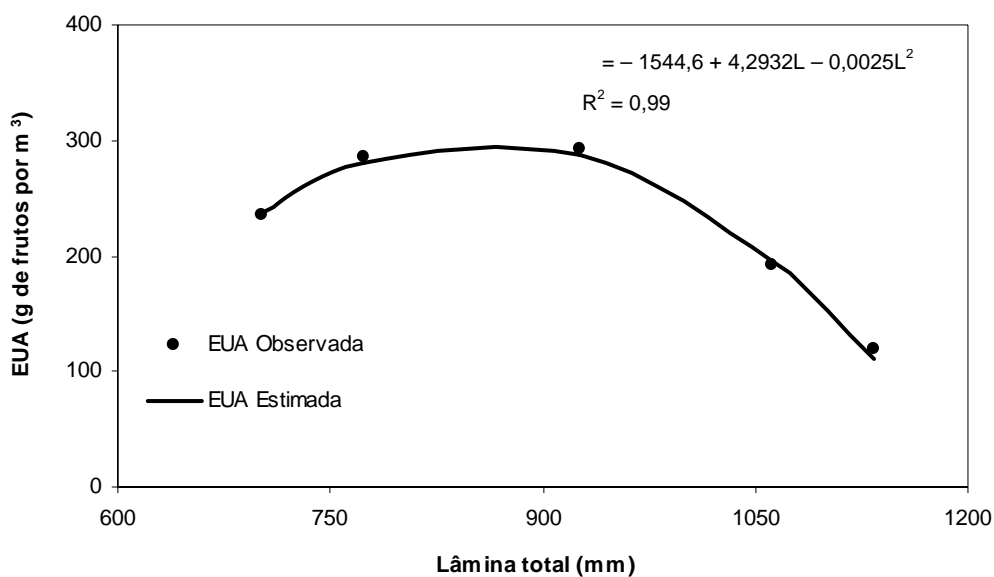


Figura 23. Eficiência de uso da água (EUA), em g de frutos por m³, em função das lâminas de água aplicada, na frequência de irrigação diária (F₁), para a cultura da limeira ácida ‘Tahiti’.

Pode-se observar que a eficiência cresceu a partir da lâmina de 702 mm, contabilizada pela soma da irrigação referente à reposição de 68% da ETc com a precipitação efetiva, até a lâmina de 859 mm (ponto de máxima estimado), correspondente à reposição de 93% da ETc, em que resultou na maior eficiência de uso da água (299 g de frutos por m³). A partir deste ponto, a eficiência decresceu com o incremento da lâmina, chegando ao valor mínimo (110 g de frutos por m³), no intervalo estudado, com a lâmina de 1133 mm (136% da ETc).

Para o tratamento em que se aplicou uma irrigação a cada dois dias (F₂), ajustou-se uma função quadrática que expressa como a eficiência de uso da água comportou-se em função das lâminas de água aplicada, considerando irrigação + precipitação efetiva (Figura 24).

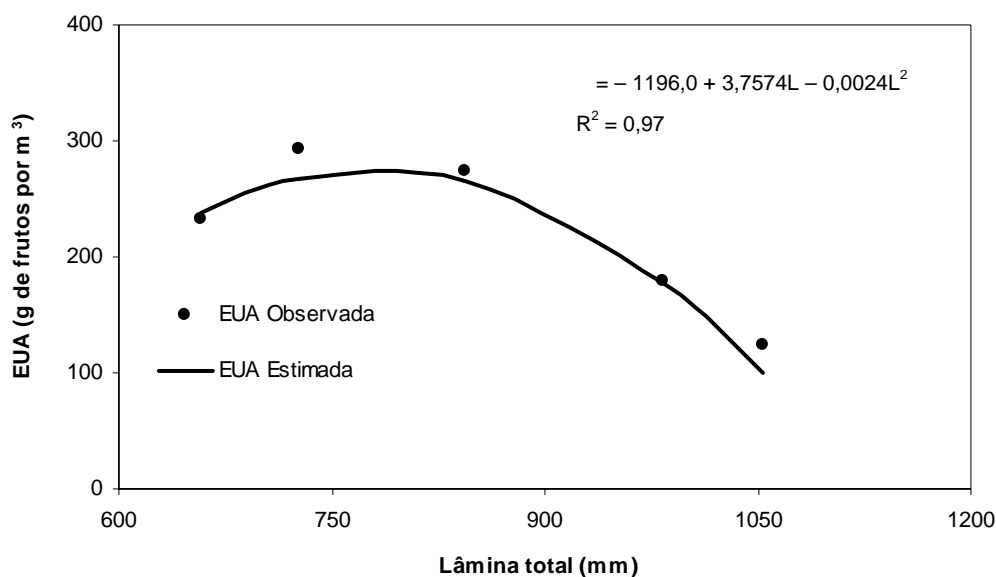


Figura 24. Eficiência de uso da água (EUA), em g de frutos por m³, em função das lâminas de água aplicada, com uma irrigação a cada dois dias (F₂), para a cultura da limeira ácida ‘Tahiti’.

Observando a Figura 24, verifica-se que a eficiência em F₂ seguiu uma tendência de aumento com o incremento da lâmina de água aplicada, alcançando o ponto de máximo valor com aplicação do mesmo nível de reposição da ETc em F₂ (93%), resultando, porém, em uma menor eficiência de uso da água (275 g de frutos por m³). Com o aumento da lâmina, a partir daí, a eficiência foi reduzida, atingindo o valor mínimo (99 g de frutos por m³), com a lâmina de 1133 mm (136% da ETc).

Com exceção do valor estimado na menor lâmina aplicada, devido ao maior déficit de água no solo imposto à cultura, a eficiência de uso da água em F₁ esteve sempre acima dos níveis obtidos com irrigação a cada dois dias (F₂), indicando uma melhor conversão de água em massa de frutos com adoção de turno de rega diário.

4.5. Avaliação qualitativa da produção

Foram analisados os efeitos das combinações entre as distintas lâminas e freqüências de irrigação sobre componentes da avaliação qualitativa da produção, representados pelas características físicas espessura da casca (EC), expressa em mm, e rendimento de suco (RS), em

%, e pelas características químicas teor de sólidos solúveis totais (SST), em graus Brix, pH e acidez total titulável (ATT), em %.

No Quadro 9 apresenta-se a síntese das análises de variância, com os respectivos quadrados médios e níveis de significância, bem como os valores médios dos referidos parâmetros físicos e químicos e seus coeficientes de variação.

Quadro 9. Resumo das análises de variância, contendo fontes de variação (F.V.), graus de liberdade (G.L.), quadrados médios, coeficientes de variação (C.V.) e valores médios da espessura da casca dos frutos (EC), rendimento de suco (RS), teor de sólidos solúveis totais (SST), pH e acidez total titulável (ATT).

| F.V. | G.L. | Quadrados médios | | | | |
|---------------------|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | | EC | RS | SST | pH | ATT |
| Bloco | 3 | 0,0174 | 7,3219 | 0,1853 | 0,0027 | 0,4778 |
| F | 1 | 0,0851 ^{ns} | 19,4881 ^{ns} | 0,00001 ^{ns} | 0,00009 ^{ns} | 0,0061 ^{ns} |
| Resíduo (a) | 3 | 0,0167 | 11,9325 | 0,0987 | 0,0010 | 0,1101 |
| L | 4 | 0,0308* | 72,8482* | 1,2373* | 0,0004 ^{ns} | 0,0533 ^{ns} |
| F x L | 4 | 0,0022 ^{ns} | 0,3178 ^{ns} | 0,1463 ^{ns} | 0,0005 ^{ns} | 0,1739 ^{ns} |
| Resíduo (b) | 24 | 0,0053 | 6,1426 | 0,1999 | 0,0005 | 0,2500 |
| C.V. (a) (%) | - | 5,86 | 7,03 | 3,44 | 1,36 | 5,11 |
| C.V. (b) (%) | - | 3,30 | 5,04 | 4,90 | 0,96 | 7,70 |
| Média | - | 2,20 | 49,16 | 9,13 | 2,33 | 6,50 |

NS – não significativo, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

* significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

F – frequência de irrigação; L – lâmina de irrigação.

Verificou-se efeito significativo das lâminas de irrigação para as características físicas espessura da casca e rendimento de suco, assim como para o teor de sólidos solúveis totais. Não houve efeito significativo das frequências de irrigação em relação a qualquer variável avaliada, evidenciando que a distinção utilizada no experimento no que tange aos níveis deste fator (um e dois dias) não foi suficiente para gerar diferenças significativas nos parâmetros qualitativos da produção.

A interação frequência de irrigação x lâmina de irrigação também não apresentou efeito significativo para nenhuma das características avaliadas. Esses resultados indicam que a resposta da cultura da lima ácida ‘Tahiti’ às diferentes lâminas de irrigação testadas, na definição das características de qualidade dos frutos, não se correlaciona com o turno de rega adotado.

Aos resultados apresentados, foram relacionados baixos coeficientes de variação, cujos valores coadunam com aqueles encontrados em trabalhos semelhantes, envolvendo as características analisadas em frutos da limeira ácida 'Tahiti' (ALVES JÚNIOR et al., 2006; SILVA, 2005; SOUZA, 2001).

De acordo com o Quadro 9, pode-se observar que as lâminas de água aplicadas influenciaram a espessura da casca, ao nível de significância de 5%, pelo teste F, ajustando-se uma função linear (Figura 25).

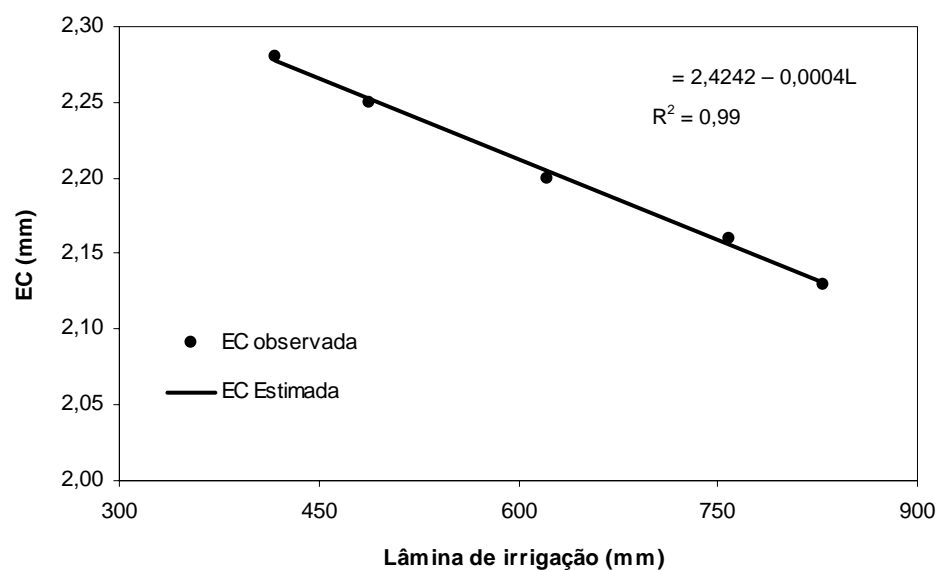


Figura 25. Valores médios observados e estimados para espessura da casca (EC), em mm, em frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função das lâminas de água aplicada.

A espessura da casca decresceu com o incremento da lâmina de água aplicada, concordando com GINESTAR e CASTEL (1996), que verificaram que a supressão hídrica aumentou a espessura da casca e, conseqüentemente, a relação casca-polpa. Resultados apresentados em trabalhos anteriores não revelaram efeito significativo da irrigação sobre esta variável (SOUZA, 2001; SILVA, 2005; ALVES JÚNIOR, 2006). A presença de casca fina é uma das características de qualidade mais procuradas pelos consumidores da lima ácida 'Tahiti', estando relacionada com o alto teor de suco dos frutos.

De acordo com o Quadro 9, pode-se observar que houve efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o rendimento de suco, ao nível de significância de 5%, pelo teste F, ajustando-se um modelo de regressão quadrático (Figura 26).

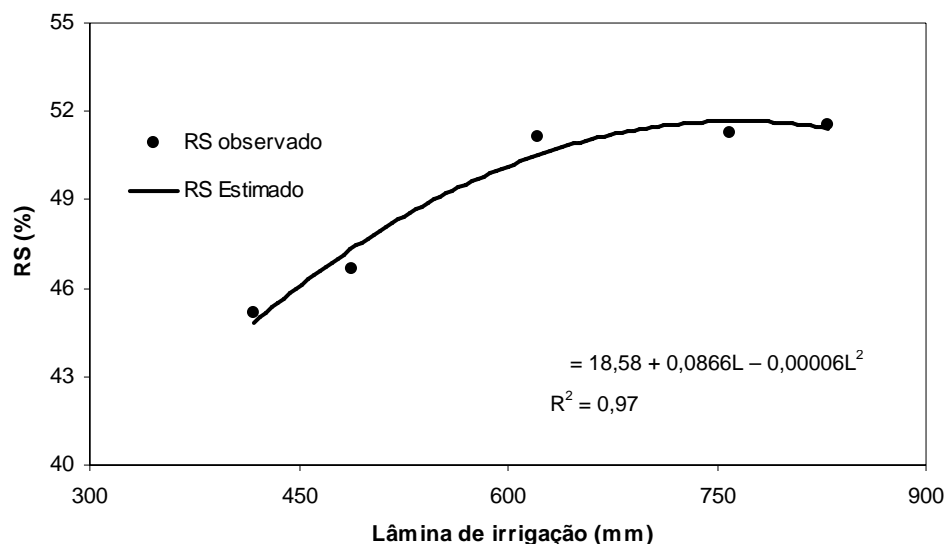


Figura 26. Valores médios observados e estimados para rendimento de suco (RS), em %, em frutos da limeira ácida ‘Tahiti’, em função das lâminas de água aplicada.

De acordo com a curva ajustada, os valores percentuais de teor de suco cresceram com o incremento da quantidade de água aplicada, alcançando um rendimento de suco superior (51,1%) com a lâmina referente à reposição de 100% ET_c (tratamento L₃), mantendo-se, a partir daí, com o aumento da lâmina, rendimento de suco sem variações significativas. Esses valores são superiores aos encontrados por SOUZA (2001), SILVA (2006) e ALVES JÚNIOR (2006), trabalhando com plantas sem déficit de água no solo.

Para a lima ácida ‘Tahiti’, segundo GAYET e SALVO FILHO (2003), frutos com percentagem de suco inferior a 42%, em volume, não podem ser exportados para os Estados Unidos. Neste trabalho, mesmo com aplicação do tratamento que proporcionou o maior déficit de água no solo, obteve-se rendimento de suco acima da exigência de mercado anteriormente citada.

Na Europa, não existe norma de comercialização que exija teor mínimo de suco, o que não significa que os compradores aceitem limas com teor de suco reduzido, sendo este um dos principais parâmetros de qualidade observados pelo consumidor da fruta (GAYET e SALVO FILHO, 2003).

As médias observadas com o turno de rega de um dia (F_1) foram sempre maiores do que aquelas verificados com irrigações a cada dois dias (F_2). Apesar da variável frequência de irrigação, nos níveis estudados, não ter acarretado em efeito significativo sobre o rendimento de suco, estes resultados reforçam a importância do aspecto da manutenção da umidade do solo em níveis adequados para a obtenção de maiores teores de suco nos frutos.

Segundo ALVES JÚNIOR (2006), o déficit hídrico diminui a percentagem de suco em frutos cítricos, ao tempo em que aumenta a espessura da casca e a relação casca-polpa. Diversos autores citam o efeito positivo da irrigação em aumentar o teor de suco dos frutos. Entretanto, os valores de teor de suco encontrados na literatura variam bastante com os distintos níveis de irrigação utilizados.

SOUZA (2001) relata nenhuma diferença significativa no teor de suco de frutos de 'Tahiti', considerando quatro níveis de estresse hídrico. Em trabalho realizado por SILVA (2005), envolvendo limeiras ácidas 'Tahiti', os valores dos teores de suco obtidos foram semelhantes, quando comparados diferentes regimes de irrigação com déficit hídrico controlado, em função do estágio de desenvolvimento da cultura. Ao contrário, SILVA (1999) observou efeito significativo do fator lâmina de irrigação sobre o volume de suco, no primeiro ano, de frutos da tangerineira 'Murcote'.

Verificou-se efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o conteúdo de sólidos solúveis totais, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F (Quadro 9). Pela análise de regressão, ajustou-se uma função de segundo grau, como pode ser observado na Figura 27.

Em Maringá (PR), BERTONHA et al. (2004), estudando o efeito da irrigação em laranja 'Pêra', lâminas de irrigação de 10, 15, 20 e 25 mm, relataram que a quantidade de sólidos solúveis totais também apresentou uma relação linear em função dos tratamentos.

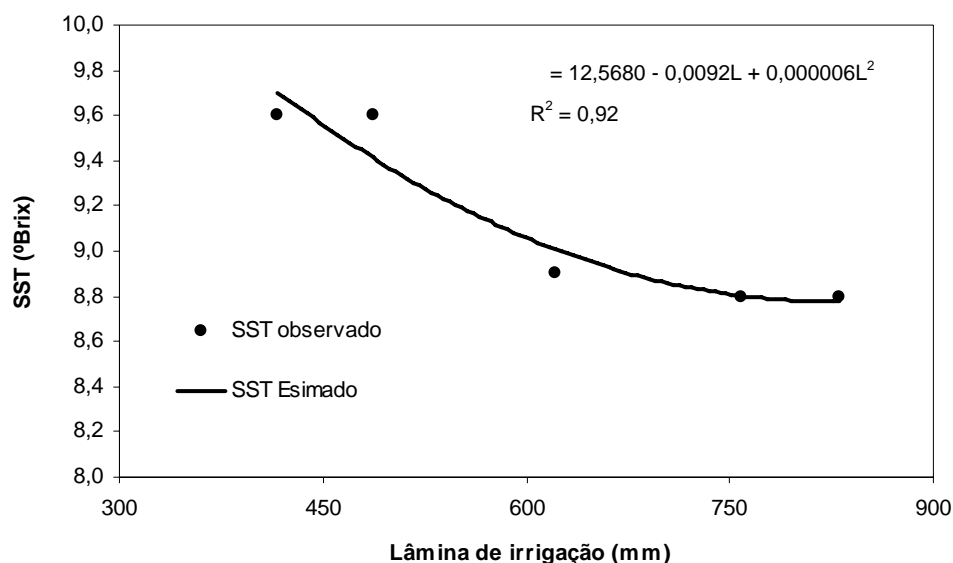


Figura 27. Valores médios observados e estimados para sólidos solúveis totais (SST), em °Brix, de frutos da limeira ácida ‘Tahiti’, em função das lâminas de água aplicada.

Os argumentos encontrados na literatura para relacionar o conteúdo de sólidos solúveis totais com a quantidade de água aplicada via irrigação baseiam-se no fato de que, em condições de menor disponibilidade de água no solo, a concentração de açúcares nos frutos tende a elevar-se, haja vista a menor absorção de água pela planta e, conseqüentemente, a menor diluição desses sólidos quando submetido a déficit hídrico (SHALHEVET e LEVY, 1990; GINESTAR e CASTEL, 1996).

SOUZA (2001) obteve SST superior nos frutos das plantas do tratamento não-irrigado. HILGEMAN (1977), em trabalho realizado com a laranjeira ‘Valência’, observou que a umidade elevada do solo contribui para a redução dos sólidos solúveis totais no suco. SILVA (1999) comprovou que a irrigação tem influência direta sobre os componentes químicos dos frutos da tangerineira ‘Murcote’, principalmente, para sólidos solúveis totais, açúcares totais e acidez total titulável.

Apesar do teor de SST não representar um dos parâmetros de maior importância para a determinação da qualidade da lima ácida ‘Tahiti’, a sua utilização, neste trabalho, como componente da avaliação qualitativa da produção, mostrou-se bastante útil para comprovar o efeito significativo dos

diferentes níveis de irrigação sobre a variação desta característica. Com base nas médias observadas de SST, pôde-se notar que, com as lâminas em que se verificou déficit de água no solo, os valores mantiveram-se em torno de 9,6° Brix, ao passo que, com aplicação de água igual ou superior a 100% da ETc (tratamentos L₃, L₄ e L₅), os valores de SST foram reduzidos para, em média, 8,9° Brix.

Após o fruto chegar à maturidade, ocorrem mudanças relativamente pequenas no pH do suco, sendo essas diferenças dificilmente detectáveis nos testes de análise sensorial. O pH dos frutos cítricos geralmente varia de 2,0 para limas, limões e outras frutas ácidas, à aproximadamente 5,0 em tangerinas e laranjas bem maduras (TING e ATTAWAY, 1971).

No Quadro 10 são apresentados os valores médios observados do pH do suco em função das lâminas e das freqüências de irrigação.

Quadro 10. Valores médios de pH do suco de frutos da limeira ácida ‘Tahiti’, em função de lâminas e freqüências de irrigação de um (F₁) e de dois dias (F₂).

| Lâmina de irrigação (%) | Freqüência de irrigação | | pH | | |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------|-------------|
| | F ₁ (mm) | F ₂ (mm) | F ₁ | F ₂ | Média |
| L ₁ (68) | 439 | 395 | 2,33 | 2,33 | 2,33 |
| L ₂ (80) | 511 | 464 | 2,34 | 2,32 | 2,33 |
| L ₃ (100) | 663 | 581 | 2,32 | 2,33 | 2,33 |
| L ₄ (124) | 798 | 720 | 2,35 | 2,33 | 2,34 |
| L ₅ (136) | 870 | 790 | 2,31 | 2,32 | 2,32 |
| Média | - | - | 2,33 | 2,33 | 2,33 |

Observou-se que o pH do suco dos frutos não foi influenciado pelas lâminas e freqüências de irrigação, ao nível de 5% de significância, pelo teste F (Quadro 9). O valor médio foi de 2,33. O pH obtido com o tratamento L₃ (100% da ETc) está de acordo com o encontrado por SILVA (2005) e abaixo da média obtida por ALVES JÚNIOR (2006), os quais não verificaram diferenças significativas entre os tratamentos envolvendo manejo de irrigação para esta variável.

Os valores da acidez total titulável (ATT) obtidos neste trabalho são apresentados no Quadro 11, não tendo sido alterados significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, em razão da aplicação de lâminas e freqüências de irrigação (Quadro 9).

Quadro 11. Valores médios da acidez total titulável (ATT), em %, de frutos da limeira ácida 'Tahiti', em função de lâminas e freqüências de irrigação de um (F₁) e de dois dias (F₂).

| Lâmina de irrigação (%) | F ₁ F ₂ | | ATT | | |
|-------------------------|-------------------------------|-----|----------------|----------------|-------------|
| | (mm) | | F ₁ | F ₂ | Média |
| L ₁ (68) | 439 | 395 | 6,50 | 6,56 | 6,53 |
| L ₂ (80) | 511 | 464 | 6,56 | 6,46 | 6,51 |
| L ₃ (100) | 663 | 581 | 6,70 | 6,28 | 6,49 |
| L ₄ (124) | 798 | 720 | 6,24 | 6,49 | 6,37 |
| L ₅ (136) | 870 | 790 | 6,43 | 6,74 | 6,59 |
| Média | - | - | 6,49 | 6,51 | 6,50 |

Normalmente, a acidez constitui importante fator na comercialização da lima ácida 'Tahiti'. A ATT média obtida neste estudo (6,50%), foi considerada aceitável, estando próximo aos valores encontrados na literatura para frutos desta espécie.

Os resultados encontrados corroboram com aqueles relatados por SILVA (2005) e ALVES JÚNIOR (2006), cujos tratamentos envolvendo diferentes lâminas de irrigação não ocasionaram diferença significativa ($P < 0,05$) para acidez total titulável. Outros trabalhos revelaram que o aumento da lâmina de irrigação causou redução da acidez (KOO, 1974; SHALHEVET e LEVY, 1990; GINESTAR e CASTEL, 1996). Esta discrepância nos resultados indica que a lâmina de irrigação, nos distintos níveis testados na literatura, não seria uma variável eficiente em modificar a acidez dos frutos da limeira ácida 'Tahiti'. Além disso, a variação nos teores dos componentes químicos dos frutos, encontrada nas diferentes regiões produtoras, deve estar associada à interferência das condições climáticas que, segundo REUTHER (1973) e ORTOLANI et al. (1991), desempenham papel determinante na qualidade dos frutos cítricos.

5. CONCLUSÕES

1. O manejo de irrigação com turno de rega diário e reposição em torno de 100% da evapotranspiração da cultura, de acordo com o modelo adotado, foi o mais indicado para manter a umidade do solo com menores variações no intervalo entre a capacidade de campo e a umidade mínima recomendada para a cultura, resultando nos maiores níveis de produtividade, peso médio dos frutos e na máxima eficiência física de uso da água.

2. A limeira ácida 'Tahiti' não aumentou os valores de produtividade proporcionalmente ao incremento nos níveis de irrigação, o que ressalta a importância de um correto manejo da irrigação.

3. A qualidade dos frutos foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação para a maioria das características avaliadas. A diferenciação entre turno de rega diário e de dois dias não foi suficiente para alterar consideravelmente a qualidade dos frutos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUSTÍ, M. **Citricultura**. Madri: Mundi-Prensa. 2000. 416 p.
- AGUSTÍ, M.; ALMELA, V. **Aplicación de biorreguladores em citricultura**.
Barcelona: Aedos, 1991. p. 77-100.
- AGUSTÍ M.A. et al. **Desarrollo y tamaño final del fruto em los agrios**.
Valencia: Generalitat Valenciana. Conselleria D'Agricultura, Pesca i
Alimentación, 1995. 80 p.
- ALBRIGO, L.G.; VALIENTE, J.I.; BECK, H.W. Flowering expert system
development for a phenology based citrus decision support system. **Acta
Horticulturae**, Wageningen, v. 584, p. 247-254, 2002.
- ALBUQUERQUE, P.E.P. et al. Coeficientes de cultivo das principais culturas
anuais. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de
Irrigação e Drenagem.**, n. 52/53, p. 49-55, 4º trimestre de 2001 e 1º
trimestre de 2002.
- ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. Water use with drip
irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974.
Proceedings... California, 1974. p. 341-345.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for
computing crop water requeriments**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO
Irrigation and Drainage, 56).

- ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura da lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação.** 2006. 100 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S. et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.
- ANDRADE JUNIOR, A.S. et al. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 151p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 101).
- ANTUNES, R.C.B. **Determinação da evapotranspiração e da influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café Arábica.** 2001. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** FAO: Irrigação e Drenagem, 29. Tradução: GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- BACHI, O. Observações citológicas em *Citrus*. I – Número de cromossômios de algumas espécies e variedades. **Jornal de Agronomia**, v. 3, n. 4, p. 249-258, 1940.
- BAIN, J.M. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of the Valencia orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. **Australian Journal of Botany**, v. 6, p. 1-24, 1958.
- BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Dados agrometeorológicos para o município de Teresina, PI (1980-1999).** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 47). 25 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação.** 7.ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

- BERTONHA, A. **Funções de resposta da laranja à aplicação de água e nitrogênio**. 1997. 62 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- BERTONHA, A. et al. Resposta da laranjeira ‘Pêra’ a níveis de irrigação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 185-191, 2004.
- CASTEL, J.R. Response of young Clementine citrus trees to drip irrigation. I – Irrigation amount and number of drippers. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 69, n. 3, p. 481-489, 1994.
- CASTEL, J.R. et al. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in ‘Valencia’ (Spain). **Irrigation Drainage Systems**, Netherlands, v. 3, p. 205-217, 1987.
- CEMIG. **Estudo de Otimização Energética**. Belo Horizonte, 1993. 22 p.
- CENTRO DE QUALIDADE EM HORTICULTURA. **Programa brasileiro para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortifrutigranjeiros: classificação do limão (lima acida) Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka)**. São Paulo: CEAGESP, 2000. 5 p.
- CHABARIBERY, D.; ALVES, H.S. Produção e comercialização de limão, mamão, maracujá e melancia em São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 31, n. 8, p. 43-51, 2001.
- CHAPOT, H. The citrus plant. In: HÄFLIGER, E. (Ed.). **Citrus**. Baste: Ciba-Geigy, 1975, p. 6-13.
- COELHO, Y.S. **Lima ácida Tahiti para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1993. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 1). 35 p.
- COELHO, E.F. et al. Resposta do limão Tahiti sob diferentes lâminas de água e freqüências de irrigação em condições semi-áridas. In: **XI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**, 11., 2001. Fortaleza, CE. **Anais ...**

- Fortaleza, CE: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 299-302.
- COELHO, E.F.; MAGALHÃES, A.F.J.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em citros**. Cruz das Almas: Embrapa, CNPMF, 2004. 16 p. (EMBRAPA, CNPMF. Circular Técnica, 72).
- COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997. Piracicaba, SP: Mesa-redonda, **Suplemento de Anais...** Piracicaba, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 3-20.
- DAVENPORT, T.L. Citrus flowering. **Horticultural Reviews**, New York, v. 12, p. 349-408, 1990.
- DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Citrus**. Walingford: Cab International, 1994, 254 p.
- DONADIO L.C.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; MOREIRA, C.S. Centros de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e histórico da citricultura no Brasil. In: MATTOS JÚNIOR., D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR., J. (Eds.). **Citros**. 1., 2005. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. p. 3-18.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB/FAO, 1994. 306 p. (Paper 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J, O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Solos do Nordeste: Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Piauí**. Recife, 1986. Embrapa-SNLCS. Disponível em <<http://www.cpamn.embrapa.br>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2007.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67 p. (Embrapa-SNLCS. Documentos, 11).
- FAO. **FAOSTAT statistical database**. Disponível em: <<http://www.fao.org.com>>. Acesso em 13 fev. 2007.
- FARES, A.; ALVA, A.K. Estimation of citrus evapotranspiration by soil water mass balance. **Soil Science**, New Brunswick, v. 164, p. 302-310, 1999.
- FERERES, E. **Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado**. Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación. Barquisimeto, Venezuela, 1981. 23 p.
- FIGUEIREDO, J.O. Variedades-copa de valor comercial. In: ENCONTRO PARANAENSE DE CITRICULTURA, 1., 1986, Londrina. **Anais...** Londrina: Associação dos Engenheiros Agrônomos do Paraná, 1986. p. 59-78.
- GARCÍA-LUIS, A. et al. Low temperature influence on flowering in citrus – The separation of inductive a bud dormancy releasing effects. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 86, p. 648-652, 1992.
- GAYET, J.P.; SALVO FILHO, A. Colheita e beneficiamento. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O. (Eds.). **Lima Ácida Tahiti**, 8., 2003. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003. p. 147-162.
- GINESTAR, C.; CASTEL, J.R. Responses of young Clementine citrus trees to water stress during different phonological periods. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 4, p. 551-559, 1996.
- GUARDIOLA, J.L. Fruit set and growth. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CITRUS, 2., 1992, Bebedouro. **Proceedings International Society of Citriculture**, 1992, v. 2, p. 139-158.

- HERNANDEZ ABREU, J. M. et al. **El riego localizado**. Curso internacional de riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317 p.
- HILGEMAN, R.H. Responses of citrus trees to water stress in Arizona. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 1, p. 70-74, 1977.
- HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. Plant water requirements as related to trickle irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974. **Proceedings...** California, 1974. p. 323-328.
- HODGSON, R.W. Horticultural varieties of citrus. In: REUTHER, W.; WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. (Eds.). **The citrus industry**. 1., Berkeley: University of Califórnia, 1967, p. 431-591.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2005: culturas temporárias e permanentes**. IBGE: Rio de Janeiro, v. 32, 2005. 101 p.
- IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. **Relatório Referente ao Estudo dos Mercados Interno e Externo: Limão**. São Paulo: 2005, 149 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: 1985, v. 1, 533 p.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. American Society of Civil Engeneering. New York, 1973. 215 p.
- KALMA, J.D.; FUCHS, M. Citrus orchards. In: MONTEITH, J.L. (Ed.). **Vegetation and atmosphere**. New York: Academic Press, 1976. v. 2, p. 309-326.
- KELLER, J. **Trickle irrigation**. Colorado: En Soil Conservation Service National Engineering Handbook, 1978. 129 p.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler. Glendora, California: [s.n.], 1975. 133 p.

KOO, R.C.J. Effects of frequency irrigation on yield of orange and grapefruit. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Tallahassee, v. 74, p. 1-5, 1963.

KOO, R.C.J. et al. Effects of nitrogen, potassium and irrigation on yield and quality of lemon.

- culturas e dos recursos hídricos. Brasília: SRH/MMA – DEA-UFV, 1998. 154 p.
- MARCONDES, P.T.S. **Manejo do florescimento e da produção da lima ácida Tahiti com reguladores de crescimento e derriza**. 1991. 120 p. Dissertação (Mestrado em Fruticultura Tropical) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1991.
- MARLER, T.E.; DAVIES, F. Microsprinkler irrigation and growth of young ‘Hamlin’ orange trees. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n. 1, p. 45-51, 1990.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 60 p.
- MATTOS JÚNIOR, D.; NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. **Lima ácida ‘Tahiti’**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. 162 p.
- MEDINA, C.L. Fisiologia da produção. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O. (Eds.). **Lima Ácida Tahiti**, 3., 2003. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. p. 31-46.
- MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeira ‘Valência’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ e ‘Trifoliata’ e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 15-22, 1998.
- MEDINA, C.L. et al. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Eds.). **Citros**, 7., 2005. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, 2005. p. 147-196.
- MEDINA, C.L.; SILVA, J.A.A. Implantação do pomar e tratamentos culturais. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O. (Eds.). **Lima Ácida Tahiti**, 4., 2003. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. p. 47-66.

- MELO, M.A.N. **Determinação da necessidade térmica, adequação de coeficiente da cultura (Kc) e efeito da irrigação e da adubação nitrogenada na produção do maracujazeiro amarelo.** 2001, 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.
- MOSS, G.I. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck.). **Journal of Horticultural Science**, v. 44, p. 311-320, 1969.
- MUDRIK, A.S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do Triângulo Mineiro.** 2005, 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.
- NUNES, V.V. **Produtividade e incidência de doenças no cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação.** 2006, 64 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.
- ORTOLANI, A.A.; PEDRO JUNIOR M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Eds.). **Citricultura brasileira.** 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991, v. 1, p.1 53-195.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, Piracicaba-SP, 1997 183p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 478 p.
- PIRES, R.C.M.; LUCHIARI, D.J.F.; MOSSAK, F.B.A.I. Irrigação. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR., J. (Eds.). **Citros.** 13., 2005. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, 2005. p. 369-408.
- PIRE, R.; ROJAS, E. Effects of drought stress and urea sprays on production of flower and vegetative buds of Tahiti lime. **Fruits**, v. 54, n. 3, p. 177-182, 1999.

- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF):** goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- REECE, P.C.; CHILDS, J.F.L. Character differences among seedlings of the Persian lime. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, v. 75, p. 110-116, 1962.
- REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W. (Ed.). **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1973. v. 3, p. 280-337.
- RIAC - GRUPO DE TRABALHO DE BIOCLIMATOLOGIA. Comportamento de los cítricos em las Américas. **Citrus**, v. 5, n. 17, p. 21-24, 2002.
- ROGERS, J.S.; ALLEN L.H.; CALVERT, D.V. Evapotranspiration from a humid-region developing citrus grove with grass cover. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 83, p. 1778-1792, 1983.
- SAM, O.; ROSADO, F.; GONZALEZ, M.E. Crescimento e desarrollo de frutos de lima Persa (*Citrus latifolia* Tan.) durante dos años em las condiciones del sureste de La Habana. **Revista do Centro Agrícola**, v.15, n.2, p.62-71, 1988.
- SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração: necessidade de água para as plantas cultivadas. In: **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação, módulo 2. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG : DEA/UFV, 1996. 173 p.
- SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia dos citros. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR., J. (Eds.). **Citros**. 11., 2005. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. p. 317-344.
- SEPASKHAH, A.R.; KASHEFIPOUR, S.M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water Managment**, v. 27, p. 331-340, 1995.

- SHALHEVET, J.; LEVY, Y. Citrus tree. In.: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990, p. 951-986 (Agronomy, 30).
- SILVA, C.R. **Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida 'Tahiti' na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 85 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SILVA, P.A.M. **Influência da lâmina de irrigação e área de umedecimento no crescimento e produção de tangor 'Murcote'**. 1999. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, V.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. Manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998. p. 311-348.
- SIMÃO, F.R. et al. Comparação da Evapotranspiração de Referência obtida pelo tanque “Classe A” e pela Equação de Penman-Monteith nas condições da região norte de Minas Gerais In: **XIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem: Sumário XIII CONIRD Juazeiro-BA**, 2003, 9 p.
- SMITH. M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requeriments**. Rome, Italy: Land and Water Development Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991. 21 p.
- SOARES, A.R. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da mata de Minas Gerais**. 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- SOARES, A.R. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio**,

- MG.** 2005. 63 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- SOUTHWICK, J.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v. 81, p. 26-29, 1986.
- SOUZA, M.J.H. **Análises do manejo de água, graus-dia, radiação interceptada e produtividade na lima ácida Tahiti.** 2001. 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- TING, S.V.; ATTAWAY, J.A. Citrus fruits. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruit and their products.** London: Academic Press, 1971. 3., v.2, p. 107-171.
- TURNER, N.C.; SCHULZE, E.D.; GOLLAN, T. The response of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure and soil water content. II – In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. **Oecologia**, v. 65, p. 348-355, 1985.
- VAN BAVEL, C.H.M.; NEWMAN, J.E.; HILGEMAN, R.H. Climate and estimated water use by an orange orchard. **Agricultural Meteorology**, v. 126, p. 1-13, 1966.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Localized irrigation.** Rome: FAO, 1980. 203 p. (Irrigation and Drainage Paper, 36).
- VIEIRA, D.B. Fertirrigação e manejo de irrigação em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 2, n. 9, p. 369-376, 1988.
- VIEIRA, D.B.; RIBEIRO, T.A.P. Estudo de parâmetros básicos de irrigação do limão 'Tahiti' (*Citrus limonia* OSBECK) sob micro-aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1993, Ilhéus. **Anais ...** Ilhéus: SBEA; CEPLAC, 1993. v. 4, p. 2328-2339.

- VOLPE, C.A. Fenologia dos citros. In: DONADIO, L.C. (Ed.). **Seminário Internacional de Citros**. 2., 1992. Campinas: Fundação Cargill, p. 107-120, 1992.
- VU, J.C.V.; YELENOSKI, G. Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding. **Physiologia Plantarum**, v. 81, p. 7-14, 1991.
- WEBBER, H.J. Cultivated varieties of *Citrus*. In: WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. (Eds.). **The citrus industry**, 1., 1943. Berkeley: University of California, 1943. p. 475-668.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)